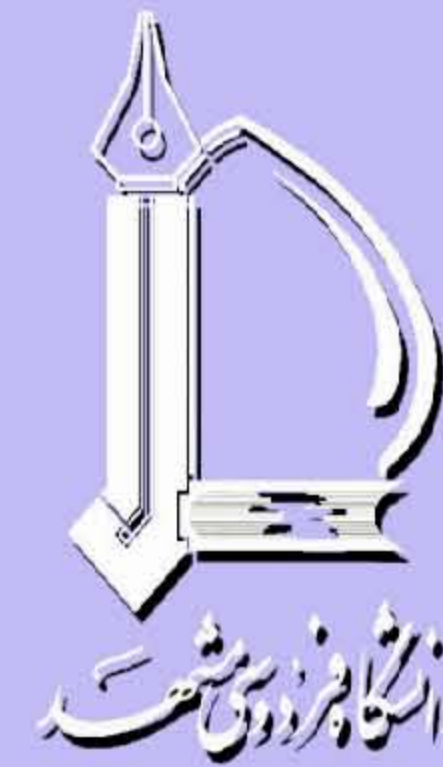




جلد ۱۳ شماره ۴

سال ۱۳۹۴

نشریه علمی - پژوهشی

پژوهشهای زراعی ایران

شاپا: ۱۴۷۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

- ۶۵۱..... بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی ایران: ۱- پیش بینی وضعیت اگروکلیماتیک آینده علیرضا کوچکی - مهدی نصیری محلاتی - لیلا جعفری
- ۶۶۵..... بررسی اثر تداخل علف های هرز بر عملکرد و خصوصیات زراعی شنبليله در تراکم های مختلف گیاهی در شرایط بیرجند رضا برادران - مهرناز قهاری
- بررسی اثر کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد و اسانس دو توده بومی مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت شرایط نرمال و تنش خشکی در منطقه کرمان امید اکرمی نژاد - مهری صفاری - روح اله عبدالشاهی
- ۶۸۷..... اثر مالچ و تنش رطوبتی بر برخی صفات فیزیولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) روح اله امینی - عادل دباغ محمدی نسب - الناز قلندرزاده
- بررسی اثرات کودهای زیستی حاوی باکتری های تثبیت کننده غیرهمزیست نیتروژن و حل کننده فسفات بر روی صفات کمی و کیفی گندم (*Triticum aestivum*) محمود مهتدی - محمد جواد میرهادی - علی چراغی - مجید بهادری
- مطالعه کارآیی مصرف آب و شاخص های تحمل به تنش محدودیت رطوبتی انتهایی دوره رشد در ارقام امیدبخش گندم نان (*Triticum astivum* L.) محمود ناظری
- ۷۲۸..... اثر محلول پاشی کیتوزان بر خصوصیات فیزیولوژیکی کمای بینالودی (*Ferula flabelliloba*) تحت تنش خشکی قدیر طاهری
- ۷۳۸..... تأثیر نانواکسید روی و تلقیح بذر با باکتری های افزایشنده رشد بر عملکرد، اجزای عملکرد و پر شدن دانه سویا (*Glycine max* L.) رئوف سید شریفی - سرور خرم دل
- ۷۵۴..... ارزیابی تحمل به یخزدگی اکوتیپ های بارهنگ سرنیزه ای (*Plantago lanceolata* L.) در شرایط کنترل شده مریم جانعلی زاده - احمد نظامی - ابراهیم ایزدی دربندی - مهدی پارسا
- ۷۶۶..... واکنش شاخص های فیزیولوژیکی رشد و عملکرد خشک سوخ به پیش تیمار و اندازه بذر ژنوتیپ های پیاز (*Allium cepa* L.) موسی ایزدخواه شیشوان - مهدی تاج بخش شیشوان - جلال جلیلیان - بهمن پاسبان اسلام
- برآورد محصول ذرت (*Zea mays* L.) و نیتروژن خاک از طریق اندازه گیری هدایت الکتریکی خاک تحت تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک حمیده خلیل زاده - محسن جهان - مهدی نصیری محلاتی
- اثر زمان مصرف نیتروکسین و محلول پاشی عناصر ریز مغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام جدید گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط آب و هوایی خرم آباد آزاده واعظ - علی خورگامی - منوچهر سیاح فر
- اثر پر ایمینگ بذر بر رشد رویشی و برخی ویژگی های فیزیولوژیکی گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط شوری حاصل از نمک های قلیایی حامد بخرد - بتول مهدوی - اصغر رحیمی
- بهینه سازی کاربرد کودهای نیتروژن، فسفر و دامی در زراعت گندم پاییزه (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از روش سطح - پاسخ (RSM) محسن جهان - مهدی نصیری محلاتی - حمیده خلیل زاده - ریحانه بیگناه - احمد رضا رضوی
- بررسی تأثیر همزیستی با میکوریزا، ورمی کمپوست و اسید هیومیک بر عملکرد اسانس و کلونیزاسیون ریشه گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill) ایمان اکبری - احمد غلامی
- ۸۵۴..... تأثیر متانول بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش خشکی نظام آرمند - حمزه امیری - احمد اسماعیلی

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

«نشریه علمی - پژوهشی قطب علمی گیاهان زراعی ویژه»

با شماره ثبت ۱۲۴/۷۸۵۷ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی و
۸۲/۵/۲۷

درجه علمی - پژوهشی شماره ۳/۱۱/۷۴۵۰۹ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
۸۹/۱۰/۲۱

سال ۱۳۹۴

شماره ۴

جلد ۱۳

صاحب امتیاز:

دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول:

پرویز رضوانی مقدم

سر دبیر:

حمیدرضا خزاعی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد - آگرواکولوژی (دانشگاه فردوسی مشهد)

اعضای هیات تحریریه:

یحیی امام

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه شیراز)

عبد الرضا باقری

استاد - ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)

محمدعلی بهدانی

دانشیار - اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

محمد بنیان اول

دانشیار - مدلسازی سیستمهای کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

مجید جامی الاحمدی

دانشیار - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

حمید رحیمیان مشهدی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه تهران)

غلامرضا زمانی

دانشیار - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

احمد زارع فیض آبادی

استاد - اکولوژی گیاهان زراعی (مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی)

فرج اله شهریار احمدی

استاد - ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)

محمد کافی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

احمد نظامی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

داریوش مظاهری

استاد - اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه تهران)

مهدی نصیری محلاتی

استاد - مدل سازی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

چاپ: موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

شمارگان: ۲۰ نسخه

قیمت: ۵۰۰۰ ریال (دانشجویان ۲۵۰۰ ریال)

نشانی: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه نشریات علمی، نشریه پژوهشهای زراعی ایران صندوق پستی ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳

نمبر: ۳۸۷۸۷۴۳۰

پست الکترونیک: cesc@um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت <https://jcesc.um.ac.ir> به صورت مقاله کامل نمایه شده است.

این نشریه در پایگاههای زیر نمایه می شود:

پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC) پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID) بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- ۶۵۱ بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی ایران: ۱- پیش‌بینی وضعیت اگروکلیماتیک آینده
علیرضا کوچکی - مهدی نصیری محلاتی - لیلا جعفری
- ۶۶۵ بررسی اثر تداخل علف‌های هرز بر عملکرد و خصوصیات زراعی شنبلیله در تراکم‌های مختلف گیاهی در شرایط بیرجند
رضا برادران - مهرناز قهاری
- ۶۷۵ بررسی اثر کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد و اسانس دو توده بومی مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت شرایط نرمال و تنش خشکی در منطقه کرمان
امید اکرمی نژاد - مهری صفاری - روح اله عبدالشاهی
- ۶۸۷ اثر مالچ و تنش رطوبتی بر برخی صفات فیزیولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.)
روح اله امینی - عادل دباغ محمدی نسب - الناز قلندرزاده
- ۷۰۰ بررسی اثرات کودهای زیستی حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده غیرهمزیست نیتروژن و حل‌کننده فسفات بر روی صفات کمی و کیفی گندم (*Triticum aestivum*)
محمود مهتدی - محمد جواد میرهادی - علی چراتی - مجید بهادری
- ۷۱۶ مطالعه کارایی مصرف آب و شاخص‌های تحمل به تنش محدودیت رطوبتی انتهایی دوره رشد در ارقام امیدبخش گندم نان (*Triticum aestivum* L.)
محمود ناظری
- ۷۲۸ اثر محلول‌پاشی کیتوزان بر خصوصیات فیزیولوژیکی کمای بینالودی (*Ferula flabelliloba*) تحت تنش خشکی
قدیر طاهری
- ۷۳۸ تأثیر نانواکسید روی و تلقیح بذر با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد بر عملکرد، اجزای عملکرد و پر شدن دانه سویا (*Glycine max* L.)
رئوف سید شریفی - سرور خرم دل
- ۷۵۴ ارزیابی تحمل به یخ‌زدگی اکوتیپ‌های بارهنگ سرنیزه‌ای (*Plantago lanceolata* L.) در شرایط کنترل‌شده
مریم جانعلی زاده - احمد نظامی - ابراهیم ایزدی دربندی - مهدی پارسا
- ۷۶۶ واکنش شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و عملکرد خشک‌سوخ به پیش‌ تیمار و اندازه بذر ژنوتیپ‌های پیاز (*Allium cepa* L.)
موسی ایزدخواه شیشوان - مهدی تاج بخش شیشوان - جلال جلیلیان - بهمن پاسبان اسلام
- ۷۸۶ برآورد محصول ذرت (*Zea mays* L.) و نیتروژن خاک از طریق اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک تحت تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک
حمیده خلیل زاده - محسن جهان - مهدی نصیری محلاتی
- ۷۹۷ اثر زمان مصرف نیتروکسین و محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام جدید گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط آب و هوایی خرم‌آباد
آزاده واعظ - علی خورگامی - منوچهر سیاح فر
- ۸۱۰ اثر پرایمینگ بذر بر رشد رویشی و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط شوری حاصل از نمک‌های قلیایی
حامد بخرد - بتول مهدوی - اصغر رحیمی

- ۸۲۳ بهینه‌سازی کاربرد کودهای نیتروژن، فسفر و دامی در زراعت گندم پاییزه (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از روش سطح-پاسخ (RSM)
محسن جهان - مهدی نصیری محلاتی - حمیده خلیل زاده - ریحانه بیگناه - احمد رضا رضوی
- ۸۴۰ بررسی تأثیر همزیستی با میکوریزا، ورمی کمپوست و اسید هیومیک بر عملکرد اسانس و کلونیزاسیون ریشه گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill)
ایمان اکبری - احمد غلامی
- ۸۵۴ تأثیر متانول بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش خشکی
نظام آرمند - حمزه امیری - احمد اسماعیلی



بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی ایران: ۱- پیش‌بینی وضعیت اگروکلیماتیک آینده

علیرضا کوچکی^{۱*} - مهدی نصیری محلاتی^۱ - لیلا جعفری^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۷/۰۲

چکیده

گرمایش جهانی و پی‌آمدهای ناشی از آن بسیاری از متغیرهای اقلیمی مؤثر در رشد و نمو گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و پاسخ گیاهان به این امر تابع شدت و الگوی تغییرات می‌باشد. در این مطالعه تأثیر تغییر جهانی اقلیم بر شاخص‌های اقلیمی کشاورزی ایران برای سال ۲۰۵۰ میلادی (۱۴۳۰ شمسی) براساس سناریوی استاندارد IPCC توسط دو مدل گردش عمومی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین دمای سالانه مناطق مختلف کشور تا سال هدف بین ۳/۵ تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد در حالی که میانگین بارش سالانه بین ۷ تا ۱۴ درصد کاهش خواهد یافت. به‌علاوه این تغییرات از غرب به شرق و از شمال به جنوب کشور شدیدتر خواهد بود. افزایش دما باعث طولانی‌تر شدن فصل رشد به دلیل افزایش تعداد روزهای بدون یخبندان می‌شود. البته کاهش بارش طول فصل خشک را از حدود ۲۰ روز در مناطق غربی تا بیش از ۳۰ روز در جنوب کشور افزایش خواهد داد که این امر به‌ویژه در مناطق کشت دیم از اهمیت بیشتری برخوردار است. افزایش دما همچنین میزان تبخیر و تعرق بالقوه سالانه را در سال هدف بین ۱۸ تا ۳۰ درصد افزایش می‌دهد و در نتیجه تفاوت بین میزان بارش و تبخیر و تعرق بالقوه یا شاخص کمبود بارش به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد که عمدتاً به دلیل افزایش میزان تبخیر و تعرق خواهد بود. با وجودی که پی‌آمدهای تغییر اقلیم بر شاخص‌های اگروکلیماتیک تمامی مناطق کشور مؤثر می‌باشد، ولی نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین اثرات منفی به‌ترتیب در جنوب، شرق و مرکز کشور بروز کرده و کمترین اثرات در شمال و شرق کشور ظاهر شد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، شاخص کمبود بارش، طول دوره خشکی، طول فصل رشد، گرمایش جهانی

مقدمه

کشاورزی بنا به تعریف عام آن فعالیتی اقتصادی است که در جهت تولید غذا می‌باشد و در نتیجه امنیت غذایی حال و آینده جهان در گرو موفقیت این فعالیت خواهد بود. با وجود تمامی پیشرفت‌های علمی و تکنولوژیکی در زمینه افزایش عملکرد و تولید محصولات زراعی، کشاورزی به شدت به اقلیم وابسته است و از این‌رو، تنوع اقلیمی و تغییرات آن، چه در کوتاه مدت (در طول فصل رشد) و چه در درازمدت، سهم تعیین‌کننده‌ای در موفقیت تولید دارد. به همین دلیل تأثیر تغییرات اقلیمی آینده بر کشاورزی و تولیدات آن مورد توجه جوامع علمی بین‌المللی قرار گرفته است.

افزایش غلظت گاز کربنیک و اثبات نظریه اثر گلخانه‌ای که براساس آن نوع و ترکیب گازهای موجود در اتمسفر به شدت بر دمای کره زمین تأثیر می‌گذارند، حقایق انکارناپذیر هستند که وقوع تغییرات

آینده اقلیمی را محتمل ساخته‌اند (۳۵ و ۴۰). سناریوهای موجود در مورد افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر برآوردهای مختلفی را از تغییرات دمای آینده ارائه کرده‌اند. باوجودی که مقیاس زمانی برآورد در بروز اختلاف بین پیش‌بینی‌ها مؤثر است (۱۰)، ولی مدل‌های مختلف گردش عمومی^۳ افزایش دمای کره زمین برای سال ۲۰۶۰ میلادی را بین ۲ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد برآورد کرده‌اند (۳۸ و ۴۰). همچنین آخرین گزارش هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)^۴ میانگین افزایش دمای جهان برای سال ۲۰۵۰ را در حدود ۳ درجه سانتی‌گراد و در پایان قرن حاضر حدود ۴/۵ درجه سانتی‌گراد برآورد کرده است (۲۰). چنانچه غلظت گازهای گلخانه‌ای با سرعت فعلی (۱/۹ ppm در سال) افزایش یابد، تقریباً اغلب مدل‌های موجود برای افزایش میانگین دمای کره زمین تا سال ۲۱۰۰ میلادی حدود ۵/۵-۴ درجه سانتی‌گراد است (۵). با وجود عدم قطعیت در این پیش‌بینی‌ها باید به خاطر داشت که چنانچه دمای فعلی تنها یک

۱ و ۲- به‌ترتیب استاد گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و

مری گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه هرمزگان

(Email: akooch@um.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

3- General Circulation Model (GCM)

4- Intergovernmental Panel for Climate Change

در مورد مناطق خشک (۳۸) اجرا شده است. توجه به کشورهای فوق که به عنوان نمونه ارائه شده‌اند خلأ این قبیل مطالعات در کشور ایران و ضرورت انجام این مطالعه را به خوبی آشکار می‌سازد. پژوهش حاضر در دو بخش و در مقیاس ملی انجام شده است. در بخش اول تأثیر تغییر اقلیم بر شاخص‌های اقلیمی مرتبط با کشاورزی در کشور بررسی شده و در بخش دوم تأثیر شرایط اقلیمی آینده بر رشد و عملکرد برخی محصولات زراعی ایران مطالعه می‌شود. به علاوه راه کارهای سازگاری به شرایط تغییر اقلیم نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است، بنابراین در نوع خود پژوهشی جامع و کامل محسوب می‌شود.

مواد و روش‌ها

داده‌های اقلیمی: آمار درازمدت هواشناسی شامل مقادیر روزانه دمای حداقل، حداکثر و بارش برای دوره ۴۰ ساله (۱۹۶۵-۲۰۰۵) مربوط به شهرستان‌های اراک، اردبیل، اصفهان، اهواز، آبادان، ایلام، ارومیه، بوم، بوشهر، بندرعباس، بندر انزلی، تبریز، تربت حیدریه، تهران، خرم‌آباد، خوی، رامسر، زاهدان، زنجان، سنج، ساری، سبزوار، سمنان، شاهرود، شهرکرد، شیراز، قزوین، قم، کرمان، کرمانشاه، گرگان، مشهد، همدان و یزد از بانک داده‌های سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید، داده‌های آب و هوایی ۳۴ شهرستان مذکور در دوره ۴۰ ساله به عنوان مبنا^۱ مورد استفاده قرار گرفت. این ایستگاه‌ها به نحوی انتخاب شده‌اند که پوشش کاملی از نقاط مختلف اقلیمی ایران را فراهم ساخته و معرف وضعیت عمومی کشور باشند. جهت سهولت در ارائه نتایج، این شهرستان‌ها بر حسب موقعیت جغرافیایی به مناطق غربی، شرقی، شمالی، جنوبی و مرکزی گروه‌بندی شدند.

سناریوهای تغییر اقلیم: مجمع بین‌الدول تغییر اقلیم سناریوهای مختلفی را برای پیش‌بینی روند تغییرات اقلیمی در قرن حاضر ارائه کرده است. این سناریوها که بازتابی از مسیرهای توسعه آینده کشورهای جهان می‌باشند بر پایه برخی عوامل اقتصادی-اجتماعی از جمله رشد جمعیت و تغییرات تکنولوژیکی تعریف شده‌اند، به‌طور کلی به سه گروه شامل انتشار کم، متوسط و زیاد گازهای گلخانه‌ای تقسیم شده و به ترتیب به سناریوهای A₁f، A₂ و B₁ موسوم‌اند. در سناریوهای A₁f و B₁ غلظت گاز دی اکسید کربن تا پایان قرن حاضر به ترتیب به ۵۵۰ و ۹۷۰ ppm رسیده و در سناریوی A₂ در حد واسطه این دو مقدار یعنی حدود ۷۶۰ ppm خواهد بود. در این مطالعه از سناریوی A₁f که اصطلاحاً تداوم وضع فعلی^۲ نامیده می‌شود استفاده شد. پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم IPCC (۲۰) نشان داده است که حتی با انجام برنامه‌های مربوط به کاهش انتشار گاز کربنیک، افزایش دما و

درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، کره زمین به گرم‌ترین دمای خود در طی ۱۰ هزار سال گذشته خواهد رسید (۴۳).

گرمایش جهانی با تأثیر بر چرخه‌های هیدرولوژیکی کره زمین، الگوهای بارش را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد. با وجودی که نتایج اکثر پیش‌بینی‌ها نشان داده است که میانگین بارش جهان در شرایط اقلیمی آینده تا حدودی افزایش می‌یابد (۵)، ولی این افزایش عمدتاً در عرض‌های جغرافیایی شمالی بوده و مناطق خشک و نیمه خشک جهان با کمبود جدی بارش مواجه خواهند بود (۴۲). از آنجا که تقریباً تمامی شاخص‌های اقلیمی مرتبط با کشاورزی براساس دما و بارش محاسبه می‌شوند، تغییرات اقلیمی آینده با تأثیر بر این شاخص‌ها شرایط رشد و نمو گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار خواهند داد.

در مقیاس منطقه‌ای تکامل اکوسیستم‌های کشاورزی و تنوع آنها در جهان تابع اقلیم است، در حالی که در مقیاس کوچکتر تغییرات درون فصلی و بین فصلی، رشد و نمو گیاهان توسط شرایط آب و هوایی کنترل می‌گردد (۳۶). براین اساس می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بروز هرگونه تغییر احتمالی اقلیمی در آینده، تولیدات کشاورزی را در سطوح مختلف دستخوش تغییرات جدی کرده و قادر خواهد بود نظام‌های زراعی فعلی را که تحت شرایط اقلیمی رایج تکامل یافته‌اند، به‌طور قابل ملاحظه‌ای متحول سازد. بدیهی است میزان این تأثیر تابع مستقیمی از شدت تغییرات اقلیمی آینده خواهد بود. مقابله با این تغییرات احتمالی و یافتن راه‌حلی جهت سازگار کردن سیستم‌های فعلی تولید با این تغییرات مستلزم شناخت دقیق علل به‌وجود آورنده این تغییرات و پیش‌بینی احتمال وقوع آنها در آینده می‌باشد. با وجودی که محققین با استفاده از روش‌های برون‌یابی سعی در تعمیم یافته‌های خود در مقیاس جهانی دارند (۴۲)، ولی انجام مطالعات منطقه‌ای به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه از جمله اولویت‌های پژوهشی تعیین شده توسط سازمان‌های بین‌المللی می‌باشد.

مطالعات مربوط به تغییر اقلیم در کشورهای مختلف بسته به هدف مطالعه در ابعاد مختلفی اجرا شده‌اند. گروهی از این تحقیقات به پی‌آمدهای تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی مختلف پرداخته‌اند که از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به تأثیر تغییر اقلیم بر ذرت (*Zea mays* L.) و گندم (*Triticum aestivum* L.) (۳) چاودار (*Solanum tuberosum* L.) (۷)، سیب زمینی (*Secale cereal* L.) (۷)، گیاهان ریشه و غده‌ای (۳۲)،

گروه دیگر از مطالعات بر تأثیر تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی در مقیاس ملی (یک کشور خاص) تمرکز دارد که نمونه‌هایی از آنها در طی چند دهه‌ی اخیر در کشورهای آلمان (۸)، هند (۱)، مصر (۱۱)، (۴۸) اسپانیا (۱۷)، آمریکا، کانادا و استرالیا (۱۷) چین (۲۷)، زیمبابوه (۳۰)، قزاقستان (۳۳)، ایتالیا (۳۴) عربستان سعودی (۱۳) و نیز تحقیقات در مقیاس وسیع‌تر در سطح اروپا (۱۲) و یا در مقیاس جهانی

1- Baseline

2- Business as usual

طول فصل رشد: طول فصل رشد (تعداد روزهای بدون یخبندان) در ایستگاه‌های مختلف در شرایط حاضر (میانگین داده‌های ۳۰ ساله) و در شرایط تغییر اقلیم برای سال ۲۰۵۰ میلادی براساس نتایج مدل گردش عمومی محاسبه شد. بنا به تعریف طول فصل رشد بالقوه محصولات زراعی عبارتست از فاصله بین آخرین یخبندان بهار و اولین یخبندان پاییزه، این دوره برای هر گونه‌ی گیاهی اختصاصی بوده و به حداقل دمای رشد آن (صفر پایه) بستگی خواهد داشت.

طول دوره خشکی: طول دوره خشکی در ایستگاه‌های تحت بررسی براساس تعداد روزهایی که میزان بارندگی کمتر از تبخیر و تعرق باشد برای سال ۲۰۵۰ میلادی محاسبه و با طول این دوره در شرایط اقلیمی فعلی مقایسه شد. به این منظور منحنی‌های آمبروترمیک برای ایستگاه‌های مختلف در شرایط فعلی (میانگین دراز مدت) و سال هدف ترسیم و برای تعیین طول فصل خشک مورد استفاده قرار گرفت.

شاخص کمبود بارندگی در این مطالعه جهت محاسبه کمبود بارندگی تحت شرایط فعلی و تغییر اقلیم از تفاضل میزان بارندگی روزانه (P بر حسب میلی‌متر) و تبخیر و تعرق بالقوه روزانه (PET بر حسب میلی‌متر در روز) استفاده شد. مجموع این تفاضل در طی فصل رشد نشان‌دهنده کمبود میزان بارندگی و شاخصی از شدت تنش وارد شده بر گیاهان می‌باشد (۴۶). میزان تبخیر و تعرق بالقوه روزانه براساس روش پنمن-مونیت فائو (۲) تعیین شد. میزان تابش روزانه برای محاسبه PET در هر ایستگاه به روش ارائه شده توسط خودریان (۱۴) محاسبه گردید.

نتایج و بحث

تغییرات دما

میانگین افزایش سالانه دما براساس پیش‌بینی دو مدل گردش عمومی برای مناطق مختلف کشور (شکل ۱) نشان داد که شدت این تغییر در محدوده ۴/۵-۳/۵ درجه سانتی‌گراد قرار دارد. البته مدل GISS در مقایسه با مدل GFDL تا حدودی افزایش دمای بیشتری را برآورد کرده است. اختلاف در پیش‌بینی‌های اقلیمی با انواع مختلف GCM که ناشی از فرضیات به‌کار گرفته شده در مدل‌های گردش عمومی می‌باشد در بسیاری از پژوهش‌ها گزارش شده و به همین دلیل استفاده از بیشتر از یک GCM روشی رایج در مطالعات تغییر اقلیم است (۳۷). به‌علاوه نتایج نشان می‌دهد که در شرایط اقلیمی آینده افزایش دما جهت دار بوده به این صورت که از غرب به شرق و از شمال به جنوب کشور تشدید خواهد شد.

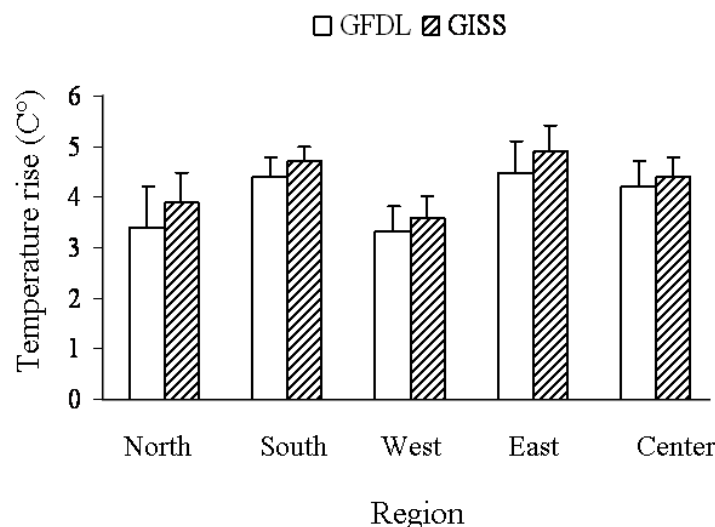
پی‌آمدهای ناشی از آن تا سال ۲۰۵۰ میلادی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود، بنابراین، در تحقیق حاضر سال ۲۰۵۰ میلادی (۱۳۳۰ شمسی) به‌عنوان سال هدف در نظر گرفته شده است.

دو مدل گردش عمومی GFDL^۱ و GISS^۲ (۱۶) به‌منظور پیش‌بینی تغییرات آینده اقلیمی مورد استفاده قرار گرفت. هر دو مدل براساس سناریوی IPCC (۲۰) برای سال ۲۰۵۰ میلادی (غلظت CO₂ معادل ۵۲۰ ppm) واسنجی شدند. در مقیاس وسیع، مدل‌های گردش عمومی قادرند تا به سهولت میانگین مهمترین خصوصیات اقلیمی را در شرایط آینده شبیه‌سازی کنند. البته یکی از معایب این مدل‌ها پایین بودن قدرت تفکیک مکانی آنهاست. در بهترین حالت قدرت تفکیک مکانی این مدل‌ها ۲/۵ درجه طول و عرض جغرافیایی است، بنابراین استفاده از نتایج آنها به‌طور مستقیم در مقیاس منطقه‌ای و محلی چندان رضایت‌بخش نمی‌باشد. در نتیجه لازم است تا خلأ بین مقیاس بزرگ که محدوده عمل مدل‌ها است و مقیاس منطقه‌ای که جهت ارزیابی مورد نیاز است به‌نحوی پر شود. محققین روش‌های مختلفی را برای این منظور ارائه کرده‌اند که رایج‌ترین آنها تغییر مقیاس آماری^۳ است که در این مطالعه نیز مورد استفاده قرار گرفت. جزئیات مربوط به نحوه‌ی استفاده از مدل‌های فوق در ایران و نیز تغییر مقیاس آماری نتایج حاصل از پیش‌بینی آنها توسط کوچکی و همکاران (۲۲ و ۲۳) ارائه شده است.

شاخص‌های اقلیمی کشاورزی

دما و بارش: در هنگام استفاده از مدل‌های گردش عمومی و قبل از شبیه‌سازی وضعیت آینده لازم است که مدل به‌صورت شاهد اجرا شود. شاهد در واقع معرف وضعیت فعلی (قبل از شروع تغییرات اقلیمی) است و اصطلاحاً دوره‌ی مبنا نامیده می‌شود. بر این اساس مدل‌ها در دوره‌ی مختلف اقلیمی (دوره‌ی مبنا: ۲۰۰۵-۱۹۶۵) و سناریوی سال ۲۰۵۰ میلادی اجرا شدند. اختلاف بین شبیه‌سازی آینده و شرایط فعلی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی محاسبه و به مقادیر داده‌های مبنا اضافه شدند تا شرایط اقلیمی آینده برآورد گردد. به این ترتیب اساس مدل‌های گردش عمومی میانگین ماهانه دما و بارش را بر حسب میزان تغییر نسبت به شرایط فعلی و تابش خورشیدی را بر حسب درصد تغییر نسبت به شرایط فعلی تعیین می‌کنند. جهت تبدیل داده‌های ماهانه به روزانه از یک نرم افزار تولیدکننده داده‌های آب و هوایی استفاده شد. مطالعات قبلی (۲۳) نشان داده است که تأثیر تغییر اقلیم بر میزان تابش ورودی در ایستگاه‌های مختلف کشور ناچیز می‌باشد.

- 1- General Fluid Dynamic Lab
- 2- Goddard Institute of Space Science
- 3- Statistical Downscaling



شکل ۱- میانگین پیش‌بینی شده افزایش سالانه دما برای سال ۲۰۵۰ میلادی در مناطق مختلف کشور به وسیله دو مدل گردش عمومی خطوط عمودی انحراف معیار درون هر منطقه را نشان می‌دهند.

Figure 1- Predicted increase in mean annual temperature for year 2050 in different regions across the country using two general circulation models. Vertical bars show SE within each region.

پیش‌بینی دو مدل گردش عمومی مشاهده شد. در ادامه محاسبات براساس پیش‌بینی مدل GFDL ارائه شده است.

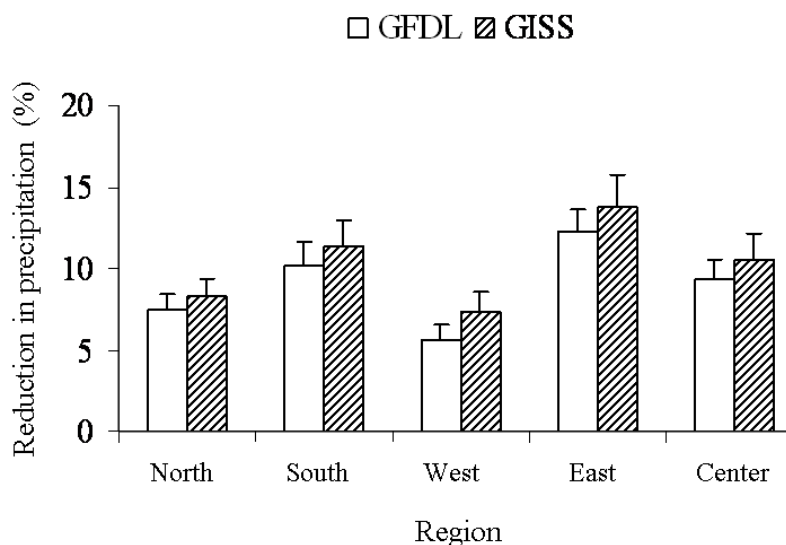
براساس این نتایج شدت کاهش بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور بارزتر از مناطق مرطوب می‌باشد. کوچکی و همکاران (۲۲) نیز با استفاده از مدل گردش عمومی UKMO برای سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی شیب تغییرات شمال به جنوب و غرب به شرق، کاهش میزان بارش و افزایش دما در ایران را گزارش کرده و نشان دادند که کاهش بارندگی در ماه‌های فصل پاییز و زمستان بیشتر از کاهش بارندگی در ماه‌های فصل بهار و تابستان (در مناطقی که دارای بارندگی تابستانه هستند) خواهد بود.

تغییر الگوهای بارش یکی از بارزترین پی‌آمدهای پدیده تغییر اقلیم در سراسر جهان است. با این حال شدت تغییرات بسته به مناطق جغرافیایی مختلف متغیر است. برای مثال تغییرات پیش‌بینی شده بارش تقریباً در مورد بیشتر مناطق قاره آمریکا و آسیا و بخشی از کانادا و استرالیا منفی بوده در حالی که اغلب مناطق قاره اروپا تغییرات مثبتی را به‌صورت افزایش میزان نزولات سالانه تجربه خواهند کرد (۱۲). به‌طور کلی نتایج برآوردهای موجود حاکی از آن است که نقاط خشک و نیمه‌خشک جهان، خشک‌تر خواهند شد. لو و همکاران (۲۸) میزان کاهش بارش در بخش‌های مختلف استرالیا را براساس چند سناریوی تغییر اقلیم برای سال ۲۰۸۰ میلادی بین ۹ تا ۳۲ درصد برآورد کرده‌اند.

نتایج ارائه شده در شکل ۱ میانگین سالانه افزایش دما می‌باشد، کوچکی و همکاران (۲۴) با محاسبه تغییرات ماهانه دما نشان دادند که شدت افزایش دما در ماه‌های زمستان بیشتر از سایر ماه‌های سال است. افزایش دما به‌عنوان اصلی‌ترین پی‌آمد تغییر اقلیم پدیده‌ای قطعی در تمامی مناطق جهان محسوب می‌شود. براساس گزارش IPCC (۲۰) میانگین دمای جهان با سناریوی تداوم وضع فعلی تا سال ۲۰۵۰ میلادی بین ۱/۶ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد و تا پایان قرن حاضر ۲/۴ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. البته شدت افزایش دما و توزیع فصلی آن و در نتیجه اثرات آن بر رشد و نمو گیاهان زراعی در مقیاس منطقه‌ای نوسانات شدیدی خواهد داشت (۶). برای مثال ژائو و همکاران (۴۷) افزایش میانگین دمای سالانه کشور چین را برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ به‌ترتیب ۱/۷ و ۲/۲ درجه سانتی‌گراد برآورد کرده در حالی که لو و همکاران (۲۸) افزایش دمای مناطق مختلف استرالیا را برای سال ۲۰۸۰ بین ۱/۱ تا ۴/۳ درجه پیش‌بینی کرده‌اند.

تغییرات بارش

نتایج پیش‌بینی شده توسط مدل‌های گردش عمومی کاهش بارندگی در سال ۲۰۵۰ را نسبت به شرایط فعلی برای تمامی مناطق کشور تأیید می‌کند (شکل ۲) و میزان این کاهش که در دامنه ۷ تا ۱۴ درصد قرار دارد دارای شیب مکانی مشابه تغییرات گزارش شده برای دما می‌باشد. در مورد بارش نیز نظیر دما تفاوت‌هایی بین



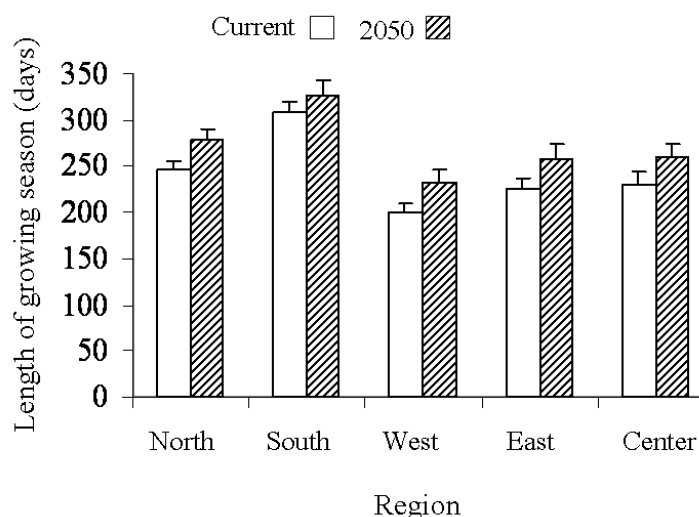
شکل ۲- میانگین پیش‌بینی شده کاهش میانگین سالانه بارش برای سال ۲۰۵۰ میلادی در مناطق مختلف کشور به‌وسیله دو مدل گردش عمومی خطوط عمودی انحراف معیار درون هر منطقه را نشان می‌دهند.

Figure 2- Predicted decrease in mean annual precipitation for year 2050 in different regions across the country using two general circulation models. Vertical bars show SE within each region.

طول فصل رشد

طول فصل رشد براساس تعداد روزهای فاقد یخبندان (روزهای مناسب جهت رشد محصولات زراعی) با احتمال ۷۵ درصد برای مناطق مختلف کشور براساس میانگین درازمدت فعلی و نیز سال ۲۰۵۰ میلادی محاسبه شد (شکل ۳).

نتایج این تحقیق نیز نشان می‌دهد که الگوی مکانی تغییرات بارش در سال ۲۰۵۰ میلادی تا حد زیادی مشابه الگوی تغییرات دما می‌باشد. بنابراین مناطقی که کاهش بارندگی بیشتری دارند با افزایش دمای بیشتری نیز مواجه خواهند بود. بروز همزمان این دو پدیده بسیاری از شاخص‌های اگروکلیماتیک را تحت تأثیر قرار خواهد داد.



شکل ۳- میانگین فعلی و پیش‌بینی شده طول فصل رشد برای سال ۲۰۵۰ میلادی در مناطق مختلف کشور به‌وسیله مدل گردش عمومی GFDL خطوط عمودی انحراف معیار درون هر منطقه را نشان می‌دهند.

Figure 3- Current and predicted length of growing season for year 2050 in different regions across the country using GFDL general circulation model. Vertical bars show SE within each region.

این یافته‌ها به‌وضوح نشان‌دهنده طولانی‌تر شدن فصل رشد و کاهش تعداد روزهای فاقد یخبندان در تمامی ایستگاه‌های تحت بررسی در این مطالعه است. این نتایج با توجه به تأخیر در تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه و جلو افتادن تاریخ آخرین یخبندان بهاره دور از انتظار نمی‌باشد.

در بخش‌های جنوبی کشور که در شرایط فعلی نیز تمام سال فصل رشد بوده و تقریباً فاقد دوره یخبندان می‌باشد (برای مثال، بوشهر یا بندرعباس) افزایش طول فصل رشد اندک و در حدود ۱۸ روز می‌باشد در حالی که در مناطق سردسیر غرب و شمال غرب کشور (برای مثال اردبیل که طول فصل رشد آن در حال حاضر حدود ۱۶۰ روز است) تغییر اقلیم طول فصل رشد را تا ۳۳ روز افزایش خواهد داد. بنابراین به نظر می‌رسد که تحت این شرایط حتی در نقاط بسیار سرد کشور نیز طول فصل رشد جهت کشت برخی محصولات زراعی که در حال حاضر امکان رشد آنها وجود ندارد، فراهم گردد. با وجودی که افزایش میانگین دمای سالانه بهترین متغیر جهت پیش‌بینی طول فصل رشد در شرایط تغییر اقلیم می‌باشد، کوچکی و همکاران (۲۲) نشان دادند که افزایش میانگین دما فصل پاییز عامل اصلی افزایش طول فصل رشد کشور در شرایط تغییر اقلیم می‌باشد.

شواهد متعدد در بسیاری از نقاط جهان از جمله استرالیا (۱۹) و چین (۲۷) و کشورهای قاره اروپا (۳۱) همگی طولانی‌تر شدن فصل رشد گیاهان زراعی را در شرایط آینده اقلیمی تأیید کرده است. با این حال شدت تغییر طول فصل رشد بسته به منطقه، سناریوی تغییر اقلیم، مدل گردش عمومی استفاده شده و نیز فاصله زمانی پیش‌بینی (برای مثال سال ۲۰۵۰ یا ۲۱۰۰ میلادی) متفاوت می‌باشد (۵). تأثیر تغییر اقلیم بر افزایش طول فصل رشد در عرض‌های جغرافیایی بالا نظیر کانادا یا شمال انگلستان (اسکاتلند) که کوتاه بودن طول فصل رشد محدودیت مهمی جهت کشت برخی گیاهان زراعی محسوب می‌شود بسیار بارزتر است. برای مثال در حال حاضر در کانادا گندم تا عرض جغرافیایی ۵۵ درجه شمالی کشت می‌شود در حالی که پیش‌بینی شده که تا سال ۲۰۵۰ میلادی به دلیل گرمایش جهانی این منطقه به عرض ۶۵ درجه شمالی برسد (۳۶). کوچکی و همکاران (۲۵) نیز با شبیه‌سازی رفتار گلدهی زعفران (*Crocus sativus* L.) در واکنش به افزایش دما نشان دادند که با شدت یافتن تغییرات اقلیمی، کشت این گیاه در مناطق شمالی استان خراسان نیز امکان‌پذیر خواهد بود.

طول فصل خشک

در شکل ۴ منحنی‌های آمبروترمیک برای دو ایستگاه واقع در

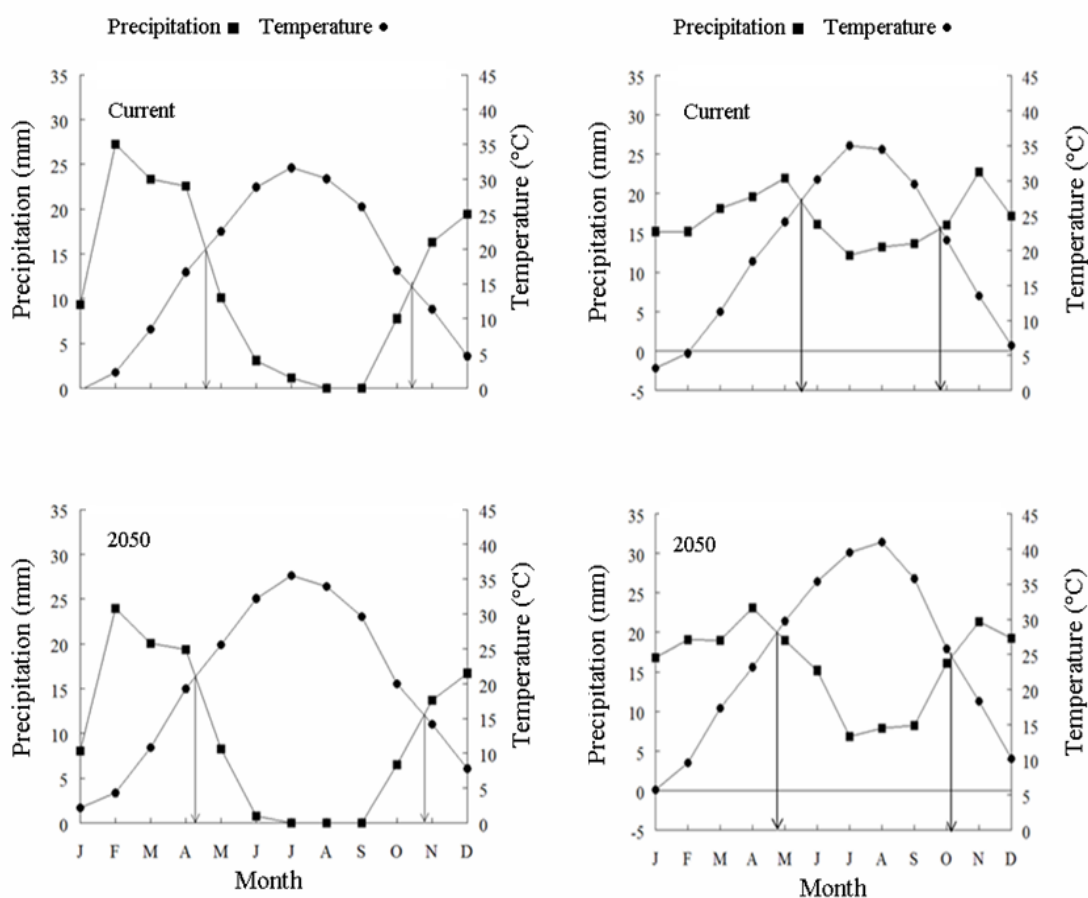
شرق (مشهد) و غرب (تبریز) کشور نشان داده شده است. این نتایج افزایش طول دوره خشکی را در هر دو شهرستان تأیید می‌کند، البته شدت افزایش طول فصل خشک در شرق به مراتب بیشتر از غرب می‌باشد به‌علاوه سطح محصور بین دو منحنی دما و بارش که نشان‌دهنده شدت خشکی است در هر دو منطقه و البته با شدت بیشتری در شرق کشور افزایش یافته است. این وضعیت که ناشی از افزایش دما (شکل ۱) و کاهش بارش (شکل ۲) می‌باشد، در تمامی شهرستان‌های تحت بررسی با شدت‌های مختلف قابل تشخیص می‌باشد.

باید توجه داشت که افزایش طول فصل رشد بدون فراهمی آب مزیتی برای رشد بهتر گیاهان زراعی به‌همراه نخواهد داشت و بر همین اساس کوچکی و همکاران (۲۲) نشان دادند که طول واقعی فصل رشد، یعنی طول دوره بدون یخبندان به شرط دسترسی به ذخیره کافی آب در خاک، در شرایط اقلیمی آینده در اغلب مناطق کشور کاهش می‌یابد که به نوبه خود محدودیت بیشتری برای محصولات دیم خواهد بود. مطالعات در مقیاس جهانی نیز نشان داده است که تغییرات آینده اقلیمی با تأثیر بر میزان دما و بارندگی، استعداد کشاورزی در مناطق مختلف را از طریق تغییر طول واقعی فصل رشد با احتساب دوره خشکی تحت تأثیر قرار خواهند داد (۳۱).

در شکل ۵ که افزایش منطقه‌ای طول فصل خشک را در شرایط اقلیمی آینده نسبت به حال حاضر نشان می‌دهد نیز مجدداً شیب تغییرات شمال به جنوب و شرق به غرب که قبلاً به آن اشاره شد مشهود می‌باشد و به‌طور کلی افزایش طول دوره خشکی در دامنه‌ای بین ۲۱ روز در غرب تا ۳۰ روز در جنوب کشور قرار دارد.

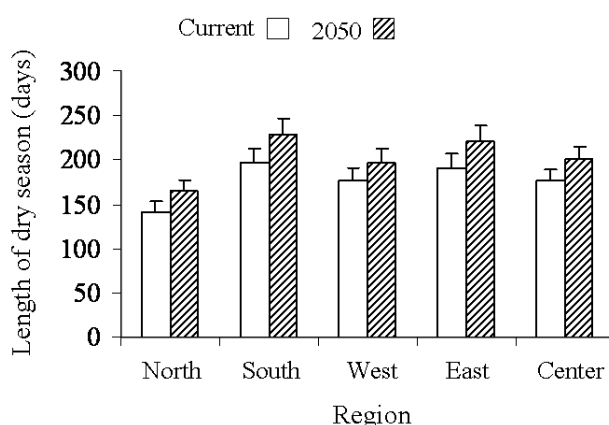
تغییر طول دوره خشکی در شرایط تغییر اقلیم برای اکثر مناطق نیمه خشک جهان از جمله استرالیا (۱۹)، چین (۴۴) و بخش‌هایی از آمریکا (۱۷) گزارش شده است. افزایش طول دوره خشکی در مناطق دیم از اهمیت بیشتری برخوردار است زیرا طولانی شدن این دوره باعث تخلیه ذخیره رطوبت خاک قبل از تکمیل دوره رشد شده و احتمال مصادف شدن مراحل حساس نمو گیاهان با خشکی را افزایش می‌دهد (۴).

نتایج این تحقیق نیز نشان می‌دهد که مناطق مهم کشت دیم کشور (شکل ۶) در شرایط اقلیمی آینده با چنین وضعیتی مواجه خواهند بود. شواهد موجود حاکی از آن است که افزایش طول فصل رشد در نواحی شمالی کانادا و به‌طور کلی عرض‌های بالا به‌دلیل افزایش دما و کاهش طول واقعی فصل رشد در عرض‌های میانه (نواحی خشک و نیمه خشک) عمدتاً ناشی از کاهش میزان بارش می‌باشد (۹ و ۴۲).



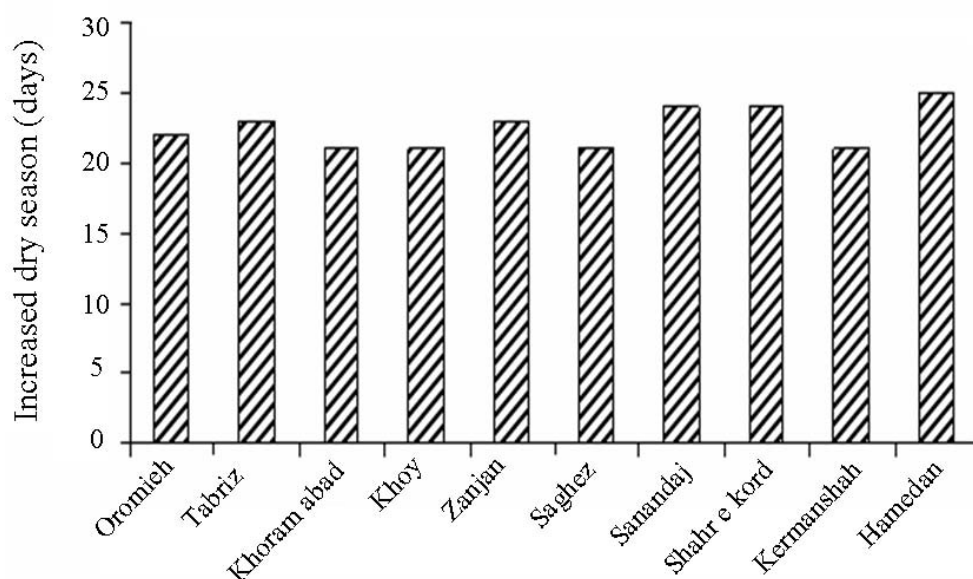
شکل ۴- منحنی‌های آمبروترمیک مشهد (چپ) و تبریز (راست) برای شرایط فعلی و سال ۲۰۵۰ میلادی. داده‌های مربوط به شرایط فعلی براساس میانگین دراز مدت بارش و دما و داده‌های سال ۲۰۵۰ بر مبنای پیش‌بینی مدل GFDL می‌باشند. پیکان‌های عمودی شروع و پایان فصل خشک را نشان می‌دهند.

Figure 4- Ambrothermic curves of Mashhad (left) and Tabriz (right) for current conditions and year 2050. Current trend are calculated from long term means of temperature and precipitation data and for 2050 based on predictions of GFDL model. Arrows show start and end of dry season.



شکل ۵- میانگین فعلی و پیش‌بینی شده طول فصل خشک در مناطق مختلف کشور در سال ۲۰۵۰ میلادی پیش‌بینی شده به‌وسیله مدل گردش عمومی GFDL، خطوط عمودی انحراف معیار درون هر منطقه را نشان می‌دهند.

Figure 5- Current and predicted length of dry season for year 2050 in different regions across the country using GFDL general circulation model. Vertical bars show SE within each region.



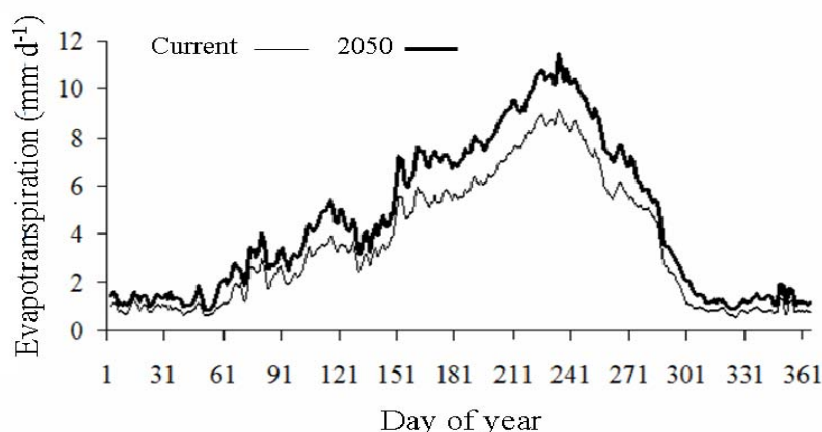
شکل ۶- افزایش پیش‌بینی شده طول فصل خشک در سال ۲۰۵۰ میلادی نسبت به شرایط فعلی در برخی مناطق دیم کشور به‌وسیله مدل گردش عمومی GFDL

Figure 6- Predicted increase in the length of dry season for year 2050 compare to current conditions in the main rainfed production regions of the country, changes were predicted using GFDL model.

عمده آن مربوط به ماه‌های بهار و تابستان می‌باشد. میانگین افزایش تبخیر و تعرق بالقوه در در شمال، جنوب، غرب، شرق و مرکز کشور به‌ترتیب معادل ۲۰، ۳۲، ۱۸، ۲۹ و ۲۴ درصد برآورد گردید که از روند پیش‌بینی شده برای افزایش دما تبعیت دارد.

شاخص کمبود بارش

در شکل ۷ مقادیر روزانه تبخیر و تعرق بالقوه مشهد در شرایط فعلی با سال ۲۰۵۰ میلادی مقایسه شده‌اند. نتایج نشان‌دهنده ۲۷ درصد افزایش تبخیر تعرق سالانه در اثر افزایش دما است که بخش



شکل ۷- مقادیر روزانه تبخیر و تعرق بالقوه مشهد در شرایط فعلی و سال ۲۰۵۰ میلادی پیش‌بینی شده به‌وسیله مدل گردش عمومی GFDL. در محاسبه تبخیر تعرق برای سال ۲۰۵۰ کلیه متغیرهای اقلیمی به‌جز دمای حداقل و حداکثر روزانه مشابه شرایط فعلی در نظر گرفته شده است. جهت مشخص شدن روند تغییرات نتایج به‌صورت میانگین متحرک ۵ روزه نمایش داده شده‌اند، روزهای سال میلادی است.

Figure 7- Daily values of potential evapotranspiration (PET) of Mashhad under current conditions and year 2050 predicted using GFDL model. for calculating PET in 2050 all climatic variables besides max and min daily temperatures were assumed the same as current conditions. The results are presented as 5-day moving average, days of year are Julian.

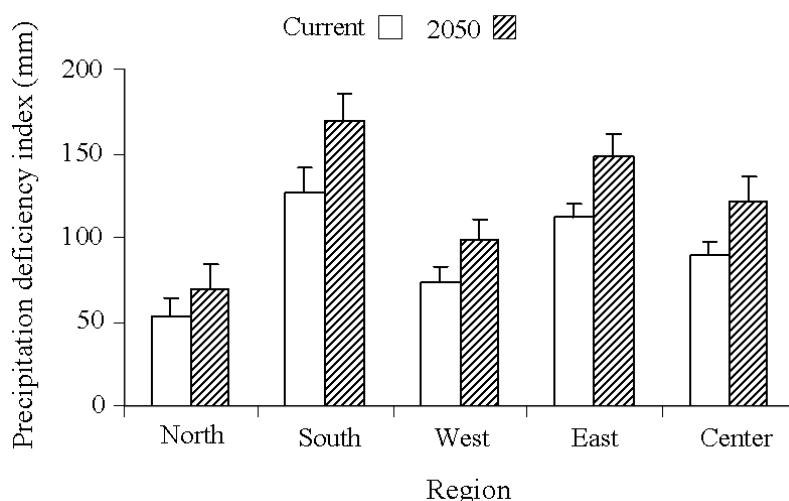
درصد).

چنین پدیده‌ای جهت اکثر مناطق فعلی تولید دیم در شرایط تغییر اقلیم پیش‌بینی شده است. مطالعات انجام شده در استرالیا (۱۹) حاکی از آن است که تأثیر تغییر اقلیم بر کاهش شاخص کمبود بارندگی عمدتاً به دلیل افزایش میزان تبخیر و تعرق بالقوه است. از آنجا که پایین بودن میانگین نزولات سالانه با میانگین بالای تبخیر و تعرق بالقوه همراه است، مناطق خشک جهان را می‌توان براساس نسبت این دو متغیر تقسیم‌بندی کرد، براساس این تقسیم‌بندی بخش عمده مناطق دیم جهان (از جمله سیستم‌های زراعی دیم ایران) در محیط‌هایی قرار دارند که در آنها نسبت میانگین بارش سالانه به میانگین تبخیر و تعرق بالقوه بین ۰/۲ تا ۰/۵ می‌باشد (۳۸).

از سوی دیگر، شواهد موجود حاکی از آن است که پدیده تغییر اقلیم، نسبت فوق را در مناطق خشک و نیمه خشک هم از طریق کاهش میانگین بارش سالانه و هم از طریق افزایش تبخیر و تعرق بالقوه به دلیل افزایش دما، به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد داد. در صورت تحقق چنین تغییراتی، تولید محصولات دیم که در اکثر مناطق خشک و نیمه خشک که عمدتاً بر غلات و به‌ویژه گندم استوار است به مخاطره خواهد افتاد (۴۵). بنابراین چنانچه شاخص کمبود بارندگی به میزان پیش‌بینی شده در شرایط تغییر اقلیم برای سال ۲۰۵۰ در مناطق دیم خیز کشور تحقق یابد، بدون تردید بسیاری از مناطق فعلی تولید گندم دیم استعداد خود را جهت این سیستم تولید از دست خواهند داد.

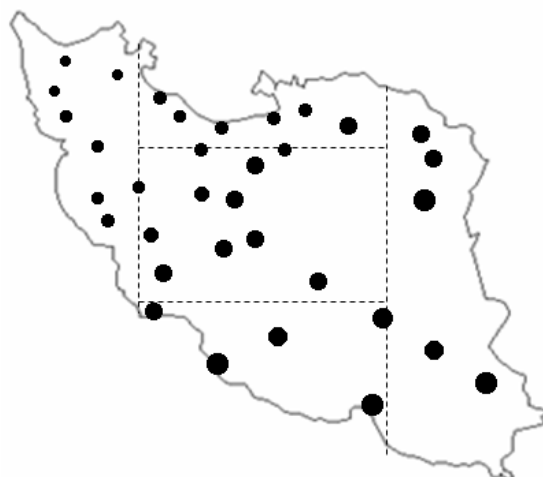
افزایش میزان تبخیر و تعرق به‌عنوان یکی از پی‌آمدهای تغییر اقلیم در آمریکا (۳۳ و ۳۶) و مناطق کشت برنج آسیا (۳۹) نیز پیش‌بینی شده است. البته رودریک و فارکور (۴۱) نشان دادند در صورتی که افزایش دمای حداقل روزانه بیشتر از افزایش دمای حداکثر باشد، تبخیر تعرق تغییر چندانی نخواهد کرد، ولی در صورت یکسان بودن افزایش دمای حداقل و حداکثر روزانه در اثر گرمایش جهانی، افزایش این متغیر شدید خواهد بود. به‌طور کلی در عرض‌های جغرافیایی میانه تبخیر به میزان ۵ درصد به‌ازای هر درجه سانتی‌گراد افزایش میانگین دما سالانه، افزایش می‌یابد. بنابراین چنانچه در منطقه‌ای دما ۲ درجه سانتی‌گراد بالاتر برود، تبخیر بالقوه (با فرض عدم تغییر در میزان بارندگی) ۱۰-۹ درصد افزایش می‌یابد. این اثر در مراحل ابتدایی دوره رشد گیاهان زراعی (ابتدای فصل رشد) چندان بارز نیست، ولی در ادامه و در ماه‌های تابستان کمبود رطوبت خاک مشکلات جدی برای رشد گیاهان فراهم خواهد ساخت (۴۶).

میزان تغییر شاخص کمبود بارش در مناطق مختلف کشور که اختلاف میزان بارش و تبخیر و تعرق بالقوه می‌باشد در شکل ۸ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که دامنه این شاخص برای سال ۲۰۵۰ میلادی بین ۷۵ تا ۱۷۰ میلی‌متر قرار داشته و در مناطق جنوبی و شرقی کشور بیشتر است. به‌نظر می‌رسد که افزایش شاخص کمبود بارش تا حد زیادی تحت تأثیر افزایش تبخیر و تعرق قرار دارد زیرا میزان کاهش بارش در مناطق جنوبی و شرقی کشور برای سال ۲۰۵۰ به‌ترتیب ۱۲ و ۱۵ درصد پیش‌بینی شد (شکل ۲) که به مراتب کمتر از میزان افزایش تبخیر و تعرق در این مناطق است (به‌ترتیب ۳۲ و ۲۹



شکل ۸- مقادیر فعلی و پیش‌بینی شده شاخص کمبود بارش در مناطق مختلف کشور در سال ۲۰۵۰ میلادی پیش‌بینی شده به‌وسیله مدل گردش عمومی GFDL. خطوط عمودی انحراف معیار درون هر منطقه را نشان می‌دهند.

Figure 8- Current and predicted values of precipitation deficiency index for year 2050 in different regions across the country using GFDL general circulation model. Vertical bars show SE within each region.



شکل ۹- شدت نسبی پی‌آمدهای تغییر اقلیم در سال ۲۰۵۰ میلادی برای تلفیقی از شاخص‌های مختلف آگروکلیماتیک در مناطق مختلف ایران. محل دایره‌ها موقعیت تقریبی شهرستان‌های بررسی شده در این مقاله و اندازه دایره‌ها شدت نسبی تأثیر تغییر اقلیم را نشان می‌دهد. خطوط مقطع مناطق شمال، جنوب، غرب، شرق و مرکز را براساس فرضیات این تحقیق مشخص می‌کند.

Figure 9- Relative vulnerability of different regions across the country to the predicted climate change for year 2050 based on overall changes in agrolimatic indices. Circles show the location of the studies stations and their size show the relative impacts. North, South, West, East and Central regions as discussed in the paper are separated with broken lines.

خوشه‌بندی مناطق آگروکلیماتیک ایران براساس بیش از ۵۰ متغیر اقلیمی نشان دادند که در صورت تحقق پیش‌بینی‌های اقلیمی، تعداد پهنه‌های اقلیمی-کشاورزی ایران از ۱۲ ناحیه در شرایط فعلی به ۹ ناحیه در سال ۲۰۵۰ میلادی کاهش خواهد یافت. این امر باعث تغییراتی در ساختار نظام‌های زراعی شده به نحوی که علاوه بر کاهش عملکرد، جابه‌جایی مکانی گونه‌های زراعی، احتمال حذف برخی گونه‌ها یا حتی معرفی گونه‌های جدید یا فراموش شده را به دنبال خواهد داشت. مواجهه با این شرایط مستلزم انجام مطالعات وسیع در زمینه تأثیر شرایط اقلیمی آینده بر تولید گیاهان زراعی در کشور و اتخاذ راه‌کارهای مناسب سازگاری می‌باشد.

سپاسگزاری

بودجه این تحقیق از محل اعتبارات طرح پژوهش مصوب ۸۷/۹/۲ توسط معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که تا نیمه‌ی قرن حاضر میلادی پدیده تغییر اقلیم، پی‌آمدهای قابل توجهی را بر بسیاری از شاخص‌های اقلیمی مرتبط با کشاورزی به همراه خواهد داشت. از آنجا که اهمیت هریک از این شاخص‌ها بر تولید محصولات زراعی بسته به گونه گیاهی، نظام زراعی (دیم/آبی) و سایر شرایط تولید متفاوت می‌باشد، ارزیابی پاسخ گیاهان زراعی به این تغییرات مستلزم انجام مطالعات موردی خواهد بود. با این حال در شکل ۹ نمایی از شدت نسبی عوارض تغییر اقلیم در مناطق مختلف کشور ارائه شده که تلفیقی از کلیه شاخص‌های بررسی شده در این مقاله را شامل می‌شود.

توجه به این شکل مشخص می‌سازد که نواحی جنوبی و شرقی و نیز بخش‌هایی از مرکز کشور تا ۳۰ سال آینده تغییرات اقلیمی شدیدی را تجربه خواهند کرد که بی‌تردید تأثیر قابل توجهی بر بوم نظام‌های زراعی این مناطق خواهد داشت. کوچکی و همکاران (۲۴) با

References

- Aggarwal, P. K. 2003. Impact of climate change on Indian agriculture. *Journal of Plant Biology* 30: 189-198.
- Allen, R. G., Pereira, I. S., Raes, D., and Smith, M. 1998. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing requirements. Irrigation and Drainage Paper 56*. FAO, Rome.
- Brown, R. A., and Rosenberg, N. J. 1999. Climate change impacts on the potential productivity of corn and winter wheat in their primary United States growing regions. *Climate Change* 41: 73.
- Calderini, D. F., Savin, R., Abeledo, L. G., Reynolds, M. P., and Slafer, G. A. 2001. The importance of the period immediately preceding anthesis for grain weight determination in wheat. *Euphytica* 119: 199-204.
- Carson, D. J. 1999. Climate modelling: achievements and prospects. *Quarterly Journal of Royal Meteorological*

- Society 125: 1-28.
6. Challinor, A. J., Wheeler, T. R., and Slingo, J. M. 2005. Simulation of the impact of high temperature stress on the yield of an annual crop. *Agricultural and Forest Meteorology* 135: 180-189.
7. Chmielewski, F. M., and Köhn, W. 2000. Impact of weather on yield and yield components of winter rye. *Agricultural and Forest Meteorology* 102: 253-261.
8. Chmielewski, F. M., Müller, A., and Bruns, E. 2003. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. *Agricultural and Forest Meteorology* 112: 132-145.
9. Downing, T. E., Ringlus, L., Hulme, M., and Waughray, D. 1997. *Adapting to climate: Cold Regions*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 809-825.
10. Easterling, W. E., Weiss, A., Hays, C. J., and Mearns, L. O. 1998. Spatial scales of climate information for simulating wheat and maize productivity: the case of the US Great Plains. *Agricultural and Forest Meteorology* 90: 51-63.
11. El-Shaer, M. H., Eid, H. M., Rosenzweig, C., Iglesias, A., and Hillel, D. 1996. Agricultural Adaptation to Climate Change in Egypt. In: J.B. Smith et al. (eds.), *Adapting to Climate Change: An International Perspective* 109-127.
12. Ewert, F., Rounsevell, M. D. A., Reginster, I., Metzger, M. G., and Leemans, R. 2005. Future scenarios of European agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 107: 101-116.
13. Fahad, M. A. 2002. Possible effects of global warming on agriculture and water resources in Saudi Arabia: impacts and responses. *Climate Change* 54: 225-245.
14. Goudiraan, J., and van Laar, H. H. 1993. *Modelling Crop Growth Processes*. Kluwer Academic Press, The Netherlands.
15. Guereña, A., Ruiz-Ramos, M., Díaz-Ambrona, C. H., Conde, J. R., and M'inguez, M. I. 2001. Assessment of climate change and agriculture in Spain using climate models. *Agronomy Journal* 93: 237-249.
16. Hansen, J., Fung, G., Lacis, A., Rind, D., Russel, G., Lebedeff, S., Ruedy, R., and Stome, P. 1988. Global climate change as forecast by GISS 3-D model. *Journal of Geographical Research* 93: 9341-9364.
17. Hill, H. S. J., Butler, D. B., Fuller, S. W., Hammer, G. L., Holzworth, D. P., Love, H. A., Meinke, H., Mjelde, J. W., Park, J., and Rosenthal, W. 2001. Effects of seasonal climate variability and the use of climate forecasts on wheat supply in the US, Australia and Canada. *American Society of Agronomy, Special Publication 'Impact of El Nino and Climatic Variability on Agriculture*, pp. 101-123.
18. Holden, N. M., Brereton, A. J., Fealy, R., and Sweeney, J. 2003. Possible change in Irish climate and its impact on barley and potato yields. *Agricultural and Forest Meteorology* 116: 181-196.
19. Howden, S. M., Reyenga, P. J., and Meinke, H. 1999. Global change impacts on Australian wheat cropping: studies on hydrology, fertiliser management and mixed crop rotations. Report to the Australian Greenhouse Office. CSIRO Wildlife and Ecology, Working Paper 99/13, Canberra.
20. IPCC. 2007. *Climate Change 2007*. Cambridge University Press, New York.
21. Izaurrealde, C., Norman, R., Rosenberg, J., Brown, R. A., and Thomson, A. M. 2003. Integrated assessment of Hadley Center (HadCM2) climate-change impacts on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States Part II. Regional agricultural production in 2030 and 2095. *Agricultural and Forest Meteorology* 117: 97-122.
22. Koocheki, A., Nassiri, M., Kamali, G. A., and Shahandeh, H. 2006a. Potential impacts of climate change on agro-meteorological indicators in Iran. *Arid Land Research and Management* 20: 1-15.
23. Koocheki, A., Nassiri, M., Soltani, A., Sharifi, H., and Ghorbani, R. 2006b. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. *Climate Research* 30: 247-253.
24. Koocheki, A., Nassiri, M., and Kamali, G. A. 2007. Agroclimatic indices of Iran under climate change. *Iranian Journal of Field Crops Research* 5 (1): 133-142.
25. Koocheki, A., Nassiri, M., Alizadeh, A., and Ganjali, M. 2009. Modelling the impact of climate change on flowering behaviour of Saffron. *Iranian Journal of Field Crops Research* 7 (2): 583-594.
26. Lawlor, D. W., and Mitchell, R. A. C. 2000. Crop ecosystems responses to climatic change: Wheat. In: K.R. Reddy and H.F. Hodges (Eds.), *Climate Change and Global Crop Productivity*. CAB International, Cambridge, pp. 57-80.
27. Lin, E. D. 1996. Agricultural vulnerability and adaptation to global warming in China. *Water, Air & Soil Pollution*, Kluwer Academic Publishers.
28. Luo, Q., Williams, M. A. J., Bellotti, W., and Bryan, B. 2003. Quantitative and visual assessments of climate change impacts on South Australian wheat production. *Agricultural Systems* 77: 173-186.
29. Manabe, S., and Wetherlad, R. T. 1987. Large scale changes in soil wetness induced by an increase in CO₂. *Journal of Atmospheric Science* 44: 1211-1235.
30. Matarira, C. H., Mwamuka, F. C., and Makadho, J. M. 1996. Adaptive measures for Zimbabwe's agricultural sector. In: J.B. Smith et al. (ed.), *Adapting to Climate Change: An International Perspective* 129-147.
31. Menzel, A., and Fabian, P. 1999. Growing season extended in Europe. *Nature*, 397: 659.
32. Miglietta, F., Bindi, M., Vaccari, F. P., Schapendonk, A. H. C. M., Wolf, J., and Butterfield, R. E. 2000. Crop

- ecosystem responses to climatic change: root and tuberous crops. In: Reddy, K.R., Hodges, H.F. (Eds.), *Climate Change and Global Crop Production*. CAB International, Wallingford.
33. Mizina, S. V., Eserkepova, I. B., Pilifosova, O. V., Dolgih, S. A., and Gossen, E. F. 1996. Model based climate change vulnerability and adaptation assessment for wheat yields in Kazakhstan. In: J.B. Smith et al. (Eds.), *Adapting to Climate Change: An International Perspective* 149-163.
 34. Moonena, A. C., Ercoli, L., Mariotti, M., and Masoni, A. 2003. Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years. *Agricultural and Forest Meteorology* 111: 13-27.
 35. New, M., Hulme, M., and Jones, P. 1999. Representing twentieth century space-time climate variability. Part I. Development of a 1961–1990 mean monthly terrestrial climatology. *Journal of Climatology* 12: 829-856.
 36. Ortiz, R., Sayre, K. D., Govaerts, B., Gupta, R., Subbarao, G. V., Ban, T., Hodson, D., Dixon, J. M., Ortiz-Monasterio, J. I., and Reynolds, M. 2008. Climate change: Can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 126: 46-58.
 37. Parry, M., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Fischer, G., and Livermore, M. 1999. Climate change and world food security: a new assessment. *Global Environmental Change* 9: S51-S67.
 38. Pauw, E., De Göbel, W., and Adam, H. 2000. Agrometeorological aspects of agriculture and forestry in the arid zones. *Agricultural and Forest Meteorology* 103: 43-58.
 39. Peng, S., Laza, R. C., Visperas, R. M., Khush, G. S., Virk, P., and Zhu, D. 2004. Rice: Progress in breaking yield ceiling. In: *Proceeding of the 4th International Crop Science Congress*, Brisbane, Australia. Available at <http://www.cropsscience.com/icsc2004>.
 40. Reilly, J., Tubiello, F., McCarl, B., Abler, D., Darwin, R., Fuglie, K., Hollinger, S., Izaurralde, C., Jagtap, S., Jones, J., Mearns, L., Ojima, D., Paul, E., Paustian, K., Riha, S., Rosenberg, N., and Rosenzweig, C. 2003. Agriculture and climate change: new results. *Climatic Change* 57: 43-69.
 41. Roderick, M. L., and Farquhar, G. D. 2004. Changes in Australian pan evaporation from 1970 to 2002. *International Journal of Climatology* 24: 1077-1090.
 42. Rosenzweig, C., and Parry, M. L. 1994. Potential impacts of climate change on world food supply. *Nature* 367: 133-138.
 43. Saunders, M. A. 1999. Earth's future climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society London* 357: 3459-3480.
 44. Tao, Z. 1993. Influences of global change on agriculture of China. In: *Climate Biosphere Interactions*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
 45. Tubiello, F. N., Rosenzweig, C., Kimball, B. A., Pinter, P. J., Wall, G. W., Hunsaker, D. J., Lamorte, R. L., and Garcia, R. L. 1999. Testing CERES-Wheat with FACE data: CO₂ and water interactions. *Agronomy Journal* 91: 1856-1865.
 46. Turner, N. C. 2001. Optimizing water use. In: Nosberger, H.A. and P.C. Struik (eds.) *International Crop Science*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 119-135.
 47. Xiao, G., Zhang, Q., Yao, Y., Zhao, H., Wang, R., Bai, H., and Zhang, F. 2008. Impact of recent climatic change on the yield of winter wheat at low and high altitudes in semi-arid northwestern China. *Agricultural Ecosystem and Environment* 127: 37-42.
 48. Yates, D. N., and Strzepek, K. M. 1998. An assessment of integrated climate change impacts on the agricultural economy of Egypt. *Climate Change* 38: 261-287.



Evaluation of Climate Change Effect on Agricultural Production of Iran: I. Predicting the Future Agroclimatic Conditions

A. Koocheki^{1*} - M. Nassiri Mahallati¹ - L. Jafari²

Received: 10-11-2012

Accepted: 24-09-2013

Introduction

Future climate change may affect agricultural production through changes in both mean and variability of climatic conditions which in turn could affect crop growth and development. Results of many studies have shown that crop production systems of dry regions are more vulnerable to the predicted climate changes (5) and these impacts are mainly due to the effects of increased temperature on agro-climatic variables (4). During the last decade future changes in agro-climatic variables such as growth degree days, length of growth period and duration of dry season have been studied at regional or national scale with different results depending on studied location (1, 6). However, such information are not available for Iran. In this study different agro-climatic indices of Iran across the country are calculated for the target year 2050 based on business as usual scenario and the results are compared with the current conditions.

Materials and Methods

Long term climatic data (1965-2005) of 34 stations covering different climates across the country were used as the baseline for predicting future climate as well as current conditions. Two general circulation models (GISS and GFDL) were used for prediction of climatic variables in the selected stations for the year 2050 based on business as usual (A₁f) scenario of CERES family (2) and the results were statistically downscaled for higher resolution (Koocheki et al., 2006). Daily temperatures (minimum, maximum and mean) and precipitation were generated from the predicted monthly values. Several agro-climatic indices including potential evapotranspiration, length of growing season (time period between the last spring frost and the first autumn frost), length of dry season (time period where evapotranspiration exceeds precipitation which obtained from ombrothermic curve), and precipitation deficiency index (sum of differences between evapotranspiration and precipitation) were calculated based on daily temperature and precipitation. Same indices were also calculated for the current climatic conditions and the results were compared with that of future.

Results and Discussion

The results indicated that mean annual temperature for different regions of the country would increase between 3.5-4.5°C. However, increased temperature predicted by GISS model was larger than GFDL model. This increase is significantly higher than average global temperature rise of 1.6-2.5 °C predicted for 2050 under business as usual scenario (2). Annual precipitation would decrease in the range of 7 to 15% by the target year 2050 furthermore both temperature rise and decreased precipitation showed a North-South and West-East gradient.

Future temperature rise will led to a longer growing season because of increased frost-free days. The results indicated that extended growth period is mainly due to delayed autumn frost and the highest increase in growing period of 33 days was predicted for the most Northern part of the country. However, lower precipitation results to a higher length of dry season ranging from 20 days at East up to 30 days in the South regions of the country. Extended dry period would lead to unfavorable conditions for rainfed cropping systems due to rapid depletion of soil moisture before crop maturity. Annual increase of potential evapotranspiration (PET) by 18-32% follows the same spatial direction as was predicted for temperature rise with the highest increase for South regions. As a result, precipitation deficiency index, which is the sum of differences between rainfall and PET, will increase drastically over the country, mostly due to increased PET or due to an increase in PET. While all of the studied agro-climatic variables would be affected by the future climate changes, our results showed that the highest overall negative effects would be appeared respectively, in the South, East, and central parts of the country while the North and Eastern regions will experience less vulnerability.

1 and 2- Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad and Instructor, Department of Horticulture Sciences, College of Agriculture, Hormozgan University, Respectively.

(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)

Conclusions

Agricultural production systems of Iran will be faced with new climatic conditions affecting crop growth and development. The results of this research indicated the future changes of main agro-climatic variables. Prediction of these changes effects on crop productivity at national level could be helpful for designing adaptation strategies.

Keywords: Evapotranspiration, Global warming, Length of dry season, Length of growing period, Precipitation deficiency index



بررسی اثر تداخل علف‌های هرز بر عملکرد و خصوصیات زراعی شنبلیله در تراکم‌های مختلف گیاهی در شرایط بیرجند

رضا برادران^{۱*} - مهرناز قهاری^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۲۴

چکیده

به منظور تعیین تراکم کاشت و تداخل علف هرز بر خصوصیات زراعی گیاه شنبلیله، آزمایشی در بهار سال زراعی ۱۳۸۹-۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی بیرجند به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل تراکم بوته شنبلیله در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۴۰ بوته در متر مربع و دوره تداخل علف هرز در پنج سطح شامل تمام وجین، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ روز تداخل پس از سبز شدن و عدم وجین بودند. نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد دانه (با مقادیر ۵۶/۸۱ و ۴۳/۱۲۰ گرم در متر مربع) به ترتیب مربوط به تیمارهای تراکم ۴۰ و ۱۰ بوته در متر مربع بود. همچنین کاهش تراکم سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته و عملکرد دانه گردید. افزایش دوره‌های طولانی مدت تداخل علف هرز مانع از رشد اندام‌های رویشی و تسریع در ورود به فاز زایشی گردید در نهایت باعث افزایش شاخص برداشت و کاهش عملکرد شد به طوری که میانگین عملکرد دانه در تیمار عدم وجین (۴۲/۷۶ گرم در متر مربع)، ۲۸/۵ درصد نسبت به تیمار تمام وجین کاهش یافت. افزایش تراکم موجب کاهش وزن خشک علف هرز گردید، کمترین وزن خشک علف هرز (۲۰۵۷/۷ گرم در متر مربع) از تیمار ۴۰ بوته در متر مربع به دست آمد. اثر متقابل تراکم و تداخل علف هرز بر عملکرد دانه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. براساس نتایج به دست آمده از این آزمایش می‌توان بیان کرد در بین تراکم‌های مختلف، تراکم ۴۰ بوته در متر مربع در شرایط وجین کامل بیشترین عملکرد دانه را تولید کرد.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، علف هرز، عملکرد دانه، وزن خشک

مقدمه

شنبلیله دارای اثرات مختلفی از جمله کاهش دهنده چربی، ضد دیابت، مدر، ضد نفخ، ضد اسهال و ضد روماتیسم است (۱۵، ۲۰ و ۲۴). به منظور افزایش تولید محصولات زراعی در واحد سطح، انجام عملیات به‌نژادی و به‌زراعی ضروری است و هنگامی که این دو روش همراه با یکدیگر به کار گرفته شوند سودبخش خواهند بود. از جمله مهمترین عوامل به‌زراعی، به‌کارگیری تراکم مطلوب می‌باشد، به طوری که اگر کلیه شرایط لازم از جمله رقم مناسب، کود و غیره فراهم باشد ولی تراکم مناسب نباشد، حداکثر محصول در واحد سطح به دست نخواهد آمد (۶). از طرف دیگر، مناسب‌ترین راهکار برای بهبود وضعیت اقتصادی-محیطی، تکیه بر سیستم‌های کم‌نهاد می‌باشد (۲۱). مدیریت علف‌های هرز در کشاورزی اکولوژیک و ارگانیک در نظر بسیاری از کشاورزان یکی از بزرگترین چالش‌ها به شمار می‌رود (۱۰). مدیریت مؤثر علف‌های هرز سبب افزایش عملکرد، کاهش جمعیت علف‌های هرز و هزینه‌های مرتبط با آن در طی زمان می‌گردد (۲). علف‌های هرز با گیاهان زراعی بر سر منابع مختلفی از قبیل نور، آب و مواد معدنی به رقابت می‌پردازند (۲۵).

گیاهان دارویی یکی از منابع غنی کشور است که امکان صادرات آن نیز وجود دارد. ایران از نظر آب و هوا در زمینه رشد گیاهان دارویی یکی از بهترین مناطق جهان محسوب می‌شود، به همین دلیل صادرات آن می‌تواند منبع بزرگی از درآمد برای کشور باشد (۷). یکی از قدیمی‌ترین گیاهان دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-gracum*) می‌باشد (۵). شنبلیله گیاه علفی یکساله از خانواده باقلائیان (Fabaceae) بوده، دارای دانه‌های قهوه‌ای یا قرمز مایل به زرد تا خاکستری به طول ۵-۳ میلی‌متر می‌باشد (۱۲). از دانه این گیاه به عنوان ادویه و از برگ آن به عنوان سبزی استفاده می‌شود. دانه گیاه

۱- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی

واحد بیرجند

(*)- نویسنده مسئول: (Email: r.baradaran@yahoo.com)

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد شناسایی و مبارزه با علف‌های هرز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند

به طوری که در تیمار تداخل تمام فصل به حداکثر مقدار خود می‌رسید. نتایجی که حاصل از تحقیقات رجیبیان و همکاران (۲۰) روی کلزا (*Brassica napus* L.) نشان داد که افزایش تراکم بوته با کاهش وزن خشک علف‌های هرز همراه بود. افزایش طول دوره عاری از علف هرز سبب شد که تعداد علف‌های هرز به شدت کاهش پیدا کند. با توجه به اینکه در مورد بهترین زمان وجین علف‌های هرز و مناسب‌ترین تراکم گیاه شنبلیله اطلاعات زیادی در دسترس نیست، لذا این پژوهش با هدف تعیین زمان وجین علف هرز و تراکم مناسب شنبلیله انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در مزرعه آموزشی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند در ۵ جاده بیرجند - زاهدان واقع در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۴۹۱ متر از سطح دریا انجام شد. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم و دیسک بود. جهت تقویت زمین با توجه به نتایج تجزیه خاک اقدام به کودپاشی گردید و کودهای مصرفی شامل کود پایه (N, P, K) به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های تصادفی در سه تکرار بود. عوامل مورد مطالعه شامل تداخل علف هرز در پنج سطح (شاهد تمام وجین تا انتهای فصل، مرحله اول: ۲۰ روز پس از سبز شدن وجین، مرحله دوم: ۴۰ روز پس از سبز شدن وجین، مرحله سوم: ۶۰ روز پس از سبز شدن وجین، شاهد بدون وجین تا انتهای فصل) و تراکم در سه سطح به عنوان فاکتور فرعی (۱۰، ۲۰ و ۴۰) بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. هر کرت شامل چهار خط کاشت با فاصله‌ی ۲۵ سانتی‌متری بود و فاصله‌ی بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. بذر شنبلیله (کروی، قهوه‌ای) از شرکت پاکان بذر کویر اصفهان تهیه و قبل از کاشت توسط بنومیل ضد عفونی و سپس کاشت به صورت خشکه کاری انجام شد و بلافاصله آبیاری صورت گرفت. آبیاری هر هفت روز تا رسیدگی کامل غلاف‌ها انجام شد. در طول دوره آفت و بیماری خاصی مشاهده نشد. وجین علف‌های هرز در هر سه مرحله به صورت دستی انجام گرفت. صفات مورد اندازه‌گیری شامل عملکرد دانه، ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، تعداد شاخه در بوته و شاخص برداشت بود. عملکرد نهایی زمانی که قسمت انتهایی بوته زرد و غلاف‌ها خشک شده بودند اندازه‌گیری شد. در ابتدا از هر کرت پنج بوته به طور تصادفی جهت اندازه‌گیری خصوصیات مورفولوژیک و اجزای عملکرد انتخاب شدند و صفات یاد شده در آنها ثبت شد و پس از حذف ۵۰ سانتی‌متر از کل حواشی کرت، سطح باقیمانده برای تعیین عملکرد برداشت گردید. تجزیه واریانس و تحلیل

ادونوان (۱۷) گزارش کرد که در مراحل اولیه رشد علف‌های هرز، رقابت برای منابعی نظیر آب و مواد غذایی بین علف‌های هرز و گیاه زراعی شدید است و در اغلب موارد، علف‌های هرز توانایی بالایی در تخصیص سریع منابع خواهند داشت و با استفاده از سطح تعرق خود بخش زیادی از آب در دسترس گیاه را از محیط خارج کرده و به شدت با گیاه زراعی رقابت می‌کنند همچنین افزایش طول دوره رقابت علف‌های هرز باعث تأثیر بیشتر علف‌های هرز بر عملکرد و خصوصیات رشد گیاه زراعی می‌گردد. در صورتی که تغییر جمعیت گیاه زراعی همراه با تغییر تعداد بوته در روی ردیف‌های کاشت و همچنین تغییر فواصل ردیف‌های کاشت باشد (تغییر آرایش کاشت)، رشد علف‌های هرز به علت ادامه افزایش رشد گیاه زراعی کاهش خواهد یافت (۲۲). جهت رسیدن به عملکرد مطلوب علاوه بر افزایش حاصلخیزی خاک و استفاده از ارقام اصلاح شده، تأمین رطوبت کافی از طریق آبیاری و تنظیم تراکم گیاهی در واحد سطح لازم می‌باشد (۹). کافی و راشد محصل (۹) در بررسی تیمارهای دفعات کنترل علف‌های هرز و فاصله ردیف و تراکم بر رشد روی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) نتیجه گرفتند که با کاهش تراکم بوته، سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ به دلیل از دست رفتن بخش اعظم تشعشع در مراحل اولیه رشد کمتر بوده و از این رو عملکرد دانه کاهش یافت. اکبری نیا و همکاران (۱) در بررسی تأثیر تراکم‌های ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ بوته در متر مربع در گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) گزارش کردند که بیشترین عملکرد بذر در تراکم ۳۰ بوته در متر مربع به دست آمد و با افزایش تراکم از ۳۰ به ۵۰ بوته در متر مربع، عملکرد بذر روند کاهشی نشان داد و مقدار آن به ۲۱۱۳ کیلوگرم بذر در تراکم ۵۰ بوته در متر مربع رسید که کمتر از عملکرد بذر در تراکم ۲۰ بوته در متر مربع (۲۲۳۶ کیلوگرم بذر در هکتار) بود. کوچکی و همکاران (۱۱) گزارش کردند که با افزایش تراکم از ۴۰ بوته تا ۱۰۰ بوته در متر مربع، در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) عملکرد دانه در واحد سطح افزایش یافت به طوری که عملکرد دانه در تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع، ۷۱ درصد بیشتر از عملکرد دانه در تراکم ۴۰ بوته در متر مربع بود. در مورد اثر تراکم در واحد سطح بر ارتفاع بوته گزارشات متناقضی وجود دارد (۱۶). به طوری که آشوک و همکاران (۲) گزارش کردند که تراکم بوته در واحد سطح، اثری بر ارتفاع بوته کنگد (*Sesamum indicum* L.) نداشت اما قانگارد و همکاران (۶) عنوان کردند که با افزایش تراکم بوته در واحد سطح، ارتفاع بوته کنگد افزایش می‌یافت. رضوانی مقدم و همکاران (۲۲) نیز در تحقیق خود بر روی سویا (*Glycine max* L.) پی بردند که جبران محصول در هر گیاه در شرایط تراکم کم بر اثر افزایش تعداد شاخه فرعی و تعداد غلاف در بوته بود. با طولانی‌تر شدن زمان تداخل علف‌های هرز، در ذرت، وزن خشک علف‌های هرز در واحد سطح افزایش یافت،

بیشترین (۲۱/۹۸) و کمترین (۱۶/۵۷) شاخص برداشت را داشتند. اثر تراکم بر شاخص برداشت معنی‌دار نشد (جدول ۱) و شاخص برداشت در تراکم‌های مختلف تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت (جدول ۳). کاهش شاخص برداشت با افزایش دوره‌های تداخل نشان داد که هرچه گیاه بیشتر در معرض وجین بود شاخص برداشت بیشتری داشت. ایوانز و همکاران در ذرت (۵)، حسینی و همکاران (۸) در زیره سبز، نیز افزایش شاخص برداشت را با طولانی‌تر شدن دوره‌های وجین گزارش کرده‌اند.

خصوصیات علف هرز

اثر تداخل علف هرز بر ماده خشک علف‌های هرز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، تراکم اثر معنی‌داری بر وزن خشک علف هرز نداشت همچنین اثر متقابل تراکم کاشت و تداخل علف هرز در سطح ۵ درصد بر وزن خشک علف هرز معنی‌دار شد (جدول ۲). به استثنای تیمار عدم کنترل، بیش‌ترین و کم‌ترین ماده خشک علف‌های هرز به‌ترتیب مربوط به تیمار ۶۰ روز پس از سبز شدن و تیمار ۲۰ روز پس از سبز شدن بود، همچنین با طولانی‌تر شدن زمان تداخل علف هرز، ماده خشک علف‌های هرز روند افزایشی داشت (شکل ۳). اثر تداخل علف هرز بر تعداد علف هرز معنی‌دار شد (جدول ۲). تعداد علف‌های هرز در هر متر مربع با افزایش طول دوره تداخل روند کاهشی داشت، به نحوی که تعداد علف‌های هرز کل در تیمار ۶۰ روز پس از سبز شدن، نسبت به تیمار ۲۰ روز پس از سبز شدن به میزان ۴۴ درصد کاهش یافت (شکل ۴). احتمالاً کاهش تعداد علف‌های هرز با گذشت زمان، به دلیل افزایش رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای علف‌های هرز بر سر منابع غذایی، نور و غیره باشد که این رقابت سبب حذف گیاهان ضعیف‌تر خواهد شد که اصطلاحاً به این پدیده «خود تنگی» می‌گویند (۱۱). تولید علف هرز بیشتر در تیمار (شاهد بدون وجین) را می‌توان نتیجه طولانی‌تر بودن دوره تداخل علف هرز و استفاده بیشتر از نور، آب و مواد غذایی دانست. یاداو و همکاران (۲۶) بر روی سویا گزارش کردند که هرچه زمان وجین به آخر فصل نزدیک‌تر شد، ماده خشک علف‌های هرز در آخر فصل کمتر گردید و این پژوهشگران گزارش داده‌اند که افزایش تعداد دفعات کنترل، ماده خشک و تعداد علف‌های هرز را در واحد سطح شدیداً کاهش داد.

ویژگی‌های مورفولوژیکی شنبلیله

ارتفاع بوته شنبلیله به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تراکم کاشت قرار گرفت (جدول ۱) و با کاهش تراکم، ارتفاع بوته کاهش یافت، به‌طوری‌که ارتفاع بوته از ۲۸/۴۰۷ سانتی‌متر در تراکم کاشت ۴۰ بوته در متر مربع به ۲۲/۰۹۶ سانتی‌متر در تراکم کاشت ۱۰ بوته در متر مربع رسید (شکل ۵).

آماري به کمک نرم افزار SAS و رسم نمودار توسط Excel صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر تراکم و تداخل علف هرز به‌ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد، همچنین اثر متقابل تراکم و تداخل علف هرز در سطح ۵ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. با طولانی‌تر شدن دوره‌های تداخل علف هرز، عملکرد دانه کاهش یافت و به کمترین مقدار در تیمار عدم وجین رسید (شکل ۱). با افزایش تراکم، عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۲). افزایش عملکرد دانه در تراکم‌های بیشتر در آزمایش‌های گودا و همکاران (۷) و یاداو و همکاران (۲۶) بر روی شنبلیله نیز مشاهده شده است. معنی‌دار بودن اثر متقابل تراکم و تداخل علف هرز نشان‌دهنده واکنش متفاوت عملکرد در سطوح مختلف تراکم به رقابت علف‌های هرز می‌باشد. به‌طور کلی افزایش تراکم و انتخاب آرایش کشت مناسب گیاه زراعی باعث کاهش رشد علف‌های هرز، افزایش توان رقابتی گیاه زراعی و افزایش عملکرد آن می‌شود (۱۰ و ۱۹).

عملکرد بیولوژیک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تراکم کاشت قرار گرفت (جدول ۱). در بین تراکم‌های کاشت، تراکم ۴۰ بوته بیشترین (۳۲۵/۵۶ گرم در متر مربع) و تراکم کاشت ۱۰ بوته کمترین (۲۳۲/۶۶ گرم در متر مربع) عملکرد بیولوژیک را تولید کرد (جدول ۳). اثر تداخل علف هرز بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نشد، اگرچه با افزایش فاصله زمانی وجین (تا ۲۰ روز) عملکرد بیولوژیک کاهش نشان داد و از ۲۸۰/۴۹ به ۲۵۷/۴۹ رسید ولی این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۳). اثر متقابل تراکم کاشت و تداخل علف هرز بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نشد (جدول ۱). بیشترین عملکرد بیولوژیک در زمانی حاصل شد که گیاه در طول دوره‌ی رشد خود با بیشترین زمان عدم حضور علف‌های هرز مواجه بوده است، چنین موضوعی دور از انتظار نیست زیرا گیاه با عدم رقابت علف‌های هرز در طی بخش اعظمی از فصل رشد توانسته است از منابع موجود بهتر استفاده کند و اندام‌های هوایی بیشتری را تولید کند. افزایش تراکم به‌طور قابل توجهی سبب افزایش زیست توده کل شد. به همین ترتیب بیشترین تراکم (۴۰ بوته در متر مربع) نیز به دلیل داشتن سطح برگ بزرگ‌تر و استفاده بیشتر از نور خورشید زیست توده، بیشتری نسبت به سایر تراکم‌ها تولید کرد (۱۳).

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر ساده تراکم کاشت و تداخل علف هرز بر شاخص برداشت معنی‌دار نشد ولی اثر متقابل تراکم کاشت و تداخل علف هرز بر شاخص برداشت معنی‌دار بود. مقایسه میانگین شاخص برداشت در تیمارهای تداخل مختلف (جدول ۳) نشان داد که شرایط تمام وجین و بدون وجین به‌ترتیب

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس برخی صفات فیزیومورفولوژیکی شنبلیله تحت تأثیر تراکم و تداخل علف هرز

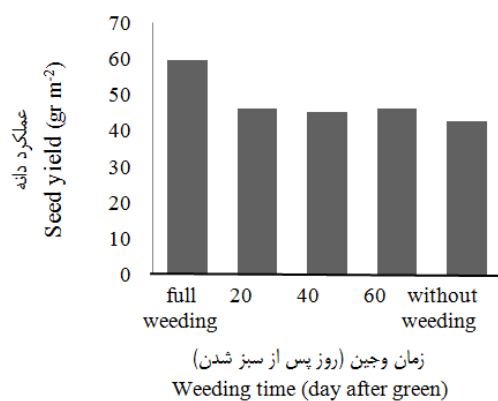
Table 1- Analysis of variance for some physiormorphological traits of fenugreek influnces density and weed interference

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of square				
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه در بوته Number of branch per plant	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	26.61	1.51	207.95	3394.56	5.36
تراکم Density	2	176.05**	0.29 ^{ns}	864.84**	33282.95**	19.35 ^{ns}
تداخل Interference	4	56.83*	0.09 ^{ns}	408.26*	1322.53 ^{ns}	56.25 ^{ns}
تراکم × تداخل Density × Interference	8	30.57 ^{ns}	1.47 ^{ns}	296.038*	1954.09 ^{ns}	52.06*
خطای آزمایشی Experimental error	28	18.54	0.15	110.48	1452.84	20.87
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	17.58	29.59	21.86	13.88	25.61

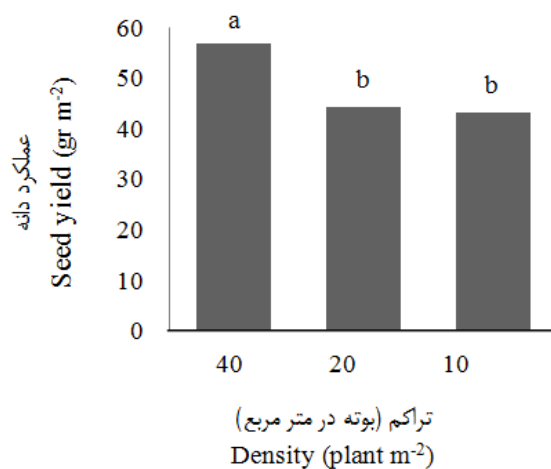
ns, **, * به ترتیب نشان دهنده معنی دار بودن در سطح ۵٪ و ۱٪ و عدم معنی دار بودن می باشد.

* and ** are significantly different (respectively P<0.05 and P<0.01)

ns are not significantly different



شکل ۱- تأثیر زمان وجین بر عملکرد دانه
Figure 1- Effect of weeding time on seed yield



شکل ۲- تأثیر تراکم بر عملکرد دانه
Figure 2- Effect of density on seed yield

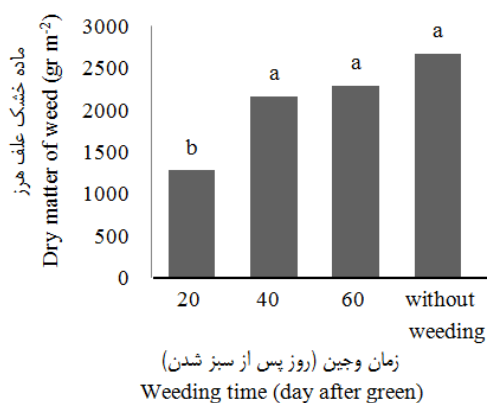
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات علف هرز
Table 2- Analysis of variance for weed traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of square	
		ماده خشک علف هرز Dry matter of weed	تعداد علف هرز Number of weed
تکرار Replication	2	891990.10	34039.58
تراکم Density	2	22819.13 ^{ns}	83999.25 ^{ns}
تداخل Interference	3	3135549.97 ^{**}	430480.81 ^{**}
تراکم × تداخل Density × Interference	6	1520823.97 [*]	42660.50 ^{ns}
خطای آزمایشی Experimental error	22	463512.21	26932.58
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	32.45	28.11

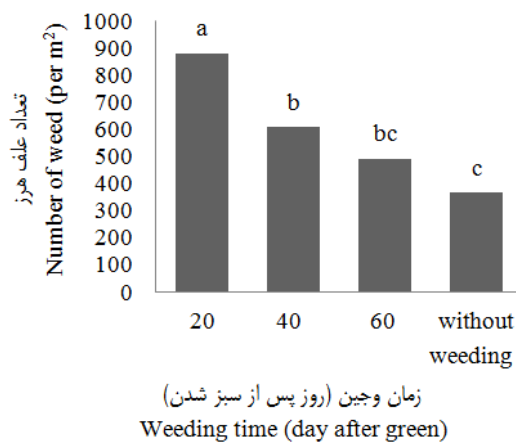
*, **, ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵٪ و ۱٪ و عدم معنی‌دار بودن می‌باشد.

* and ** are significantly different (respectively $P < 0.05$ and $P < 0.01$)

ns are not significantly different



شکل ۳- اثر زمان وجین بر وزن خشک علف هرز
Figure 3- Effect of weeding time on weed dry weight



شکل ۴- اثر زمان وجین بر تعداد علف هرز
Figure 4- Effect of weeding time on weed number

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین برخی صفات شنبلیله
Table 3- Mean comparison some of fenugreek traits

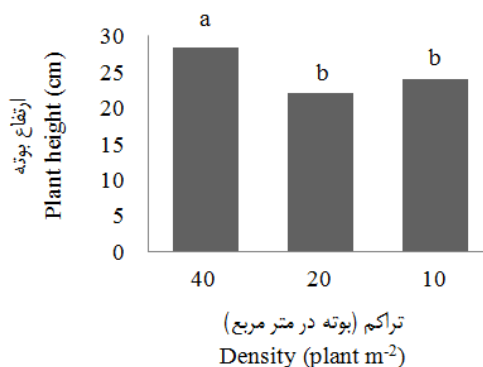
تیمارهای آزمایشی Experimental treatments	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد بیولوژیکی Biological yield (g)	تعداد شاخه در بوته Number of branch per plant
تراکم Density			
۴۰ بوته در متر مربع 40 plant m ⁻²	17.49 ^a	325.56 ^a	6.69 ^a
۲۰ بوته در متر مربع 20 plant m ⁻²	16.64 ^a	265.55 ^b	7.23 ^a
۱۰ بوته در متر مربع 10 plant m ⁻²	19.05 ^a	232.66 ^c	6.91 ^a
تداخل علف هرز Weed interference			
شاهد تمام وجین Full weeding	21.98 ^a	280.49 ^a	6.94 ^a
۲۰ روز پس از سبز شدن 20 days after green	18.07 ^a	266.37 ^a	7.26 ^a
۴۰ روز پس از سبز شدن 40 days after green	15.62 ^b	285.74 ^a	6.76 ^a
۶۰ روز پس از سبز شدن 60 days after green	16.71 ^b	282.78 ^a	6.86 ^a
شاهد بدون وجین Without weeding	16.57 ^b	257.49 ^a	6.88 ^a

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) نمی باشند.

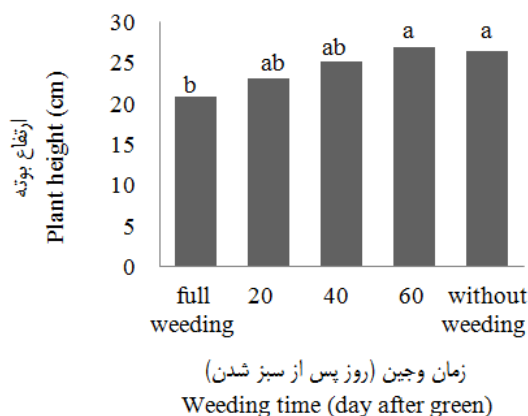
Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$)

کاهش یافت که علت کاهش ارتفاع بوته را می توان به خاطر افزایش منابع غذایی و نور در تراکم های پایین دانست. قانگارد و همکاران (۶) عنوان کردند که با افزایش تراکم بوته در واحد سطح، ارتفاع بوته کنجد افزایش یافت. عدم تأثیر تراکم بر تعداد شاخه در بوته (جدول ۳) نشان دهنده این است که افزایش رقابت بین بوته ها در بیشترین تراکم به اندازه ای زیاد نبوده است که شاخه زنی را کاهش دهد. سپینگ و همکاران (۲۵) افزایش ارتفاع بوته و کاهش شاخه زنی شنبلیله را در تراکم های بالا گزارش کرده اند.

اثر تداخل بر ارتفاع بوته در سطح پنج درصد معنی دار شد (جدول ۱) و بیشترین ارتفاع بوته در تیمار وجین ۶۰ روز پس از سبز شدن و کمترین ارتفاع بوته در تیمار شاهد تمام وجین بود (شکل ۶). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تراکم و تداخل علف هرز بر تعداد شاخه در بوته معنی دار نبود همچنین اثر متقابل تراکم و تداخل علف هرز بر ارتفاع بوته و تعداد شاخه در بوته معنی دار نشد (جدول ۱). تعداد شاخه در بوته به طور معنی داری تحت تأثیر سطوح تراکم کاشت و تداخل علف هرز قرار نگرفت (جدول ۳). با کاهش تراکم ارتفاع بوته



شکل ۵- اثر تراکم بر ارتفاع بوته
Figure 5- Effects of density on plant height



شکل ۶- اثر زمان وجین بر ارتفاع بوته
Figure 6- Effects of weeding time on plant height

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که شنبلیله قادر بود حضور علف‌های هرز را تا ۲۰ روز پس از سبز شدن تحمل کند و حذف علف‌های هرز پس از این مرحله، عملکرد را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. این امر نشان می‌دهد که وجین علف‌های هرز باید همان

ابتدای فصل انجام شود. همچنین با توجه به عدم تغییر تعداد شاخه در بوته با افزایش تراکم و نظر به اینکه بالاترین تراکم بیشترین عملکرد دانه را نیز داشته است احتمال دارد تراکم‌های بیشتر با افزایش عملکرد همراه باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که تراکم‌های بالاتر از ۴۰ بوته مورد آزمون قرار گیرد.

References

1. Akbarinia, A., Daneshian, G., and Mohammadbeighi, F. 2007. Effect of nitrogen fertilizer and plant density on seed yield, essence and oil of coriander. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 22: 410-419. (in Persian with English abstract).
2. Ashok, K. S., Adhar, J., Chavan, G.V., and Gungard, S. R. 1992. Geometry of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivar under rainfed condition. International Journal of Agriculture 37: 857-858.
3. Chaudhari, R. D. 1996. Herbal drug industry: a practical approach to industrial pharmacognosy. Eastern Publishers. New Dehli.
4. Dutta, P. K., Jana, P., Bandyopadhyay, and Maity, D. 2000. Response of summer sesame (*Sesamum indicum* L.) to irrigation. International Journal of Agriculture 54: 613-616.
5. Evans, S. P., Knezevic, S. Z., Lindquist, J. L., Shapiro, C. A., and Blankenship, E. E. 2003. Nitrogen application influences the critical period for weed control in corn. Weed Science 51: 408-417.
6. Ghangard, S. R., Chavana, D. A., Alse, U. N., and Yeaonkar, G. V., 1991. Effect of plant density and variety on yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). International Journal of Agriculture 37: 380-385.
7. Gowda, M. C., Halesh, D. P., and Farooqi, A. A. 2006. Effect of dates of sowing and spacing on growth of fenugreek (*Trigonella foenum gracum* L.). Biomedicine 1 (2): 141-146.
8. Hosseini, A., Koocheki, A., and Nasiri Mahallati, M. 2005. Study the critical period of weed control in cumin medicinal plant. Journal of Iranian Field Crop Research 4 (1): 23-34. (in Persian with English abstract).
9. Kafi Se Ghaleh, M., and Rashed Mohassel, M. H. 1992. Study of weed control times effect, row distance and density on growth and yield of cumin. Journal of Agricultural Science and Technology 6 (2): 158-160. (in Persian with English abstract).
10. Khosla, P., and Nagpal, R. K. 1995. Effect of fenugreek (*Trigonella foenum graceum* L.) on serum lipids in normal and diabetic rats. Indian Journal of Pharmacology 27: 89-93.
11. Koocheki, A., Gholami, A., Mahdavi Damghani, A. M., and Tabrizi, L. 2005. Principles of organic agriculture. Publications of Mashhad Ferdowsi University. (in Persian).
12. Koocheki, A., Nasiri Mahllati, M., and Azizi, G. 2006. Effect of irrigation different intervals and plant density on yield and yield components two fennel landraces. Journal of Iranian Field Crop Research 4 (1): 131-138. (in Persian with English abstract).
13. Koucheki A., and Nasiri Mahllati M. 1993. Water and soil relationship in crop plants. Publications of Mashhad University Jahad. (in Persian).
14. Liebman, A. 2002. Integration of soil, crop, and weed management in low-external-input farming system. Journal of Weed Research 40 (1): 27-47.

15. Moattar, F., and Shams Ardekani, M. 1999. Guide of treatment plant. Academy of Medical Sciences. (in Persian).
16. Najafi, H., and Tollenaar, T. 2006. Study on corn (*Zea mays* L.) reaction to intra and inter-specific competition. The 1st Iranian Weed Science Congress. Pp. 321-324.
17. Odonavan, J. T. 1984. Influence of various densities of green foxtail (*Setaria viridis* L.) on yield of barley, wheat and canola. Res. Rep. Expert committee on weed western Canada 3: 248-250.
18. Prasanna, M. 2000 Hypolipidemic effect of Fenugreek: A clinical study. Indian Journal of Pharmacology 32: 34-36.
19. Radosevich, S. R. 1987. Methods to study interactions among crops and weeds. Weed Technology 1: 190-198.
20. Rajabian, M. J., Asghari, M. R., and Rabiee, M. 2008. Effect of plant density on Critical period of weed control in oilseed rape. Iranian Journal of Weed Science 5: 13-30. (in Persian with English abstract).
21. Rashed-mohassel, M. H., and Vafabakhsh, K. 1997. Scientific management of weeds. Publications of Mashhad University. (in Persian with English abstract).
22. Rezvani Moghaddam P., Mohammadabadi, E. A., Norouzpour, G., and Nabati J. 2004. Study of morphological characteristics, seed yield and sesame oil in different plant density and irrigation intervals. Journal of Iranian Field Crop Research 3 (1): 57-68. (in Persian with English abstract).
23. Samsam Shariat, S. 2003. Grow and Propagation of Medicinal Plants. Mani Press. (in Persian).
24. Sarmadnia, G., and Koocheki, A. 1987. Physiological aspects of dryland farming. Publications of Mashhad University Jahad. (in Persian).
25. Singh, S., Buttar, G. S., Singh, S. P., and Brar, D. S. 2005. Effect of different dates of sowing and row spacings on yield of fenugreek (*Trigonella foenum gracum* L.). Journal of Medicinal and Aromatic plant Sciences 27 (4): 629-630.
26. Yadav, J. S., Jagdev, S., Virender, K., and Yadav, B. D., 2000. Effect of sowing time, spacing and seed rate on seed yield of fenugreek (*Trigonella foenum gracum* L.). on light textured soil. Research Journal of Haryana Agricultural University 30: 107-111.
27. Zargari, A. 1368-70. Medicinal plant, volum 1-5. Press Institute of Tehran University. (in Persian).



Effect of Weed Interference on Yield and Agronomical Characteristics of Fenugreek (*Trigonella foenum gracum*) in Different Plant Density under Birjand Conditions

R. Baradaran^{1*} - M. Ghahhari²

Received: 19-05-2013

Accepted: 15-09-2015

Introduction

Iran is among the countries with a climate appropriate for growing a wide range of herbs, and can be a great source of producing and exporting plants. Fenugreek (*Trigonella foenum gracum*) is one of the oldest plant and it is an annual herbaceous plant of the Fabaceae family (Fabaceae) which are dry, brown or reddish-yellow to gray to over 5.3 mm. Seeds of this plant are used as a spice and its leaves are used as a vegetable. Among the most important factors in farming, it is important to use appropriate planting density. Therefore, if all the necessary conditions, including the right, but density is inappropriate, it will not get the optimum yield per unit area. The effective management of weeds increase the performance of weed management practices, reduce weed population and the costs associated with it over time. Weeds compete with crops for a variety of sources such as light, water and minerals. Given that the best time weeding the weeds and the most appropriate density of fenugreek is not much information available, this study aimed to determine the appropriate density of weed infested and fenugreek was used.

Materials and Methods

In order to determine the effects of weed interference and appropriate density of fenugreek, a field trial was conducted in research farm of Birjand Islamic Azad University during the spring of year 2011. The experiment was a factorial based on randomized complete block design. The treatments were fenugreek density at 10, 20 and 40 plants m⁻² and weed interference in five levels included weed-free to maturity, 20, 40 and 60 days after emergence, and no weeding. Fenugreek seeds (spherical, brown) of pure seed before planting desert of preparation and sterilization by benomyl and then do planting trees and irrigation was done immediately. Irrigation was applied every seven days. During the study, pests and diseases were completely controlled. Weed control was done manually in three stages. Traits such as grain yield, plant height, biological yield, number of branches per plant and harvest index were measured. Ultimate performance were measured when the plant pods were yellow and dried. At the beginning of each plot five plants randomly chosen to measure the morphological characteristics and traits in yield components were recorded and then removed 50 cm of the margins of the plot, the rest were taken to determine the function. Analysis of variance and statistical analysis was performed using SAS and Excel softwares, Mean comparison was done by Duncan test at 5 percent.

Results and Discussion

Analysis of variance showed that the density and weed interference were significant at 1 and 5 percent, respectively. The interaction between density and weed interference on yield was significant at 5% level too. By prolonging the period of weed interference, the yield fell to the lowest amount of weeding treatments. The significance of the interaction between density and weed interference represents different responses in different levels of compression performance is to weed competition. In general, the choice of planting density and suitable crop can reduce weeds, increase competitive ability of the crop and increase its performance. Biological yield was significantly affected by the plant density. The density of planting, the maximum density of 40 plants (325.56 grams per square meter) and the lowest density of 10 plants (232.66 grams per square meter) and biomass production. Biological yield was not affected significantly by weed interference. Although by increasing time interval of weeding time (up to 20 days) biological yield decreased from 280.49 to 257.49, but this reduction was not significant. The interaction between planting density and weed interference on biological

1- Associate Professor in Agronomy and Plant Breeding, Agriculture College of Islamic Azad University of Birjand

2- Post Graduate of Identify and Weed, Islamic Azad University of Birjand

(*- Corresponding Author Email: r.baradaran@yahoo.com)

performance was not significant. Most biological yield was achieved in the absence of weeds. This is not unexpected because the availability of a large part of the resources cause more shoots in plant during the growing season. Biomass density was significantly increased. Similarly, the highest density (40 plants per square meter) due to a larger and more use of sunlight, biomass, leaf area, more than other densities produced. Analysis of variance showed that the effect of weed interference density and harvest index was not significant, but the interaction between plant density and harvest index was significant. Comparison of the average harvest index in different interference treatments showed that the condition of all the weeding and no weeding had the highest (21.98) and the highest (16.57) harvest index. The effect of density was not significant on the harvest index and harvest index did not indicate any significant differences in different densities. Decreased harvest index showed an increase in the plant more susceptible to weed interference was the harvest index. The effect of weed interference on dry weeds had no significant effect on the dry weight of weed density and weed interference and interaction at the level of 5%. With exception of the treatment as lack of control over weeds, highest and lowest dry matter related to the treatment of 60 days after emergence, and the treatment of 20 days after emergence. The effect of weed interference on the number of weeds was significant. The number of weeds per square meter decreased by increasing the duration of the interference. So that the number of weed emergence after 60 days of treatment, compared to 20 days after emergence treatment was lower by 44 percent. Possibly reducing the number of weeds with time, was due to increased competition within species and between species of weeds for growth resources. The competition will serve to eliminate the weaker plants called to this phenomenon. Weed production in the treatments (weed control) can be the result of a longer period of weed interference and greater use of light, water and nutrients. Fenugreek plant height was significantly affected by plant density and by lowering density, plant height reduced. Interaction of plant height was significant at the five percent level and the highest plant height obtained at 60 days after emergence weeding treatments and lowest in control. Analysis of variance showed that the effects of congestion and interference on the number of branches per plant, weed density and weed interference significant interaction on plant height and number of branches per plant was not significant. The number of branches per plant were significantly influenced by the density of planting.

Conclusions

In general, the results of this study showed that the presence of weeds fenugreek is able to withstand up to 20 days after emergence and remove weeds after this stage, significantly increased performance. This shows that weed control should be applied early in the season. Also, due to the lack of change in the plant density increased number of branches and whereas the highest density, highest grain yield was also more likely to increase the density to be accompanied.

Keywords: Dry matter, Harvest index, Weed, Yield



بررسی اثر کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد و اسانس دو توده بومی مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت شرایط نرمال و تنش خشکی در منطقه کرمان

امید اکرمی نژاد^{۱*} - مهری صفاری^۲ - روح اله عبدالشاهی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۴/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۸/۲۵

چکیده

جهت بررسی تأثیر کودهای آلی و معدنی (N.P.K) بر خصوصیات کمی و کیفی مرزه در شرایط تنش و بدون تنش خشکی، پژوهشی در قالب دو طرح کرت‌های یکبار خرد شده با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان اجرا شد. در هر طرح عامل اصلی کود گاوی (۳۰ تن در هکتار)، کود مرغی (۱۰ تن در هکتار)، کود شیمیایی (معادل عناصر غذایی پرمصرف موجود در کود گاوی و مرغی) و شاهد (بدون مصرف کود) و عامل فرعی دو توده بومی مرزه (محلی کرمان و محلی خوزستان) بود. در یکی از طرح‌ها ۱۰۰٪ و در طرح دیگر ۵۰٪ ظرفیت زراعی آبیاری انجام شد و طرح‌ها به صورت مرکب آنالیز شدند. نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع، تعداد شاخه فرعی، عملکرد اسانس، محتوی نسبی آب و شاخص کلروفیل و عملکرد گیاه شد، ولی بر درصد اسانس آن معنی‌دار نبود. تنش یونی در شرایط تنش افزایش یافت. اثر کودها بر تمامی صفات به جز محتوی نسبی آب و درصد اسانس معنی‌دار بود و باعث افزایش ارتفاع، تعداد شاخه فرعی، عملکرد، شاخص کلروفیل و عملکرد اسانس نسبت به گیاهان شاهد شدند، همچنین تنش یونی را نسبت به شاهد کاهش دادند. دو توده از نظر ارتفاع، عملکرد دانه، تعداد شاخه فرعی و تنش یونی تفاوت معنی‌داری داشتند. توده کرمان عملکرد بهتری نسبت به توده خوزستان از خود نشان داد. به طور کلی مرزه در واکنش به کودهای آلی به‌ویژه گاوی، به دلیل قدرت نگهداری زیاده‌تر رطوبت در مقایسه با کودهای شیمیایی، پاسخ بهتری به شرایط تنش خشکی نشان داد و عملکرد بالاتری داشت. به نظر می‌رسد استفاده از کود گاوی در شرایط محدودیت رطوبت، برای غلبه بر اثرات منفی تنش خشکی مفید می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، عملکرد و اجزاء عملکرد، کود، مرزه

مقدمه

به اهمیت کشاورزی ارگانیک، استفاده از آنها تا حد زیادی مورد توجه قرار گرفته است (۹). کودهای آلی به‌خصوص کودهای دامی در مقایسه با کودهای شیمیایی دارای مقادیر زیادی مواد آلی هستند و می‌توانند به‌عنوان منابعی از عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌شمار آیند (۱۴).

این کودها عناصر غذایی را در اختیار گیاهان قرار می‌دهند (۱۱)، اما کودهای دامی نمی‌توانند تمام احتیاجات غذایی گیاهان را برطرف سازند (۲۵). البته با بهبود ساختمان فیزیکی خاک تا حدی سبب ایجاد تعادل در خصوصیات شیمیایی خاک خواهند شد، از طرفی کودهای شیمیایی از طریق تأمین سریع نیازهای غذایی گیاهان، باعث افزایش چشمگیر رشد و عملکرد می‌شوند (۹). امروزه استفاده بی‌رویه از انواع کودهای شیمیایی در دنیا رواج یافته که به دنبال آن مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی فراوانی ایجاد نموده است، در این شرایط استفاده از منابع کودهای دامی و شیمیایی هر کدام به نوعی می‌تواند بر

مرزه (*Satureja hortensis*) گیاهی یکساله و معطر از خانواده نعنائیان (Labiatae) که دارای اسانس زیادی می‌باشد و اهمیت زیادی در صنایع دارویی، غذایی و بهداشتی آرایشی دارد (۶). برای داشتن یک سیستم کشاورزی پایدار استفاده از نهاده‌هایی که جنبه‌های اکولوژیکی سیستم را بهبود بخشند و مخاطرات محیطی را کاهش دهند ضروری به نظر می‌رسد (۲۴). عمده‌ترین منابع تأمین‌کننده مواد آلی خاک، فضولات دامی، بقایای گیاهی و کمپوست‌های حاصل از زباله‌های شهری می‌باشند که امروزه با توجه

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید باهنر کرمان
(نویسنده مسئول: Email: omidakrami122@yahoo.com)

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید باهنر کرمان

عملکرد گیاهان تأثیر بگذار (۲۶). کودهای شیمیایی عناصر را به میزان سریع تر و مؤثرتر در اختیار گیاهان قرار می دهند، در حالی که کودهای دامی حاوی معدودی عناصر غذایی لازم برای رشد گیاهان می باشند (۹). ماندگاری کودهای شیمیایی و آلی در خاک نیز مسئله ای قابل توجه است، به طوری که در حدود ۹۰ درصد عناصر غذایی کودهای شیمیایی در همان سال اول مصرف می شود و حداکثر ۱۰ درصد آن برای استفاده گیاهان سال بعد در خاک باقی می ماند؛ در حالی که میزان تأثیرگذاری کودهای دامی حدود ۶۰ درصد در سال اول بوده و در سال های دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۲۵، ۳۰ و ۴۵ درصد بر عملکرد گیاه تأثیرگذار است (۱۰). یکی از مهمترین محدودیت های تولید در مناطق خشک و نیمه خشک، کمبود آب می باشد. تنش خشکی ضمن کاهش محتوای آب در بافت های گیاهان، باعث محدود شدن رشد و برخی تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی در آنها می گردد (۳۱). تنش خشکی یکی از مهمترین تنش های غیر زنده است که بسته به فصل، شدت و زمان وقوع می تواند به صورت جدی، موجب کاهش عملکرد در گیاهان زراعی شود (۱۱). بنابراین مدیریت تغذیه گیاه در شرایط تنش؛ یکی از مسائل مهم در تولید محصولات گیاهی محسوب می شود.

اهمیت گیاهان دارویی، وجود ماده مؤثره در آنها است. شرایط محیطی و حاصلخیزی خاک عامل تغییر در میزان ماده مؤثره و اسانس بوده که در این میان نقش عناصر کم مصرف در خاک مهم می باشد. کودهای دامی حاوی اکثر عناصر ریز مغذی است که می تواند باعث افزایش ماده مؤثره و بهبود کیفیت در گیاهان دارویی شود. لذا مدیریت کود و تغذیه مناسب گیاه یک عامل اصلی در زراعت گیاهان دارویی می باشد (۱۲). بررسی تأثیر تنش خشکی بر روی یک گونه علف لیمو (*Cymbopogon sp*) نشان داد که کاهش آبیاری در طی رشد رویشی گیاه از ۴، ۳ و ۲ نوبت به یک نوبت در هفته، عملکرد اسانس را کاهش داده است (۸). در تحقیقی دیگر گزارش شد تنش آبی، عملکرد ریحان (*Ocimum basilicum*) را کاهش داد و بیشترین درصد و عملکرد اسانس مربوط به تنش متوسط بود (۱۳). در تحقیقی که روی کاربرد کودهای آلی در نعنای فلفلی (*Mentha piperita L.*) انجام شد عملکرد گیاه در کشت ارگانیک حدود ۸۰ درصد کشت رایج بود و باعث افزایش ارتفاع آن شد (۲۲). گزارش شده که مصرف کود آلی در گیاه بومادران (*Achillea millefolium*) باعث افزایش تولید بیوماس و همچنین افزایش درصد اسانس آن می شود (۳۶). باهر و همکاران (۶) در نتایج تحقیق خود بیان کردند که تنش خشکی باعث کاهش طول گیاه و عملکرد بیولوژیک در مرزه (*Satureia hortensis L.*) شد ولی میزان اسانس را افزایش داد. علیزاده و همکاران (۳) بیان کردند که با افزایش میزان کاربرد کود کامل در گیاه مرزه ارتفاع بوته، عملکرد پیکر رویشی گیاه، و اسانس آن افزایش می یابد. اندازه گیری

برخی پارامترها به طور مستقیم و غیر مستقیم به کمبود آب ارتباط دارند. نشت یونی، محتوای نسبی آب (RWC)، شاخص کلروفیل (SPAD) همگی به عنوان معیارهایی قابل اطمینان جهت انتخاب ژنوتیپ های دارای پتانسیل تحمل به خشکی در گیاهان محسوب می شوند (۳۰). برخی مطالعات حاکی از قابل اطمینان بودن RWC به عنوان شاخص تحمل به خشکی می باشد (۴۰). زیرا بین RWC و میزان سرعت تعرق ارتباط وجود دارد و لذا این مؤلفه در موارد زیادی جهت تعیین اختلاف ارقام از نظر تحمل به خشکی استفاده می شود (۲۰). دوام فتوستنز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش از جمله شاخص های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است. غلظت کلروفیل به عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت منبع شناخته می شود، زیرا غلظت کلروفیل برگ ها یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوستنز و تولید ماده خشک می باشد (۱۶). انتولین و همکاران (۴) گزارش کردند با افزایش تنش خشکی، شاخص کلروفیل برگ یونجه (*Medicago sativa*) کاهش یافت. افشار منش و همکاران (۱) گزارش دادند که مصرف کود دامی و وقوع تنش خشکی بر عملکرد، ارتفاع و محتوای نسبی آب برگ معنی دار بود و کود دامی باعث افزایش ارتفاع و عملکرد گیاه اسفرزه در شرایط خشکی می شود. همچنین محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش کاهش یافت ولی کودهای دامی توانستند محتوای نسبی آب برگ را نسبت به گیاهان شاهد افزایش دهند. در تحقیقی با بررسی اثر شبنم و تنش خشکی بر روی بادرنجویه (*Melissa officinalis*) گزارش شد که تنش خشکی موجب کاهش ۳ مگاپاسکالی پتانسیل آب گیاه، کاهش ۳۴ درصدی محتوای آب برگ، بسته شدن روزنه ها و در نتیجه سبب پایین آمدن جذب دی اکسید کربن، کاهش میزان فتوستنز و عملکرد گردید (۲۷).

با توجه به گرایش جهانی جهت تولید و تکثیر گیاهان دارویی در سیستم های کشاورزی پایدار و کم نهاده و همچنین کمبود مطالعات در رابطه با واکنش گیاه دارویی مرزه نسبت به منابع کودی مختلف در شرایط تنش خشکی، این طرح با هدف مقایسه اثر کودهای شیمیایی و انواع کودهای آلی تحت تنش خشکی بر برخی صفات کمی و کیفی دو توده محلی گیاه مرزه انجام شد.

مواد و روش ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان واقع در ۶ کیلومتری جنوب شرقی کرمان با طول جغرافیایی ۵۸ و ۵۶ عرض جغرافیایی ۳۰ و ۱۵ و ارتفاع ۱۷۴۵ از سطح دریا انجام شد. آب و هوای کرمان براساس روش آمبرژه، خشک نیمه بیابانی می باشد. این پژوهش به صورت دو طرح کرت های خرد شده با سه تکرار اجرا شد.

در هر کدام از طرح‌ها فاکتور کرت اصلی شامل ۱- کود گاوی (۳۰ تن در هکتار)، ۲- کود مرغی (۱۰ تن در هکتار) ۳- کود شیمیایی (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار ازت به صورت اوره، ۱۰۰ کیلوگرم فسفر به صورت سوپر فسفات تریپل، ۸۰ کیلوگرم پتاسیم به صورت سولفات پتاسیم) ۴- شاهد (بدون مصرف کود) و فاکتور فرعی شامل ۱- توده محلی کرمان ۲- توده محلی خوزستان بود. در یکی از طرح‌ها ۱۰۰٪ و در طرح دیگر ۵۰٪ ظرفیت زراعی آبیاری انجام شد و طرح‌ها به صورت مرکب آنالیز شدند. قبل از کاشت از نقاط مختلف زمین نمونه برداری خاک انجام و تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش انجام شد و درصد عناصر اصلی آن تعیین گردید (جدول ۱). پس از شخم تیمارهای کودی به خاک اضافه شدند به طوری که کود گاوی و مرغی کاملاً پوسیده تا عمق ۳۰ سانتی متری با خاک به صورت دستی با بیل مخلوط شد. کود فسفر قبل از کاشت با خاک مخلوط و نیتروژن و پتاسیم یک سوم به صورت قبل از کاشت و بقیه در دو مرحله به صورت سرک اضافه شدند. کاشت به صورت جوی و پشته‌ای در کرت‌هایی به ابعاد ۵/۲×۳ شامل چهار ردیف کاشت با فاصله نیم متر و فاصله روی ردیف چهار تا شش سانتی متر روی پشته‌ها در تاریخ ۲۰ اردیبهشت سال ۱۳۹۲ انجام شد. تنک کردن گیاه در مرحله چهار برگی انجام شد. تنش از مرحله چهار برگی و بعد از تنک کردن اعمال شد. برای آبیاری واحدهای آزمایشی از لوله‌های پلی اتیلن همراه با کنتور حجمی استفاده شد. میزان آب مورد نیاز با استفاده از لایسیمتر کار گذاشته شده در مزرعه و دور آبیاری با استفاده از تشتک تبخیر براساس ۱۰۰ میلی لیتر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A تعیین گردید. وجین علف‌های هرز در سه مرحله به صورت دستی انجام شد. پیکر رویشی گیاهان در مرحله گلدهی که دارای بیشترین میزان اسانس است، برداشت شد. پس از خشک شدن (در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت)، ۱۰۰ گرم شاخساره با ترازوی دیجیتالی با دقت یک هزارم گرم اندازه گیری شد سپس با دستگاه کلونجر به روش تقطیر با آب به مدت سه ساعت اسانس گیری انجام

شد. اسانس حاصل که به رنگ زرد بود توسط سولفات سدیم رطوبت زدایی گردید و درصد اسانس از روش وزنی (وزن اسانس به وزن نمونه اولیه) به دست آمد. از حاصل ضرب درصد اسانس در عملکرد پیکر رویشی (شاخساره) عملکرد اسانس محاسبه شد (۱۸). برای تعیین اجزاء عملکرد در هنگام برداشت پنج بوته در متر مربع به طور تصادفی از هر کرت انتخاب و صفات مرفولوژیک اندازه گیری شد. از دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای کرت بوته‌ها برداشت شدند. باقیمانده بوته‌های کرت به جز قسمتی که برای اندازه گیری‌های مربوط به اسانس برداشت شده بود اندازه گیری و عملکرد دانه و عملکرد پیکر رویشی تعیین گردید. شاخص برداشت محصول نیز با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید:

(۱) $100 \times \text{عملکرد بیولوژیکی} \div \text{عملکرد دانه} = \text{شاخص برداشت}$
تعیین نشت یونی براساس مراحل نموی در گلدهی و دانه بندی براساس روش سیدیکیو و همکاران انجام شد (۳۹). سپس محتوای نسبی آب برگ به روش شونفلد و همکاران براساس رابطه (۲) محاسبه شد (۳۷).

$$RWVC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100 \quad (2)$$

که در آن FW وزن تر برگ، DW وزن خشک برگ و TW آماس برگ می باشد.

مقدار نسبی سبزیگی یا کلروفیل برگ توسعه یافته به صورت غیر مستقیم و بدون ایجاد تخریب در برگ‌ها، با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (SPAD-502.Minolta Ltd. Japan) یا SPAD در مرحله گلدهی و دانه بندی تعیین شد. به این منظور، از هر کرت ۳۰ برگ در موقعیت مشابه (برگ‌های بالای کانوپی) در روی بوته‌های مختلف انتخاب و میزان کلروفیل آنها با استفاده از دستگاه فوق تعیین گردید و نهایتاً میانگین این اعداد به عنوان عدد کلروفیل متر مربوط به آن کرت و آن مرحله اندازه گیری ثبت گردید.

جدول ۱- برخی خصوصیات شیمیایی مواد آلی مورد استفاده و خاک

Table 1- Selected chemical properties of organic matters used and soil

بافت Texture	EC (dS m ⁻¹)	PH	پتاسیم (K) (ppm)	فسفر (P) (ppm)	نیتروژن (N) (%)
لومی شنی Sandy loam	4.4	7.4	280	12.00	0.04
			پتاسیم (K) (%)	فسفر (P) (%)	نیتروژن (N) (%)
کود Fertilizer					
مرغی Hen		6.1	1.69	1.61	4.09
گاوی Cow		6.8	0.29	0.38	0.41

آنالیز آماری

نتایج و بحث

بعد از اندازه‌گیری صفات، داده‌ها با بهره‌گیری از نرم افزار SAS و MSTAT-C تجزیه و تحلیل شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵٪ انجام شد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی بر روی همه صفات مورد ارزیابی به‌جز درصد اسانس تأثیر داشت (جدول ۲).

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس ویژگی‌های مورد مطالعه
Table 2- Source of variance of investigation characters

میانگین مربعات Mean of squares										
ارتفاع بوته	عملکرد دانه	شاخص کلروفیل	نشت یونی	محتوی نسبی آب	تعداد شاخه فرعی	درصد اسانس	عملکرد اسانس	عملکرد بیولوژیک	درجه آزادی	منابع تغییرات
Plant height	Grain yield	Chlorophyll index	EC	Relative water content	Number of branches	Oil percentage	Oil yield	Biological yield	Df	S.O.V
آبیاری										
Irrigation (A)	1463**	83**	1929**	1606*	28.0**	0.001 ns	263.7*	2237*	1	
خطای ۱	11.030	22.78	50.945	92.695	1.1664	0.035	34.74	1713	4	Error 1
کود	162.4**	53**	275.4**	197 ns	47.43*	0.005 ns	216**	1850**	3	Fertilizer (B)
A×B	26.1ns	5.7 ns	18.58 ns	104 ns	5.324 ns	0.016 ns	10.54 ns	9647 ns	3	
خطای ۲	17.860	5.611	11.173	119.12	7.9759	0.0261	19.63	6484	12	Error 2
توده (C)	60.3**	9.3 ns	44.38**	2.75 ns	50.6**	0.010 ns	5.341 ns	6258 ns	1	
A×C	2.11 ns	3.2 ns	1.244 ns	43.0 ns	3.504 ns	0.008 ns	16.62 ns	4755 ns	3	
B×C	0.14 ns	9.5 ns	2.243 ns	221.8 ns	1.171 ns	0.003 ns	0.022 ns	6077 ns	1	
A×B×C	4.18 ns	6.0 ns	3.181 ns	195.1 ns	2.798 ns	0.019 ns	15.78 ns	2775 ns	3	
خطای ۳	1.596	5.441	4.003	88.42	1.546	0.0266	11.69	171571	16	Error 3

***, * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌دار.

***, * and ns are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level and non-significant, respectively.

ارتفاع بوته: با توجه به جدول ۲ اثر تنش خشکی، کود و توده‌ها بر ارتفاع گیاه مرزه معنی‌دار بود ($P < 0.01$). اثرات متقابل هیچ‌کدام از تیمارها برای این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع گیاه مرزه شد به‌طوری‌که ارتفاع مرزه از ۵۹ سانتی‌متر در گیاهان شاهد به ۴۸ سانتی‌متر در تنش خشکی کاهش یافت (جدول ۳). بیشترین ارتفاع بوته در بین تیمارهای کودی مربوط به کود گاوی بود که تفاوت معنی‌داری با گیاهان شاهد داشت. اگرچه کود شیمیایی و مرغی تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند؛ ولی با

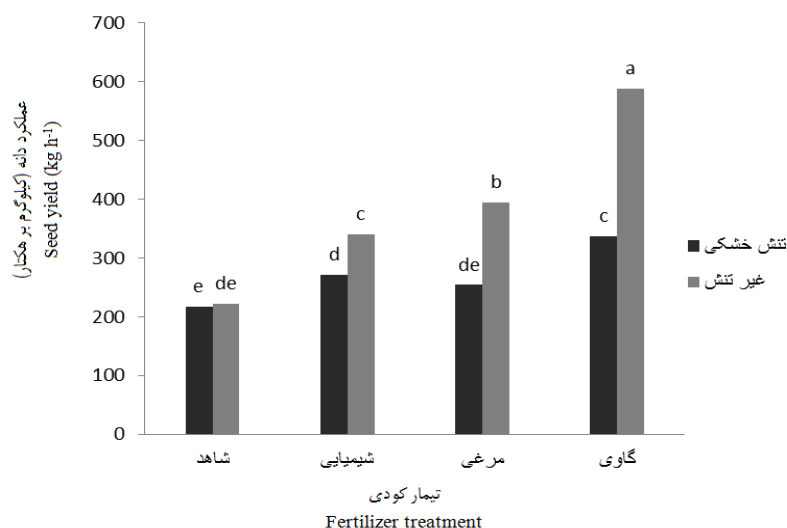
شاهد تفاوت معنی‌داری نشان دادند و باعث افزایش ارتفاع بوته نسبت به گیاهان شاهد شدند (جدول ۳). در بین توده‌ها تفاوت معنی‌داری دیده شد. توده کرمان ارتفاع بیشتری را نسبت به توده خوزستان دارا بود که می‌تواند به دلیل سازگاری توده کرمان با شرایط آب و هوایی منطقه باشد (جدول ۳). تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع گیاه مرزه شد. باهر و همکاران (۶) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع گیاه مرزه می‌شود. از آنجایی که کمبود عناصر غذایی یکی از عوامل اصلی در تعیین میزان ارتفاع گیاه است، لذا به نظر می‌رسد که

لازم برای گیاه باعث بهبود خلل و فرج خاک، تعادل نیتروژن و افزایش کارایی جذب فسفر در گیاه می‌شود (۷). مالانگودا (۲۵) گزارش کرد که عملکرد دانه گشنیز در تیمار تلفیقی کودهای شیمیایی N.P.K با کود دامی بیشتر از مصرف جداگانه هریک از آنها بود. او دلیل این افزایش را به نقش کود دامی در بهبود خواص فیزیکی خاک و افزایش جذب عناصر واسطه گیاه نسبت داد.

شاخص کلروفیل: اثر تنش خشکی و کودها بر روی شاخص کلروفیل معنی‌دار بود ($P < 0.01$). تنش خشکی باعث کاهش شاخص کلروفیل نسبت به گیاهان شاهد شد (جدول ۳). گیاهان در تیمار کودهای آلی و شیمیایی شاخص کلروفیل بیشتری نسبت به گیاهان شاهد داشتند. اگرچه تفاوت معنی‌داری بین کودهای دامی و شیمیایی مشاهده نشد ولی گیاهان در کودهای دامی کلروفیل بیشتری نسبت به کودهای شیمیایی داشتند (جدول ۳). تنش خشکی باعث کاهش شاخص کلروفیل شد که به نظر می‌رسد تحت این شرایط کاهش در غلظت کلروفیل علاوه بر کاهش در میزان سنتز، ناشی از تجزیه کلروفیل در اثر افزایش میزان کلروفیل‌از، پراکسیداز و ترکیبات فنلی می‌باشد (۴). در تنش‌های شدید با وجود افزایش وزن مخصوص برگ، شدت تخریب کلروفیل نیز افزایش می‌یابد و براساس نظر اسکاتر و فانگمیر کاهش میزان کلروفیل‌ها در شرایط تنش مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول است.

گیاهان تحت تیمار شاهد به علت کمبود مواد غذایی از رشد کمتری برخوردار بوده است. کودهای آلی با آزادسازی تدریجی عناصر غذایی طی فصل رشد زمینه رشد مناسب گیاه را فراهم می‌کنند. رضوانی مقدم و همکاران (۳۲) در تحقیقی نشان دادند که اثر کودهای آلی بر ارتفاع بوته مرزه معنی‌دار بوده و باعث افزایش آن نسبت به شاهد می‌شود.

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی، تیمارهای کودی و اثر متقابل آنها تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه مرزه داشتند ($P < 0.01$). بیشترین عملکرد دانه مربوط به کود گاوی در تیمار بدون تنش بود که تفاوت زیادی را با شاهد داشت. پس از کود گاوی، کود مرغی و شیمیایی به ترتیب بیشترین عملکرد دانه را داشتند. کود گاوی، مرغی و شیمیایی به ترتیب باعث افزایش ۳۴، ۹۰ و ۲۷ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شدند. در تیمار تنش نیز کود گاوی بیشترین عملکرد را داشت (شکل ۱). بین دو توده کرمان و خوزستان تفاوت معنی‌داری در عملکرد وجود داشت ($P < 0.05$). توده کرمان عملکرد بیشتری را نسبت به توده خوزستان دارا بود که می‌تواند به دلیل استفاده بهتر توده کرمان از شرایط آب و هوایی یا برخورداری از ژنتیک بهتر باشد (جدول ۳). افزایش عملکرد دانه در گیاهان تحت تأثیر تیمار کود دامی در مرزه در سطوح بالای تنش خشکی می‌تواند مربوط به تأثیر کود دامی در افزایش نگهداری آب در خاک باشد. در این شرایط کود دامی علاوه بر تأمین عناصر غذایی



شکل ۱- میانگین اثر متقابل کود و تنش بر عملکرد دانه مرزه

Figure 1- Interaction between fertiliz and stress on grain yield of Savory

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن ($P < 0.05$) نمی‌باشند

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns with Duncan ($P < 0.05$)

تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند، فضای بین سلولی و میزان آب در پیکره خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد آنها شود که این امر موجب کاهش میزان آب نسبی در شرایط تنش خشکی می‌گردد (۲۳). مونه و همکاران (۲۸) اثر حفاظتی توکوفرول را در گیاهان رزماری (*Rosmarinus officinalis*) و بادرنجبویه بررسی کرده و نتیجه گرفته‌اند که تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ روزماری را ۴۰٪ و بادرنجبویه را ۳۰٪ کاهش داد. با افزایش تنش رطوبتی، تعداد برگ‌های گندم کاهش پیدا می‌کند که به علت کاهش محتوای نسبی آب، کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه‌ها در شرایط خشک می‌باشد (۳۷).

تعداد شاخه‌های فرعی: اثر تنش بر روی تعداد شاخه‌های فرعی مرزه معنی‌دار بود ($P < 0/01$). تنش خشکی باعث کاهش تعداد شاخه فرعی نسبت به تیمار بدون تنش شد. تأثیر کودها بر روی تعداد شاخه فرعی تفاوت معنی‌داری را نشان داد و گیاهان در تیمار کود گاوی بیشترین تعداد شاخه فرعی را موجب شد که با گیاهان شاهد تفاوت معنی‌داری را داشتند. اگرچه کود مرغی و شیمیایی با شاهد تفاوت معنی‌داری را از این نظر نداشتند ولی باز هم نسبت به شاهد تعداد شاخه فرعی بیشتری داشتند (جدول ۳). توده کرمان شاخه فرعی بیشتری را دارا بود که احتمالاً به دلیل رشد بهتر، ارتفاع بیشتر و سازگاری توده کرمان نسبت به توده خوزستان می‌باشد (جدول ۳). آرمجو و همکاران (۵) گزارش کردند که با افزایش سطح تنش خشکی از شاهد (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، از میزان ماده خشک تولیدی گیاه به میزان ۲۴/۶ درصد کاسته شد. این میزان کاهش برای ارتفاع بوته ۲۸/۹ درصد و برای تعداد ساقه در بوته ۲۱/۵ درصد بود. رضوانی مقدم و همکاران (۳۲) گزارش کردند که کودهای آلی باعث افزایش تعداد شاخه فرعی نسبت به شاهد در گیاه مرزه می‌شود. محلول‌پاشی نیتروژن و به خاک اضافه کردن نیتروژن هر دو باعث افزایش شاخه فرعی نسبت به شاهد در گیاه مرزه شدند (۲). در شرایط یکسان محیطی فراهم آوردن عناصر غذایی برای گیاه توسط کودهای مختلف می‌تواند باعث افزایش رشد گیاه و متعاقباً تعداد شاخه فرعی گیاه شود. در آزمایشی مصرف ۳۰ تن در هکتار کود دامی باعث افزایش تعداد شاخه‌های فرعی بابونه (*Matricaria chamomilla*) شد (۱۵).

درصد و عملکرد اسانس: بین هیچ کدام از تیمارهای اعمال شده با تیمار شاهد از نظر درصد اسانس اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. اثر تنش خشکی بر عملکرد اسانس مرزه معنی‌دار بود ($P < 0/05$). تنش خشکی باعث کاهش عملکرد اسانس شد که این موضوع ناشی از پایین‌تر بودن عملکرد پیکر رویشی در تنش خشکی

این رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می‌گردند (۳۸). کافی و رستمی (۲۱) نیز گزارش کردند که قطع آبیاری در مرحله تکمه‌دهی منجر به کاهش غلظت کلروفیل برگ در ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) شد. حیدری و همکاران (۱۹) اعلام کردند کود نیتروژن در شرایط شوری سبب افزایش مقدار کل کلروفیل در برگ می‌شود.

نشت یونی: اثر تنش خشکی بر روی نشت یونی معنی‌دار بود ($P < 0/01$). نشت یونی در تنش خشکی افزایش یافت (جدول ۳). اثر کودها بر روی نشت یونی معنی‌دار بود ($P < 0/01$). بیشترین نشت یونی مربوط به گیاهان شاهد بود که تفاوت معنی‌داری با گیاهان در دیگر کودها داشت. کود گاوی کمترین نشت یونی را دارا بود. بین کود مرغی و کود شیمیایی تفاوت معنی‌داری دیده نشد ولی مقدار نشت یونی کود مرغی بیشتر از کود شیمیایی بود (جدول ۳). بین دو توده برای نشت یونی تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P < 0/01$). توده محلی کرمان نشت یونی کمتری نسبت به توده محلی خوزستان داشت. تنش خشکی باعث افزایش نشت یونی نسبت به آبیاری کامل (بدون تنش) شد. تجمع گونه‌های فعال اکسیژنی که در طی تنش تولید می‌شوند به بسیاری از ترکیب‌های سلولی نظیر چربی‌ها، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه می‌زنند (۱۷) و در نتیجه پراکسیداسیون چربی‌ها به غشاء سلولی آسیب می‌زند. پور موسوی و همکاران (۳۰) در بررسی روی گیاه سویا (*Glycine max*) اعلام نمودند که در شرایط تنش شدید میزان نشت یونی در مقایسه با تنش ملایم و عدم تنش خشکی بیشتر بود. کودهای دامی باعث کاهش نشت یونی نسبت به گیاهان شاهد شدند که به نظر می‌رسد با استفاده از کود دامی و بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله ظرفیت نگهداری آب در خاک، گیاه کمتر با شرایط خشکی مواجه شده و تمایل کمتری به سرمایه‌گذاری برای افزایش پایداری غشاء نشان می‌دهد. سانوکا و همکاران (۳۵) دریافتند که در صورت تغذیه گیاهچه‌های علف نیزار (*Agrostis palustris* L.) با کود نیتروژنه، تیمار تنش خشکی باعث افزایش پایداری غشای سلول در مقایسه با شاهد می‌شود.

محتوای نسبی آب برگ: اثر تنش خشکی بر محتوای نسبی آب (RWC) فقط معنی‌دار بود ($P < 0/05$) و تیمارهای کودی و نوع توده تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند. تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ شد (جدول ۳). بین کودها و دو توده و اثرات متقابل از نظر محتوای نسبی آب تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). ولی کودهای دامی به‌خصوص کود گاوی باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ در مرزه شد. تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ شد که به نظر می‌رسد گیاهانی که

می‌باشد. اثر کودها بر روی عملکرد اسانس معنی‌دار بود ($P < 0.01$). بیشترین عملکرد اسانس مربوط به تیمار کود گاوی بود و کمترین عملکرد اسانس را شاهد داشت. کود مرغی و شیمیایی تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند ولی تفاوت کود مرغی با شاهد معنی‌دار بود و عملکرد بیشتری نسبت به شاهد داشت. کود گاوی باعث افزایش ۴۱ درصدی عملکرد اسانس نسبت به شاهد شد. در این آزمایش دو توده از لحاظ عملکرد اسانس تفاوت معنی‌داری نداشتند. صفی خانی و همکاران (۳۴) گزارش کردند که با کاهش تنش خشکی عملکرد بیولوژیک و دانه و عملکرد اسانس بادرشبو (*Dracocephalum moldavica*) کاهش یافت. با توجه به تفاوت معنی‌دار عملکرد بیولوژیک در اثر تیمارهای مختلف و ثبات نسبی درصد اسانس، عملکرد اسانس نیز دارای روندی مشابه با عملکرد پیکر رویشی بود. رضوانی مقدم و همکاران (۳۲) در مقاله خود بیان کردند که کودهای آلی باعث افزایش ارتفاع، شاخه فرعی، عملکرد و عملکرد اسانس در

گیاه مرزه می‌شوند. کاربرد کودهای آلی در تولید رازیانه (*Foeniculum vulgare*) سبب افزایش عملکرد اسانس آن شد (۲۹).

عملکرد پیکر رویشی (عملکرد بیولوژیک): اثر تنش خشکی بر روی عملکرد پیکررویشی مرزه معنی‌دار بود ($P < 0.05$). تنش خشکی باعث کاهش عملکرد پیکررویشی نسبت به سطح بدون تنش شد، که می‌تواند به دلیل کاهش ارتفاع و شاخه فرعی در شرایط تنش خشکی باشد. اثر کودها بر روی عملکرد پیکررویشی تفاوت معنی‌داری را نشان داد ($P < 0.01$). بیشترین عملکرد مربوط به کود گاوی و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد بود. کود مرغی و شیمیایی با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند ولی تفاوت کود مرغی با شاهد معنی‌دار بود و عملکرد بیولوژیک بیشتری نسبت به شاهد داشت.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارها بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه مرزه
Table 3- Compare main effects of treatments on average quantity and quality savory

تیمار Treatment	درصد اسانس Oil percentage	تعداد شاخه فرعی Number of branches	شاخص کلروفیل Chlorophyll l index	نشت یونی EC (%)	محتوی نسبی آب R.W.C (%)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد اسانس Oil yield (kg ha ⁻¹)
آبیاری Irrigation									
بدون تنش No stress	0.39 a	25.8 a	48.37 a	44.73 a	90.83 a	395.99 a	59.9 a	3689 a	13.72 a
تنش خشکی Drought stress	0.40 a	24.3 b	40.06 b	57.41 b	79.26 b	270.04 b	48.9 b	2179 b	9.04 b
کود Fertilizer									
گاوی Cows	0.38 a	27.5 a	45.75 a	46.60 c	87.28 a	463.16 a	58.7 a	4685 a	17.01 a
مرغی Hen	0.40 a	24.9 b	44.10 a	50.82 bc	83.36 a	324.24 b	54.9 b	2843 b	11.29 b
شیمیایی Chemical	0.42 a	25.2 ab	45.74 a	49.10 b	89.33 a	305.62 b	54.3 b	2399 bc	10.50 bc
شاهد Control	0.37 a	22.7 b	41.28 b	57.77 a	80.22 a	329.05 c	49.8 c	1809 c	6.72 c
توده Ecotypes									
کرمان Kerman	0.38 a	26.1 a	43.77 a	50.11 b	85.28 a	345.82 a	55.5 a	3048 a	11.71 a
خوزستان Khuzestan	0.41 a	24.0 b	44.66 a	52.03 a	84.81 a	320.21 b	53.3 b	2820 a	11.05 a

در هر ستون و برای هر تیمار، میانگین‌هایی دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
Means in each column and for each treatment, followed by at least one similar letter are not significantly different at 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

همبستگی ساده بین صفات کمی و کیفی مرزه: نتایج

همبستگی ساده بین عملکرد و اجزای عملکرد گونه دارویی مرزه تحت تأثیر سطوح مختلف کودی و تنش خشکی در جدول ۴ ارائه شده است. بین عملکرد دانه با ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، عملکرد پیکر رویشی همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. همچنین رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد اسانس، شاخص کلروفیل و محتوی نسبی آب وجود داشت. عملکرد دانه با نشت یونی همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. این امر به خوبی ارتباط بین کارایی فتوسنتز و عملکرد دانه را نشان می‌دهد. گیاهان دارای عملکرد دانه بالا، مواد فتوسنتزی بیشتری را در اندام‌های خود تجمع می‌دهند. همچنین می‌توان بیان کرد که با افزایش ارتفاع و شاخه فرعی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک افزایش می‌یابد (جدول ۴).

بین دو توده از نظر عملکرد بیولوژیک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. صفی خانی و همکاران (۳۴) حداکثر عملکرد سرشاخه‌های گلدار گیاه بادرشبو را ۴۰۷۸ کیلوگرم در هکتار از تیمار آبیاری بدون تنش گزارش کردند که با این نتیجه همخوانی دارد. کودهای آلی با افزایش میزان عناصر غذایی در دسترس گیاه و آزادسازی تدریجی آنها باعث افزایش رشد گیاه شده و میزان بیوماس تولیدی را افزایش می‌دهند. کودهای دامی نیز با بهبود خصوصیات فیزیکی و حفظ رطوبت خاک باعث رشد بهتر ریشه و به دنبال آن افزایش رشد گیاه و عملکرد بیولوژیک می‌شوند. صبور بیلندی (۳۳) نیز افزایش عملکرد زیره سبز (*Cuminum cyminum*) را در صورت مصرف کود دامی نشان داده است. کودهای آلی باعث افزایش عملکرد بیولوژیک در گیاه بومادران (*Achillea millefolium*) می‌شود (۳۶).

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین صفات کمی و کیفی مرزه

Table 4- The correlation coefficient between quantitative and qualitative characteristics Savory

صفات	ارتفاع بوته Plant height	عملکرد دانه Grain yield	محتوای نسبی آب R.W.C	نشت یونی EC	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	تعداد شاخه فرعی Number of branches	درصد اسانس Oil percentage	عملکرد اسانس Oil yield
ارتفاع بوته Plant height	1							
عملکرد دانه Grain yield	0.81001**	1						
محتوای نسبی آب R.W.C	0.8996**	0.6857**	1					
نشت یونی EC	-0.9254**	-0.8176**	-0.8996**	1				
شاخص کلروفیل Chlorophyll index	0.6573**	0.5500*	0.8791**	-0.7380**	1			
تعداد شاخه فرعی Number of branches	0.7445**	0.7273**	0.5172*	-0.6831**	0.4257 ns	1		
درصد اسانس Oil percentage	-0.004 ns	-0.150 ns	0.1821 ns	0.0558 ns	-0.0091 ns	-0.0823 ns	1	
عملکرد اسانس Oil yield	0.8275**	0.8643**	0.7379**	-0.7676**	0.5274*	0.7791**	0.2456 ns	1
عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.8379**	0.9543**	0.7015*	0.7927**	0.5147*	0.7976**	-0.0556 ns	0.9285**

***, * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌دار.

***, * and ns are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level and non-significant, respectively.

نتیجه‌گیری

خصوصیات کیفی گیاه دارویی مرزه داشت. کودهای آلی با تأثیر بر ساختمان خاک و حفظ و نگهداری رطوبت خاک و تغذیه مناسب خاک موجب بهبود خاک و در نتیجه احتمالاً کمک به پایداری تولید می‌نمایند. این در حالی است که استفاده از کودهای شیمیایی اثرات

در مجموع نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد کودهای آلی نقش مفید و مؤثری در بهبود ویژگی‌های رشد و عملکرد اندام‌های هوایی و

خشکی از عملکرد، تعداد شاخه فرعی و ارتفاع گیاه مرزه کاسته می شود اما با مصرف کود (به خصوص کود گاوی و مرغی) می توان تا حدی از بروز اثرات سوء تنش خشکی بر این گیاه کاست. در بین سه نوع کود مصرفی نیز بیشترین تأثیر بر اجزای عملکرد مربوط به کودهای دامی بود. لذا می توان عنوان کرد که در طی بروز تنش خشکی و کاهش میزان آب تا حد ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، کود دامی از بیشترین تأثیر مثبت بر گیاه مرزه برخوردار است.

معکوس بر صفات خاک داشته ولی در ارزیابی نهایی باید به این نکته توجه شود. بنابراین می توان با حداقل مصارف نهاده کود آلی به جای مصرف نهاده بالا از کودهای شیمیایی در راستای رسیدن به حداکثر عملکرد و حفظ منابع زیستی و محیطی و هدف نهایی که همان کشاورزی پایدار است رسید و کودهای آلی را جایگزین کودهای شیمیایی نمود. براساس نتایج به دست آمده در این آزمایش می توان بیان کرد هرچند با کاهش میزان آب مصرفی و به تبع آن بروز تنش

References

1. Afsharmanesh, B., and Afsharmanesh, G. H. 2008. Effects of water stress and manure on yield, quality and characteristics Medicinal plant physiological (*Plantago ovata* Forssk). Journal of Modern Agriculture 2 (4): 228-236.
2. Alizadeh, A., Sahzabi, E., Sharifi Ashorabadi, A. H., Shiranirad, M., and Abaszadeh, B. 2007. The effects of different methods and levels of using nitrogen on some quality and quantity characteristics of *Satureja hortensis* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 23 (3): 416-431.
3. Alizadeh, A., Khoshkhui, M., Javidnia, K., Firuzi, O., Tafazoli, E., and Khalighi, A. 2010. Effects of fertilizer on yield, essential oil composition, total phenolic content and antioxidant activity in (*Satureja hortensis* L.) cultivated in Iran. Academic Journals 4 (1): 33-40.
4. Antolin, M. C., Yoller, J., and Sanchez-Diaz, M. 1995. Effect of temporary drought on nitrate-fed and nitrogen fixing alfalfa plants. Plant Science 107: 159-165.
5. Arazmjo, E., Heidari, M., and Ghanbari, A. 2010. Effect of water stress and type of fertilizer on yield and quality of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Journal of Crop Sciences (2) 12: 100-111.
6. Baher, Z. F., Mirza, M., Ghorbanli, M., and Rezaei, M. B. 2002. The influence of water stress on plant height, herbal and essential oil yield and composition in (*Satureja hortensis* L.). Flavour and Fragrance Journal 17: 275-277.
7. Brussard, L., and Ferrera-Cenato, R. 1997. Soil ecology in sustainable agricultural systems. New York: Lewis Publishers, USA. 168 p.
8. Chatterjee, S. K., and Svoboda, K. P. 1995. Water stress effect on growth and yield of (*Cymbopogon* sp.) Andit's alleviation by n-triacontanol. Acta Horticulture 390: 19-24.
9. Chaudhry, M. A., Rehman, A., Naeem, M. A., and Mushtaq, N. 1999. Effect of organic and inorganic fertilizers on nutrient contents and some properties of eroded loess soils. Pakistan Journal of Soil Science 16: 63-68.
10. Eghball, B., Ginting, D., and Gilley, J. E. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. Agronomy Journal 96: 442-447.
11. Emam, Y. 2008. Water Relation in Plant. In: Koocheki, A. and Khaje Hosseini, M., Eds. Modern Agronomy. Jihad Daneshgahi Mashhad Press, 163-187. (in Persian).
12. Farzaneh, A., Ghani, A., and Azizi, M. 2010. The effect of water stress on morphological characteristics and essential oil content of improved sweet basil (*Osimum basilicum* L.). Journal of Plant Production 17 (1): 103-111.
13. Farzaneh, H. 1990. Agro Chemical.-Institute of Tehran University Press. Page 317.
14. Fernandez, R., Scull, R., Gonzales, J. L., Crespo, M., Sanchez, E., and Carballo, C. 1993. Effect of fertilization on yield and quality of (*Matricaria reculita* L.) (Chamomile). Aspects of mineral nutrition of the crop. Memorias 11th congreso latinoamericano de la ciencia del suelo, 2ed Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo, Berlin, Germany, 891-894.
15. Ghosh, P. K., Ajay, K. K., Bandyopadhyay, M. C., Manna, K. G., Mandal, A. K., and Hati, K. M. 2004. Comprative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphor compost and fertilizer-NPK on three cropping system in vertisols of semi-arid tropics. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. Bio resource Technology 95: 85-93.
16. Hassan pour aghdam, M. B., Tabatabaie, S. J., Nazemyieh, H., and Aflatuni, A. 2009. Effects of different concentrations of nutrient solution on vegetative growth and essential oil of costmary (*Tanacetum balsamita* L.). Journal of Science agriculture 18 (1): 27-38.
17. Heidari, M., Bakhshande, M., Nadian, H., and Fathi, Gh. 2006. The effect of salinity and nitrogen on grain yield, osmotic regulators and sodium and potassium uptake in wheat. Chamran Journal of Agricultural Sciences Iran 37 (3): 501-510.
18. Hosseini, M., and Nasiri Mahallati, M. 1993. The relationship between water and land in crops. Translation-Publications Jihad University. Mashhad, page 560.
19. Jahan, M., and Koocheki, A. 2004. Effect of organic production of german chamomile (*Maricaria chamomilla* L.)

- on its chemical composition. *Journal of Pajouhesh & Sazandegi* 61: 87-95.
20. Jiang, Y., and Huang, N. 2001. Drought and Heat stress injury to two cool season turf grasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science* 41: 436-442.
21. Kafi, M., and Rostami, M. 2007. Yield characteristic and oil content of three safflower (*Carthamus tinctorius*) cultivar under drought stress in reproductive stage and irrigation whit salin water. *Iranian Journal of Field Crops Research* 5 (1): 121-131.
22. Kalra, A. 2003. Organic cultivation of medicinal and aromatic plants. *Journal of Organic Production of Medicinal*, FAO 22: 586-592.
23. Khorshidi, M., Rahimzade, B., Mir Hadi, M., and Nor Mohammadi, Gh. 2002. Study of drought stress Effects in diferent growth stage of potato. *Journal of Sciences Agronomic* 4 (1): 48-54.
24. Kizilkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with (*Azotobacter chroococcum*) strains. *Ecological Engineering* 3 (3): 150-156.
25. Mallanagouda, B. 1995. Effects of N. P. K and fym on growth parameters of onion, garlic and coriander. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science* 4: 916-918.
26. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Academic Press, Ltd. London.
27. Mona, Y., Kandil, A. M., and Swaefy Hend, M. F. 2008. Effect of three different compost levels on fennel and salvia growth character and their essential oils. *Biological Sciences* 4: 34-39.
28. Munne, S., and Alegre, L. 1999. Role of dew on the recovery of water stressed (*Melissa officinallis* L.). *Journal of Plant Physiology* 154 (5-6): 759-766.
29. Munne, S., Schwarz, K., Alegre, L., Horvath, G., and Szigeti, Z. 1999. Alpha-tocopherol protection against drought, induced damage in (*Rosmarinus officinalis* L.) and (*Melissa officinalis* L.) *Journal of Plant Physiology*. Proceedings of an International workshop at tata, Hungary, 23-26 August.
30. Pormosavi, S., Galavi, M., and Daneshyan, J. 2006. Assess the impact of manure on the stability of the cell membrane and chlorophyll content of soybean under drought stress. *Proceedings of the 9th Congress of Crop Sciences*. Abureyhan University. Tehran University. 41 (2):13-24.
31. Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., and Vivekanandan, M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology* 161: 1189-1202.
32. Rezvani Moghadam, P., Bakhshai, S., Amin Ghafari, A., and Khoramdel, S. 2009. Effect of biological fertilizer and vermicompost on quantity savory- Plants Pharmaceutical Industry Development Conference. Tehran. Page 236.
33. Saborbilandi, M. 2004. The effect of different levels of manure on the performance of cumin dry land in the city of Gonabad. *Proceedings of the 1th National Conference of cumin*. Islamic Azad University of Sabzevar, 88-89.
34. Safikhani1, F., Heydari sharifabad, H., Syadat, A., Sharifi ashorabadi, A., Syednedjad, M., and Abbaszadeh, B. 2007. The effect of drought stress on percentage and yield of essential oil and physiological characteristics of *Deracocephalum moldavica* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 23 (1): 86-89.
35. Saneoka, H., Moghaieb, R. E. A., Premachandra, G. S., and Fujita, K. 2004. Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in (*Agrostis palustris* Huds.). *Environmental and Experimental Botany* 52: 131-138.
36. Scheffer, M. C., and Koehler, H. S. 1993. Influence of organic fertilization on the biomass, yield and yield composition of the essential oil of (*Achillea millefolium*). *Acta Horticulture* 331: 109-114.
37. Schonfeld, M. A., Johnson, R. C., Carver, B., and Morhinweg, D. W. 1988. Water relation in winter wheat as drought resistance indicator. *Crop Science* 28: 526-531.
38. Schutz, H., and Fangmier, E. 2001. Growth and yield responses of spring Wheat (*Triticum aestivum* L.) to elevated CO₂ and water limitation. *Environmental Pollution* 114: 187-194.
39. Siddique, M. R. B., Hamid, A., and Islam, M. S. 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. *Bat. Bull. Acad. Sciencs* 41: 35-39.
40. Sinclair, T. R., and Ludlow, M. M. 1985. Who thought plant thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. *Australia Journal Plant Physiology* 33: 312-317.



Effect of Organic and Chemical Fertilizers on Yield and Essential Oil of Two Ecotypes of Savory (*Satureja hortensis* L.) under Normal and Drought Stress Conditions

O. Akrami nejad^{1*} - M. Saffari² - R. Abdolshahi³

Received: 17-07-2013

Accepted: 16-11-2014

Introduction

Savory (*Satureja hortensis* L.) is an annual and aromatic plant from Labiatae family, which has plenty of essential oil and is important in medicinal, food, health and beauty industries (6). In comparison with chemical fertilizers, organic fertilizers especially manure have lots of organic material sources, and can be used as nutrients, especially Nitrogen, Phosphor and Potassium. Organic fertilizers also keeps more water in the soil (14).

Water deficit is one of the most important boundaries of production in arid and semi-arid regions. Drought stress reduces water content, limits plant growth and changes some physiological and metabolic activities (31). This experiment was conducted as there is a global interest for production of medicinal plants with sustainable agriculture system, and with low input and shortage of information about Savory reaction to fertilization in drought stress condition. The objective of this research was to compare the effects of chemical fertilizers and different organic fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of two ecotypes of savory under drought stress condition.

Materials and Methods

In order to study the effects of organic and mineral (N, P and K) fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of savory in drought stress condition, two separate split plot designs with three replications were carried out in 2012-2013 year, at the research field of Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. In each design fertilizers including cow manure (30 ton per hectare), poultry manure (10 ton per hectare), chemical fertilizers (used equally with macro elements existing in both poultry and cow manure) and control (no fertilizer) were used as main factor. Kerman and Khuzestan ecotypes were sub-factor. One of the experiments was irrigated to 100% and the other to 50% of field capacity. Two experiments were analyzed as a combined design. The important characteristics of Savory such as plant height, grain and biological yield, chlorophyll index, ionic leakage, relative water content, number of branches, essence percentage and essence amount were evaluated. Data were analyzed with SAS and MSTAT-C software and mean comparison was done using Duncan test at %5 level.

Results and Discussion

The results showed that drought stress reduced plant height, number of branches, oil yield, relative water content, SPAD index and increased ion leakage. Meanwhile, it had no significant effect on the percent of oil. Fertilizers increased plant height, number of branches, yield, chlorophyll index and oil yield, while it decreased ion leakage in contrast with control. Baher *et al* (2002) have reported that drought stress reduced plant height, grain yield, and branches number of Savory. As nutrients deficit is one of the main factors in control of plant height and yield, plant that were treated with control had the lowest growth. Organic fertilizers provide appropriate plant growth via gradual release of nutrients during growth season and saving water. Two ecotypes had significant differences for yield, number of branches and ionic leakage. Kerman ecotype showed better yield performance. The results showed that water stress reduced yield, number of branches and plant height of savory. Meanwhile fertilizers (especially cow and hen manure) could reduce the effects of drought.

1- MSc. Student, Department of Agronomy, College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman

2- Associate Professor, Department of Agronomy, College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman

3- Assistant Professor, Department of Agronomy, College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman

(* - Corresponding Author Email: omidakrami122@yahoo.com)

Conclusions

Generally, organic fertilizers, especially cow manure, produced higher yield and showed a better response to drought stress. It might be for higher moisture maintenance in contrast with chemical fertilizers. It seems that, using cow manure could be helpful to overcome the negative effects of drought stress.

Keywords: Drought stress, Essential oil, Fertilizer, Savory, Yield and yield components

اثر مالچ و تنش رطوبتی بر برخی صفات فیزیولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.)

روح اله امینی^{۱*} - عادل دباغ محمدی نسب^۲ - الناز قلندرزاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۳

چکیده

به منظور بررسی اثر مالچ بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد ارقام لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) در تیمارهای مختلف آبیاری، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در سال ۱۳۹۱ اجرا شد. فاکتورها شامل تیمار آبیاری در دو سطح (I_1 و I_2 به ترتیب آبیاری بعد از ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A)، کاربرد مالچ در دو سطح (M_1 فاقد مالچ و M_2 مالچ کلش گندم به میزان دو تن در هکتار) و ارقام لوبیا قرمز شامل اختر و ناز بودند. نتایج نشان داد که اثر مالچ و اثر متقابل آبیاری $\times$ رقم بر تعداد گره در ریشه و اثر متقابل آبیاری $\times$ رقم بر تراکم روزنه در برگ لوبیا تأثیر معنی‌داری داشت. کاربرد مالچ باعث افزایش تعداد گره در ریشه و تنش رطوبتی (I_2) باعث افزایش تراکم روزنه برگ شد. تنش رطوبتی باعث کاهش تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام، وزن صدانه و عملکرد دانه لوبیا گردید. کاربرد مالچ بر تمام صفات به جز تراکم روزنه اثر معنی‌داری داشت و باعث افزایش آنها گردید. اثر متقابل آبیاری $\times$ رقم بر عملکرد و اجزای عملکرد معنی‌دار شد. اثر متقابل آبیاری $\times$ مالچ $\times$ رقم بر عملکرد دانه معنی‌دار شد. در شرایط با محدودیت آب با کاربرد مالچ می‌توان آب قابل دسترس و عملکرد دانه لوبیا را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: تراکم روزنه، تعداد گره، تعداد نیام، رقم، سطح آبیاری، وزن دانه

مقدمه

زراعت لوبیا در این مناطق نیز می‌تواند با محدودیت آب مواجه شود (۱۲). ترآن و سینگ (۳۰) اعلام داشتند که مهمترین عامل محدودکننده تولید لوبیا در سراسر جهان، تنش رطوبتی می‌باشد. یکی از روش‌های پیشرفته و جدید که به تازگی جای خود را در کشاورزی باز نموده، استفاده از خاکپوش یا مالچ می‌باشد. این روش با حفظ و ذخیره رطوبت خاک از طریق کاهش میزان تبخیر، استفاده حداکثر از آب را به خصوص در زراعت محصولات ردیفی امکان‌پذیر می‌سازد. در نتیجه می‌توان آب بیشتری را ذخیره نمود و یا این که با آب کمتر از همان سطح اولیه محصول برداشت کرد (۳).

تنش خشکی باعث کاهش سرعت فتوسنتز خالص گیاه می‌شود که این اثر بیشتر به دلیل اثر مستقیم تنش خشکی روی هدایت روزنه‌ای تحت شرایط کم آبی است (۲۱). تنش خشکی اثر زیان‌آوری بر فرآیند تثبیت نیتروژن در حبوبات دارد (۱۷). تنش خشکی بیشتر از طریق کاهش تعداد نیام در بوته به دلیل کاهش تسهیم آسیمیلات به نیام، کاهش ظرفیت فتوسنتزی یا قدرت منبع بر اثر بسته شدن روزنه‌ها و کاهش ماده خشک کل گیاه عملکرد را کاهش می‌دهد (۲۴). سینگ (۲۷) در بررسی اثرات تنش خشکی بر لوبیا گزارش کرد

حبوبات پس از غلات دومین منبع مهم غذایی بشر می‌باشند. پروتئین موجود در دانه‌های حبوبات دو تا سه برابر غلات است و در بین حبوبات از نظر میزان تولید در ایران مقام دوم به لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) اختصاص دارد (۲۵). اگرچه لوبیا به عنوان یک گیاه حساس به تنش رطوبتی و کم آبی معرفی شده است، تولید این محصول در بسیاری از نقاط جهان که به دلیل عدم تأمین آب مورد نیاز گیاه در معرض تنش رطوبتی هستند صورت می‌گیرد (۲۰). از آنجا که کشور ایران نیز با متوسط بارندگی سالانه ۲۶۰ میلی‌متر جزء مناطق خشک و نیمه خشک محسوب شده و نیمی از اراضی قابل کشت کشورمان در این مناطق قرار دارند، بنابراین

۱- دانشیار گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
(*)- نویسنده مسئول: (Email: r_amini@tabrizu.ac.ir)

۲- استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

رطوبتی در دو سطح، I_1 و I_2 به ترتیب آبیاری بعد از ۶۰ و ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و فاکتور سوم شامل دو رقم لوبیا قرمز، C_1 (رقم اختر با تیپ بوته‌ای) و C_2 (رقم ناز با تیپ رونده) بود.

قطعه زمین مورد نظر در پاییز سال ۱۳۹۰ شخم زده شد و در بهار پس از دو بار دیسک (عمود بر هم)، جوی و پشته‌هایی به فواصل ۵۰ سانتی متر توسط شیار بازکن در جهت شمالی - جنوبی ایجاد شد. مساحت هر کرت آزمایشی ۱۲ مترمربع و هر کرت شامل پنج پشته به طول چهار متر و فاصله پشته‌ها از هم ۵۰ سانتی متر بود. بذور قبل از کاشت با بنومیل به نسبت دو در هزار ضد عفونی شدند. کاشت بذور در ۱۰ خرداد ماه به صورت کپه‌ای با فاصله روی ردیف ۸ سانتی متر و بین ردیف ۲۵ سانتی متر در دو طرف پشته‌ها و در شیارهایی با عمق چهار سانتی متر انجام شد. تراکم مطلوب برای لوبیا ۵۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. بذور پس از قرار گرفتن در شیارها پوشانده شدند. بلافاصله پس از کاشت، اقدام به آبیاری کرت‌ها شد. تا استقرار کامل گیاهچه‌ها، آبیاری هر هفته یکبار انجام شد، ولی آبیاری‌های بعدی، متناسب با تیمارهای مربوط انجام پذیرفت. همچنین با استقرار بوته‌ها، مالچ کلش گندم نیز در فواصل بین ردیف‌ها پخش شد. پس از سبز شدن، بوته‌ها تنک شده و به تراکم مورد نظر رسیدند. در طول دوره رشد، علف‌های هرز به صورت وجین دستی کنترل شدند.

برای اندازه‌گیری تعداد گره‌های فعال تثبیت‌کننده نیتروژن در ریشه لوبیا، در مرحله گلدهی تعداد ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب و پس از آبیاری ریشه به همراه خاک اطراف آن به آرامی از کرت به بیرون کشیده شد و سپس خاک اطراف ریشه با دقت شسته و جدا شد. بعد از آن تعداد گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در هر بوته شمارش و ثبت شد. به منظور تعیین تعداد روزنه‌های موجود در سطح برگ لوبیا، سه بوته به طور تصادفی هنگام نیامدهی محصول انتخاب و سه برگ از سه قسمت فوقانی، میانی و تحتانی همان بوته جدا و به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه لایه اپیدرم تحتانی برگ جدا شد و زیر میکروسکوپ نوری که با عدسی چشمی X10 و عدسی شیئی X40 تنظیم شده بود (۳۳)، تعداد روزنه در میلی متر مربع برگ شمارش شد. در زمان رسیدگی محصول با حذف حاشیه‌ها در هر کرت آزمایشی، بوته‌های واقع در ۴/۵ مترمربعی از وسط هر کرت کف بر شده و در داخل پاکت‌های مجزا به آزمایشگاه منتقل شدند. ابتدا تعداد نیام‌های هر بوته شمارش و ثبت شد. سپس نیام‌ها از بوته جدا شده و تعداد بذور آن‌ها نیز شمارش شد. همچنین در نهایت وزن صد دانه و عملکرد دانه ارقام لوبیا در واحد سطح در همه واحدهای آزمایشی اندازه‌گیری شد.

کلیه تجزیه‌های آماری به صورت فاکتوریل براساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. این تجزیه‌ها با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از روش چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. رسم نمودارها با بهره‌گیری از

که میانگین کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی ۶۰ درصد و کاهش وزن دانه ۱۴ درصد است. سزیلاگی (۲۹) نیز با بررسی تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا مشاهده نمود که تنش خشکی عملکرد دانه را ۸۰٪، تعداد نیام در بوته را ۶۰٪، تعداد دانه در نیام را ۲۶٪ و وزن صد دانه را ۱۳٪ کاهش داد.

مالچ کلشی به عنوان یکی از بهترین راه‌های نگهداری آب در خاک و کاهش تبخیر خاک در نظر گرفته می‌شود (۳۴). مالچ‌ها با تعدیل میزان تابش به سطح خاک و جلوگیری از تبخیر آب از سطح آن روی میکروکلیمای مزرعه تأثیر می‌گذارند، تا محیطی مساعد برای رشد و توسعه گیاه فراهم نمایند (۱۸). مالچ‌ها به دلیل نقش خود در کنترل تبخیر، جلوگیری از نوسانات درجه حرارت و تنش‌های رطوبتی، جلوگیری از سله بستن خاک، جلوگیری از تجمع نمک‌ها در سطح خاک، جلوگیری از رشد علف‌های هرز، افزایش حاصلخیزی خاک، تحریک رشد ریشی، افزایش سطح سبز محصول و افزایش راندمان مصرف آب اثر افزایشی بر عملکرد گیاهان زراعی دارند (۱۹). باتری و همکاران (۸) گزارش کردند که خاک‌های با رطوبت کم و حرارت بالا و همچنین خاک‌هایی با فقر غذایی و ظرفیت پایین نگهداری آب، مهم‌ترین مشکل و محدودیت برای ریزوبیوم و تثبیت نیتروژن به شمار می‌روند. شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک، محدودیت منابع آب قابل استفاده، کمبود ذخیره‌سازی آب و ساختار ضعیف خاک، مهم‌ترین موانع در توسعه کشاورزی پایدار در بخش وسیعی از کشور به شمار می‌روند. در همین راستا است تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر مالچ کلش گندم بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه ارقام لوبیا در شرایط تنش خشکی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، واقع در ۱۲ کیلومتری شرق تبریز با ارتفاع ۱۳۶۰ متر از سطح دریای آزاد، در طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳ دقیقه شمالی اجرا شد (۱۴). این منطقه جزء اقلیم‌های نیمه استپی و نیمه خشک سرد محسوب می‌شود و براساس آمار هواشناسی، دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم می‌باشد. میانگین بارندگی این ناحیه ۲۷۱/۳ میلی متر در سال است که با توجه به منحنی آمبروترمیک در سال ۹۱ بیشترین مقدار آن در خرداد ماه و کمترین مقدار آن در مرداد ماه رخ داده است. نتایج تجزیه خاک قطعه زمین مورد نظر در جدول ۱ ارائه شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل مالچ گندم دو سطح M_1 (فاقد مالچ) و M_2 (دو تن در هکتار مالچ کلش گندم)، فاکتور دوم تنش

نرم افزار Excel انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

تعداد گره در ریشه

اثر تیمارهای آبیاری، مالچ، رقم و اثر متقابل آبیاری × رقم در سطح احتمال یک درصد بر تعداد گره در ریشه لوبیا معنی دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تعداد گره در ریشه لوبیا در تیمار دارای مالچ به طور معنی دار بیشتر از تیمار فاقد مالچ بود و کاربرد مالچ گندم تعداد گره در ریشه را ۱۷٪ افزایش داد (شکل ۱-الف). احتمالاً مالچ به دلیل نقش خود در کنترل تبخیر و ایجاد رطوبت کافی در اطراف ریشه، محیط مساعدی برای فعالیت ریزوبیومها ایجاد

کرده و در نتیجه میزان گره بندی افزایش پیدا کرده است. اثر متقابل آبیاری × رقم بر تعداد گره در ریشه لوبیا معنی دار شد به گونه ای که در شرایط کمبود آب در هر دو رقم تعداد گره در ریشه کاهش یافت، اما مقدار کاهش در رقم ناز بیشتر از رقم اختر بود (شکل ۱-ب). علت این امر می تواند مربوط به تحمل بیشتر رقم اختر نسبت به تنش رطوبتی باشد.

بین دو رقم لوبیا قرمز اختلاف معنی داری از نظر تعداد گره در ریشه وجود داشت. رقم اختر از تعداد گره در ریشه بالایی نسبت به رقم ناز برخوردار بود (شکل ۱-ب). حافظ و همکاران (۱۳) طی آزمایشی روی ارقام مختلف عدس نشان دادند که تعداد گره در ریشه ارقام مختلف تفاوت معنی داری داشتند.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک قطعه زمین مورد نظر جهت اجرای آزمایش

Table 1- The results of soil analysis in experimental location							
K (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	N (%)	Lime (%)	Organic matter (%)	pH	EC (dS m ⁻¹)	Texture
453	36	0.13	11	1.3	7.6	1.1	Loam-sand

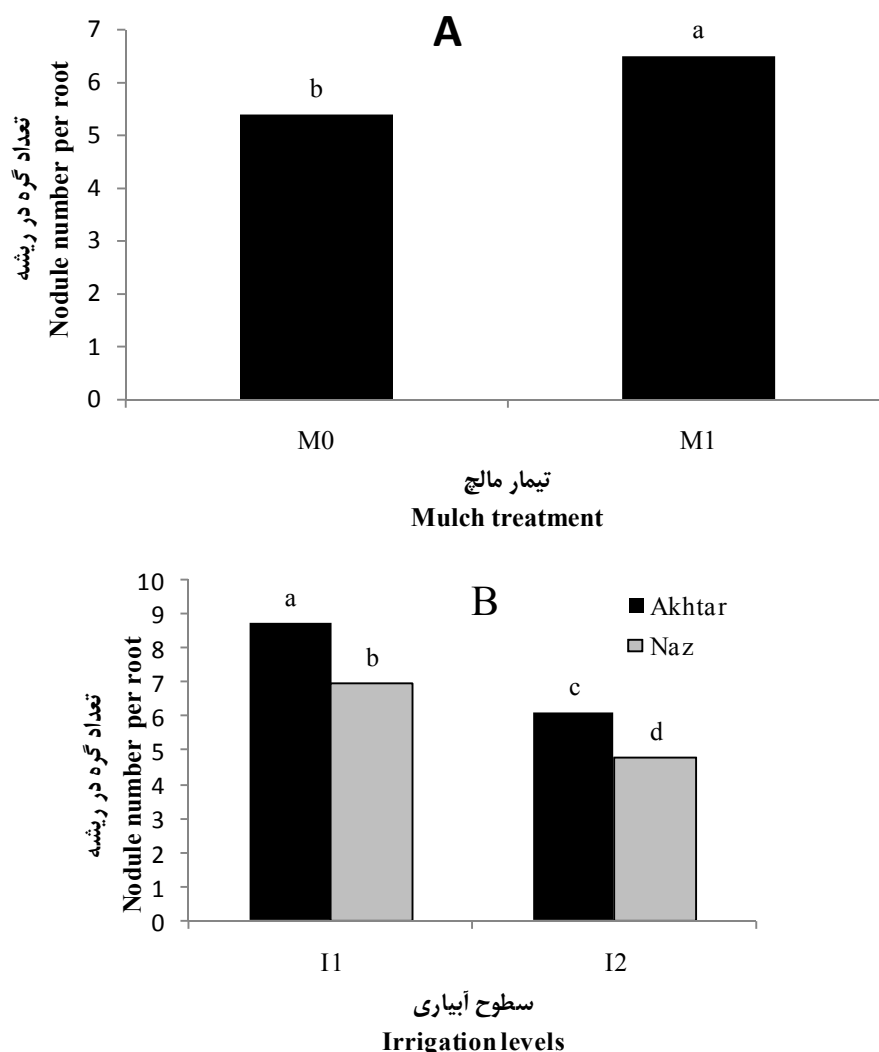
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تعداد گره در ریشه، تراکم روزنه، اجزای عملکرد و عملکرد دانه لوبیا قرمز در تیمارهای آبیاری و مالچ

Table 2- The results of analysis of variance for nodule number per root, stomatal density, yield components and grain yield of red kidney bean at irrigation and mulch treatments

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد گره در ریشه Nodule number per root	تراکم روزنه Stomatal density	تعداد نیام در بوته Pod number /plant	تعداد دانه در نیام Seed number per pod	وزن صد دانه 100-seed weight	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	2	0.128	220.50	0.213	0.021	0.122	935.49
مالچ Mulch	1	7.594**	51.04 ^{ns}	3.300**	0.277**	17.170**	1138445.0**
آبیاری Irrigation	1	71.07**	2262.04**	20.720**	8.143**	70.384**	2845715.1**
مالچ × آبیاری Mulch × Irrigation	1	0.01 ^{ns}	40.04 ^{ns}	0.020 ^{ns}	0.001 ^{ns}	1.984 ^{ns}	6527.1 ^{ns}
رقم Cultivar	1	14.26**	3015.04**	6.100**	8.074**	758.25**	2236939.2**
مالچ × رقم Mulch × Cultivar	1	0.02 ^{ns}	165.37 ^{ns}	0.184 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.150 ^{ns}	139097.1 ^{ns}
آبیاری × رقم Irrigation × Cultivar	1	1.654**	1305.37*	1.170*	0.400**	1.870**	53750.8**
مالچ × آبیاری × رقم Mulch × Irrigation × Cultivar	1	0.004 ^{ns}	15.04 ^{ns}	0.304 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.570 ^{ns}	21853.3**
خطا Error	14	0.125	235.27	0.164	0.018	0.181	1773.7
ضریب تغییرات (%) CV (%)	-	5.94	5.64	6.2	5.17	1.44	1.89

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** means non-significant, significant at 0.05 and 0.01% probability levels, respectively.



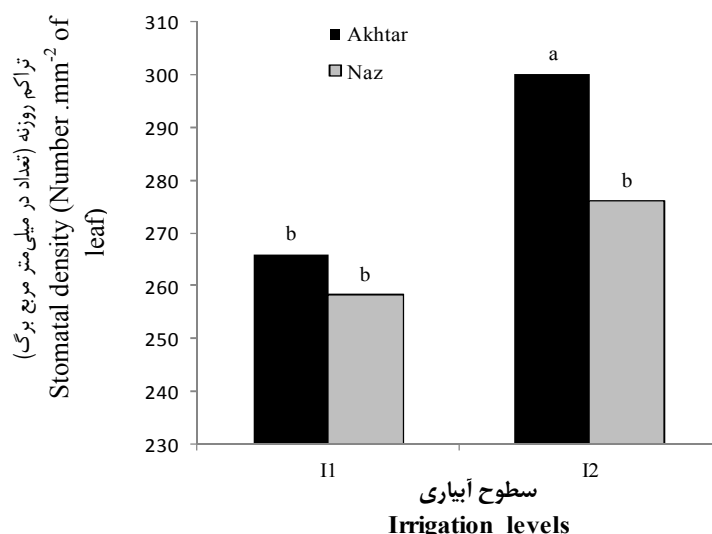
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مالچ (الف) و اثر متقابل رقم در سطح آبیاری (ب) بر تعداد گره در ریشه لوبیا (M_0 فاقد مالچ و M_1 ۲ تن در هکتار مالچ کلش گندم؛ I_1 آبیاری پس از ۶۰ میلی متر تبخیر و I_2 آبیاری پس از ۱۲۰ میلی متر تبخیر، حروف متفاوت نمایانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد است).

Figure 1- The mean comparison for effect of mulch levels (A) and interaction effect of cultivar $\times$ irrigation level (B) on nodule number per root (M_0 no mulch and M_1 2 ton/h wheat straw mulch; I_1 and I_2 , irrigation after 60 and 120 mm evaporation from class A pan, respectively, different letters indicate significant difference at 5% probability level)

تراکم روزنه

مربوط به مقاومت بیشتر رقم اختر نسبت به تنش رطوبتی باشد. احتمالاً یکی از علل افزایش تراکم روزنه‌ها در هنگام تنش رطوبتی کوچک‌تر شدن اندازه سلول‌ها است که باعث افزایش بیشتر روزنه در واحد سطح می‌شود. باتری و همکاران (۸) نیز طی تحقیقات خود به نتایج مشابهی با این تحقیق دست یافتند. سینگ (۲۸) عقیده دارد هنگامی که تنش رطوبتی در گندم (*Triticum aestivum* L.) به حد متوسطی می‌رسد، سطح برگ پرچم کاهش می‌یابد، لیکن تعداد روزنه‌های دو سطح آن تمایل نسبی به ثابت ماندن دارند و در نتیجه، روزنه‌ها به هم نزدیک‌تر شده و تراکم آنها زیادتر می‌شود.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آبیاری $\times$ رقم در سطح احتمال پنج درصد بر تراکم روزنه معنی دار بود (جدول ۲). تحت شرایط تنش رطوبتی (تیمار I_2) تراکم روزنه‌ها افزایش نشان داد، به طوری که تنش رطوبتی تراکم روزنه‌ها را ۷٪ افزایش داد (شکل ۲). در بررسی اثر متقابل آبیاری $\times$ رقم بر تراکم روزنه مشخص شد که در شرایط کمبود آب در هر دو رقم، تراکم روزنه افزایش یافته است، اما افزایش در رقم اختر بیشتر از رقم ناز بود (شکل ۲). علت این امر می‌تواند



شکل ۲- میانگین تراکم روزنه دو رقم لوبیا قرمز در دو سطح آبیاری (I₁: آبیاری پس از ۶۰ میلی متر تبخیر و I₂: آبیاری پس از ۱۲۰ میلی متر تبخیر). حروف متفاوت نمایانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد است (آزمون دانکن).

Figure 2- The mean for stomatal density of two red kidneybean cultivars (I₁ and I₂, irrigation after 60 and 120 mm evaporation from class A pan, respectively, different letters indicate significant difference at 5% probability level)

نیام را افزایش داد (۱).

در بررسی اثر متقابل تیمار آبیاری × رقم مشخص شد که در تیمار آبیاری پس از ۱۲۰ میلی متر تبخیر، در هر دو رقم تعداد نیام در بوته کاهش یافته است، اما کاهش تعداد نیام در بوته در رقم اختر (۲۷٪) بیشتر از رقم ناز (۲۰٪) بود (شکل ۳-ب). با توجه به تیپ رشدی نامحدود رقم ناز، این رقم کاهش در تعداد نیام در بوته را در نتیجه تنش رطوبتی در مراحل بعدی جبران نموده و در نتیجه تعداد نیام کمتر کاهش یافت ولی در رقم اختر به دلیل رشد محدود، کاهش تعداد نیام در بوته بیشتر بود. این موضوع مورد تأیید واکریم و همکاران (۳۱) نیز قرار گرفته است. تعداد نیام در بوته در تیمار I₁ (آبیاری پس از ۶۰ میلی متر تبخیر) به طور معنی دار بیشتر از تیمار I₂ (آبیاری پس از ۱۲۰ میلی متر تبخیر) بود، به بیان دیگر، تنش رطوبتی تعداد نیام در بوته را ۲۴٪ کاهش داد (شکل ۳-ب). نتایج حاصل در ارتباط با کاهش تعداد نیام در بوته در شرایط تنش رطوبتی با نتایج بوترا و ساندروز (۷) مطابقت دارد. آنها علت کاهش تعداد نیام در بوته در شرایط تنش رطوبتی را اختلال در عمل گرده افشانی و کاهش تعداد گل ها، ریزش گل ها و نیام ها ذکر کردند. سزیلاگی (۲۹) نیز با بررسی تنش خشکی بر اجزای عملکرد دانه لوبیا مشاهده نمود که تنش خشکی تعداد نیام در بوته را ۶۰٪ کاهش می دهد. به نظر می رسد که تعداد نیام در بوته حساس ترین جزء عملکرد لوبیا به تنش خشکی باشد. یکی از دلایل کاهش تعداد نیام در بوته در شرایط تنش خشکی، می تواند کاهش طول دوره رشد گیاه باشد که در نتیجه آن تولید مواد فتوسنتزی نقصان

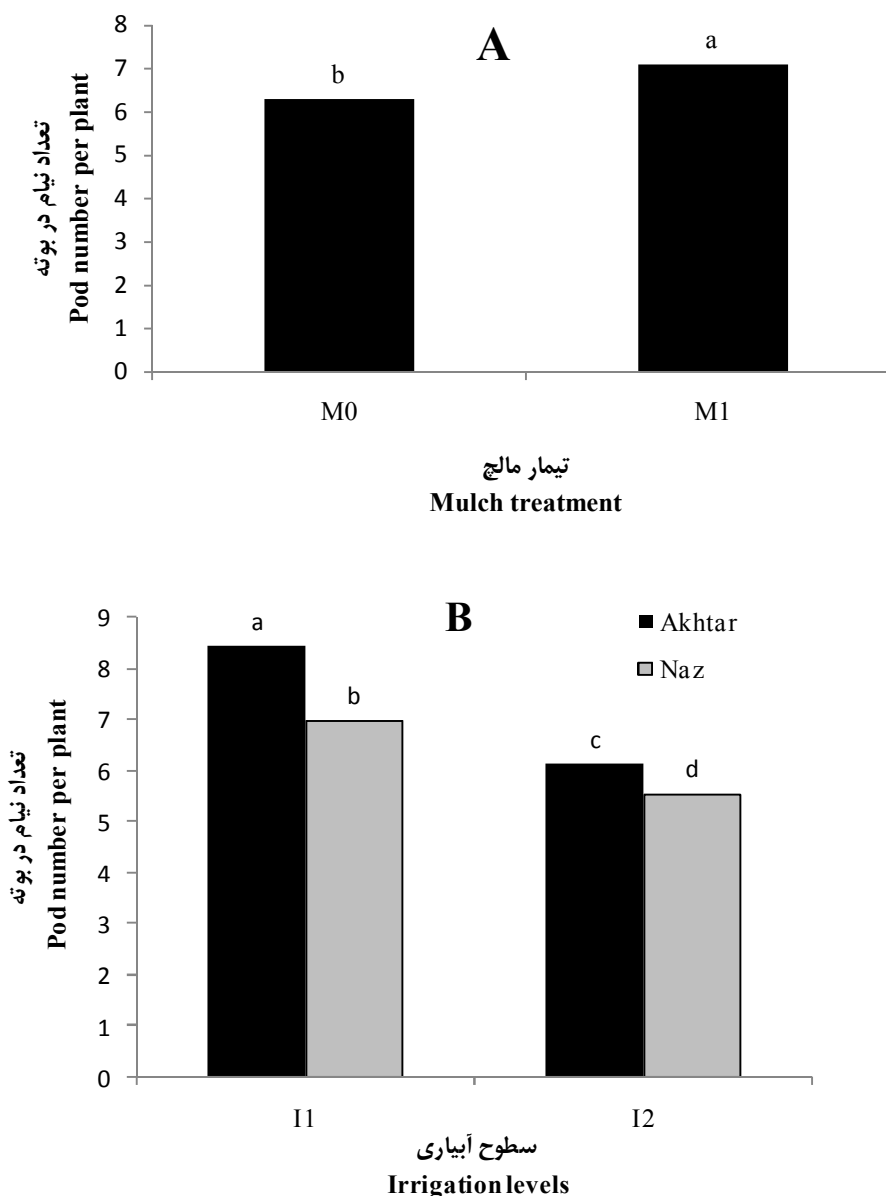
در تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی متر تبخیر، بین دو رقم لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) اختلاف معنی داری از نظر تراکم روزنه وجود نداشت، ولی در تیمار تنش رطوبتی (آبیاری پس از ۱۲۰ میلی متر تبخیر) رقم اختر از تراکم روزنه بالایی نسبت به رقم ناز برخوردار بود (شکل ۲).

تعداد روزنه ها در هر واحد از سطح برگ ممکن است که در بین گونه گیاهی، ارقام و کلون ها تغییر کند (۲۳). مارتینز و همکاران (۲۲) نشان دادند که کمبود آب علاوه بر افزایش تراکم روزنه، اندازه روزنه های لوبیا را کاهش داد. بر این اساس پژوهشگران تغییرات فوق را عامل افزایش سازگاری گیاه با رطوبتی بیان کردند.

تعداد نیام در بوته

اثر تیمارهای آبیاری، مالچ و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آبیاری × رقم در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد نیام در بوته معنی دار بود (جدول ۲). در بررسی اثر مالچ بر تعداد نیام در بوته مشاهده شد که مالچ تعداد نیام در بوته را افزایش داده است. تعداد نیام در بوته در تیمار دارای مالچ به طور معنی دار بیشتر از تیمار فاقد مالچ بود، به بیان دیگر کاربرد مالچ تعداد نیام در بوته را ۱۳٪ افزایش داد (شکل ۳-الف). پوشش مالچ با کنترل تبخیر و افزایش رطوبت در محیط ریشه باعث افزایش رشد رویشی و فتوسنتز گردیده، در نتیجه مواد فتوسنتزی بیشتری جهت تشکیل گل و نیام تولید شده و تعداد

می‌یابد کاهش تعداد نیام در بوته بر اثر تنش خشکی برای نخود (۶) نیز گزارش شده است.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح مالچ (الف) و اثر متقابل رقم در سطح آبیاری (ب) بر تعداد نیام در بوته لوبیا (M_0 فاقد مالچ و M_1 ۲ تن در هکتار مالچ کلش گندم؛ I_1 آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر و I_2 آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، حروف متفاوت نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است).

Figure 3- The mean comparison for effect of mulch levels (A) and interaction effect of cultivar $\times$ irrigation level (B) on pod number per plant (M_0 no mulch and M_1 2 ton/h wheat straw mulch; I_1 and I_2 , irrigation after 60 and 120 mm evaporation from class A pan, respectively, different letters indicate significant difference at 5% probability level)

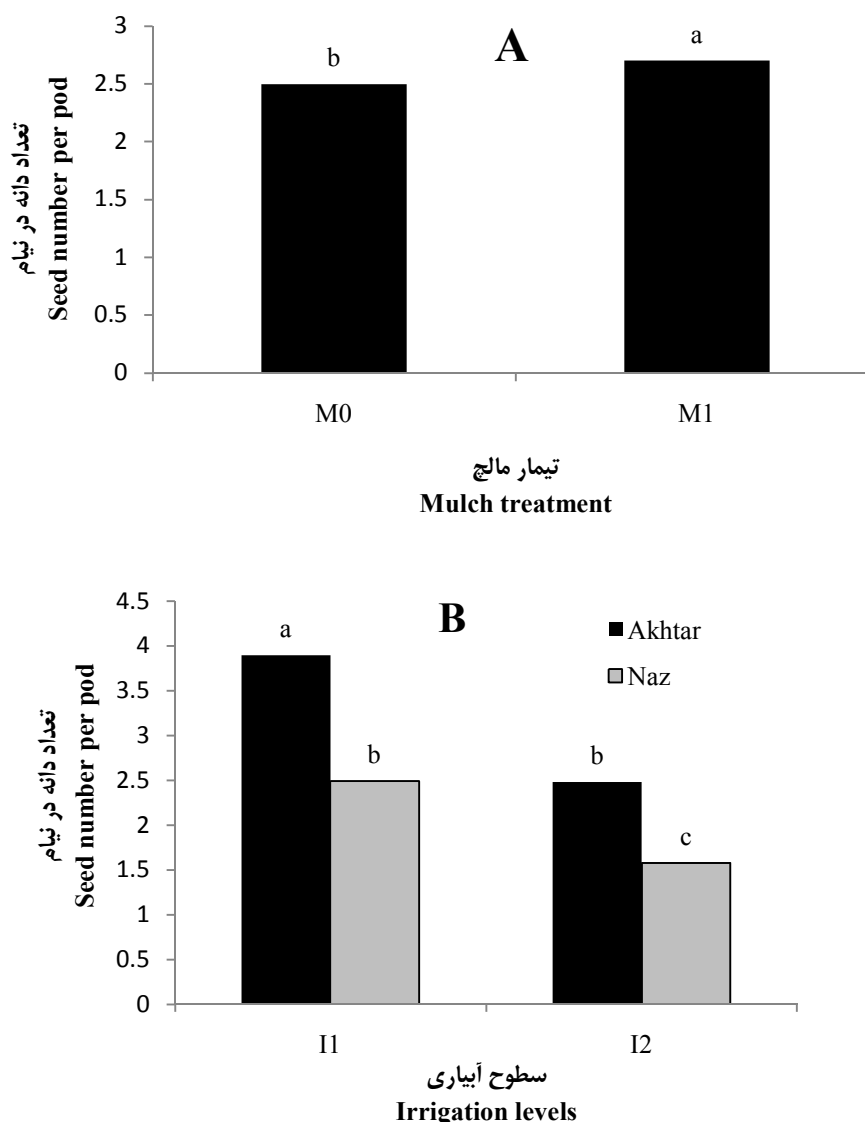
تعداد دانه در نیام

معنی‌داری (۸٪) نسبت به تیمار بدون مالچ افزایش داد (شکل ۴-الف). آکازی (۱) نیز گزارش کرد که مالچ با فراهم نمودن آب کافی برای رشد و توسعه گیاه، باعث افزایش تشکیل گل و نیام و در نتیجه تشکیل تعداد بیشتر دانه در نیام شد. در بررسی اثر متقابل آبیاری $\times$ رقم بر تعداد دانه در نیام مشخص

براساس تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) اثر تیمارهای آبیاری، مالچ و رقم و اثر متقابل آبیاری $\times$ رقم بر تعداد دانه در نیام در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در بررسی اثر مالچ بر تعداد دانه در نیام مشاهده شد که کاربرد مالچ تعداد دانه در نیام لوبیا را به‌طور

دانه در نیام می‌شود (۳۵). سزیلاگی (۲۹) نیز با بررسی تنش رطوبتی بر اجزای عملکرد دانه لوبیا مشاهده نمود که تنش رطوبتی تعداد دانه در نیام را ۲۶٪ کاهش می‌دهد. بین دو رقم لوبیا قرمز اختلاف معنی‌داری از نظر تعداد دانه در نیام وجود داشت به‌طوری‌که تعداد دانه در نیام در رقم اختر بیشتر از رقم ناز بود. بقایی (۴) نیز گزارش نمود که ارقام لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) از نظر تعداد نیام در بوته دارای تفاوت معنی‌داری هستند.

شد که در تیمار آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر در هر دو رقم تعداد دانه در نیام کاهش یافت، ولی کاهش تعداد دانه در نیام در رقم ناز بیشتر از رقم اختر بود (شکل ۴-ب). تعداد دانه در نیام در تیمار I_1 (آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر) به‌طور معنی‌دار بیشتر از تیمار I_2 (آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) بود، به بیان دیگر تنش رطوبتی تعداد دانه در نیام را ۳۷٪ کاهش داد. کمبود مواد فتوسنتزی قابل انتقال در تیمار تنش رطوبتی در مرحله رشد زایشی باعث سقط گل و



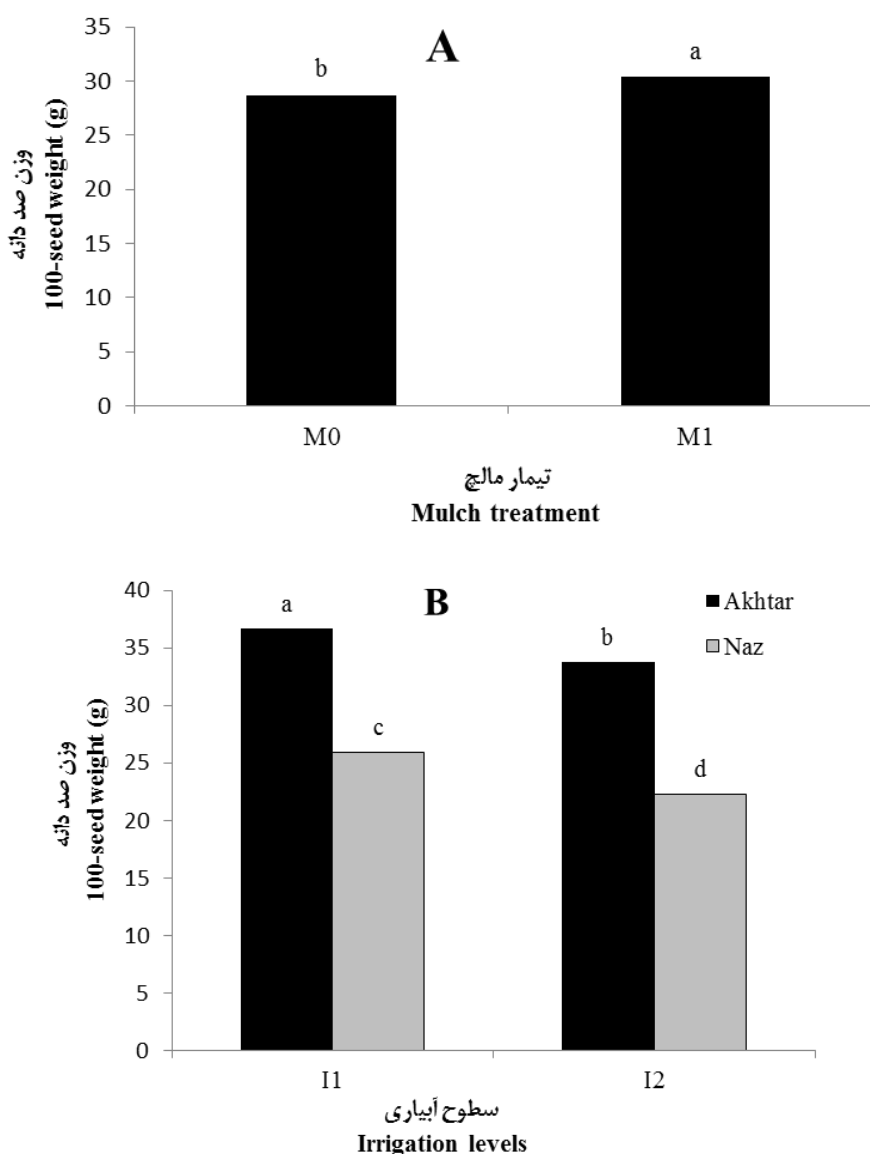
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح مالچ (الف) و اثر متقابل رقم در سطح آبیاری (ب) بر تعداد دانه در نیام لوبیا (M_0 فاقد مالچ و M_1 ۲ تن در هکتار مالچ کلش گندم؛ I_1 آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر و I_2 آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، حروف متفاوت نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است).

Figure 4- The mean comparison for effect of mulch levels (A) and interaction effect of cultivar $\times$ irrigation level (B) on seed number per pod (M_0 no mulch and M_1 2 ton/h wheat straw mulch; I_1 and I_2 , irrigation after 60 and 120 mm evaporation from class A pan, respectively, different letters indicate significant difference at 5% probability level)

وزن صد دانه

اثر تیمارهای آبیاری، مالچ و رقم و اثر متقابل آبیاری $\times$ رقم بر وزن صدانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در بررسی اثر مالچ بر وزن صدانه مشاهده شد که مالچ اثر افزایشی بر وزن صدانه داشت. وزن صدانه لوبیا در تیمار دارای مالچ به‌طور

معنی‌دار (۶٪) بیشتر از تیمار فاقد مالچ بود (شکل ۵-الف). علت آن احتمالاً در دسترس بودن آب کافی برای گیاه در مرحله پر شدن دانه‌ها بود که زمینه را برای دوام بیشتر فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی و همچنین انتقال مواد جهت پر کردن دانه‌ها فراهم نموده و از این طریق سبب افزایش وزن دانه‌ها شد (۲۶).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر سطوح مالچ (الف) و اثر متقابل رقم در سطح آبیاری (ب) بر وزن صدانه لوبیا (M₀ فاقد مالچ و M₁ ۲ تن در هکتار مالچ کلس گندم؛ I₁ آبیاری پس از ۶۰ میلی متر تبخیر و I₂ آبیاری پس از ۱۲۰ میلی متر تبخیر. حروف متفاوت نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است).

Figure 5- The mean comparison for effect of mulch levels (A) and interaction effect of cultivar $\times$ irrigation level (B) on 100-seed weight of bean (M₀ no mulch and M₁ 2 ton/h wheat straw mulch; I₁ and I₂, irrigation after 60 and 120 mm evaporation from class A pan, respectively, different letters indicate significant difference at 5% probability level)

در بررسی اثر متقابل آبیاری $\times$ رقم بر وزن صددانه لوبیا مشاهده شد که در هر دو تیمار آبیاری رقم اختر از وزن صدانه بیشتری برخوردار بوده است. تنش رطوبتی وزن صددانه رقم ناز را نسبت به رقم اختر ۸٪ بیشتر کاهش داده است (شکل ۵-ب). تحقیقات بر روی گونه‌های بومی و ارقام تجاری لوبیا نشان داد که تمام ارقام تحت شرایط کمبود آب کاهش عملکرد دانه داشته‌اند و وزن صددانه آنها کاهش یافته است (۱۱). به نظر می‌رسد کاهش بیشتر وزن صددانه رقم ناز در شرایط تنش رطوبتی به دلیل دوره رشد بیشتر این رقم بوده که موجب کوتاه شدن طول دوره مؤثر پر شدن دانه و نیز کاهش ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شده و وزن صدانه را کاهش داده است (۵). وسترمن و کروتز (۳۲) نیز دریافتند که ارقام ایستاده و رشد محدود لوبیا به دلیل زودرس‌تر بودن، کمتر تحت تأثیر تنش رطوبتی قرار گرفته‌اند و از وزن صددانه بیشتری برخوردار بودند. بین دو رقم لوبیا قرمز اختلاف معنی‌داری از نظر وزن صددانه وجود داشت به‌طوری‌که وزن صددانه رقم اختر بیشتر از رقم ناز بود. وسترمن و کروتز (۳۲) نیز مشاهده کردند که ارقام ایستاده لوبیا نسبت به ارقام رونده وزن صدانه بیشتری داشتند.

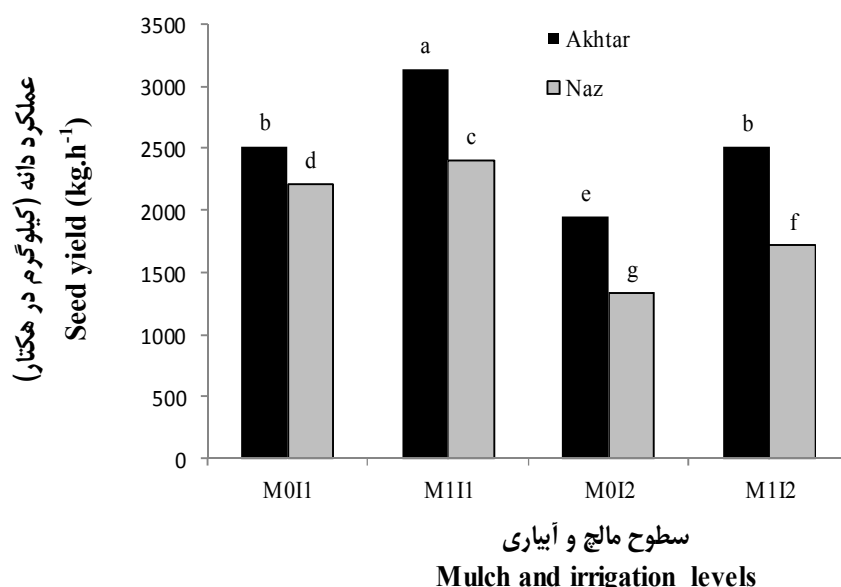
عملکرد دانه

اثر اصلی تیمارهای آبیاری، مالچ، رقم و اثر متقابل بین آنها بر عملکرد دانه لوبیا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در بررسی اثر مالچ بر عملکرد دانه مشاهده شد که مالچ اثر افزایشی روی عملکرد دانه داشته است. عملکرد دانه در تیمار کاربرد مالچ به‌طور معنی‌دار (۱۸٪) بیشتر از تیمار فاقد مالچ بود (شکل ۶). فراک و همکاران (۱۰) تأثیر مالچ کلشی را بر عملکرد گوجه فرنگی مورد بررسی قرار داده و اعلام نمودند که استفاده از مالچ کلشی، باعث افزایش عملکرد به میزان ۱۴/۹۸٪ نسبت به تیمار شاهد شد. مالچ تبخیر آب از سطح خاک را کاهش می‌دهد، در نتیجه رطوبت خاک با یکنواختی بیشتری نگهداری می‌شود و به دلیل نبود نور در زیر مالچ امکان فتوسنتز فراهم نبوده و علف‌های هرز نمی‌توانند رشد کنند، از این رو گیاه دسترسی بیشتری به آب و مواد غذایی خواهد داشت. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در صورت استفاده از مالچ می‌توان آب کمتری به کار برد ولی عملکرد بالاتری انتظار داشت (۱۵). آزمایشات کار و کومار (۱۶) نیز نشان داد که بیشترین عملکرد سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در کرت‌های دارای مالچ به‌دست آمد.

مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری $\times$ مالچ $\times$ رقم نشان داد که

عملکرد دانه در رقم اختر در شرایط آبیاری کامل (آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر) و با استفاده از مالچ بیشترین مقدار معادل ۳۱۳۵/۲ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش رطوبتی (آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و فاقد مالچ در رقم ناز کمترین مقدار معادل ۱۳۴۰ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۶). با توجه به نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر می‌توان علت این امر را به کاهش تعداد نیام در بوته در شرایط تنش رطوبتی در رقم ناز نسبت داد. علت تفاوت عملکرد دانه در ارقام تحت تنش رطوبتی عمدتاً ناشی از تفاوت توزیع ماده خشک در شرایط تنش می‌باشد که با نتایج اکوستا و همکاران (۲) در لوبیا مطابقت دارد. عملکرد دانه در رقم اختر در تیمار فاقد مالچ تحت شرایط تنش رطوبتی معادل ۱۹۵۳/۳ کیلوگرم در هکتار و در رقم ناز معادل ۱۳۴۰ کیلوگرم در هکتار بود، با کاربرد مالچ تحت همین شرایط، عملکرد دانه رقم اختر ۲۲/۳٪ و رقم ناز ۲۱/۹٪ افزایش یافته است. با بررسی نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین استنباط کرد که مالچ عملکرد دانه را در هر دو رقم تحت تیمار I_2 (آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) افزایش داده است. علت بالا بودن عملکرد دانه رقم اختر دارای رشد محدود تحت شرایط مالچ در هر دو سطح آبیاری را می‌توان به تأثیر مالچ بر افزایش رطوبت قابل استفاده برای گیاه نسبت داد که با توسعه رشد رویشی و زایشی و تولید و تخصیص مواد فتوسنتزی بیشتر به دانه، باعث بهبود عملکرد دانه در این رقم شده است. رقم اختر به دلیل فرم رشدی ایستاده کمتر سطح مزرعه را پوشش می‌دهد و در نتیجه کاربرد مالچ در سطح خاک، میزان رطوبت قابل استفاده گیاه افزایش می‌یابد، در صورتی‌که رقم ناز به دلیل داشتن فرم رشدی رونده بیشتر در سطح خاک گسترش یافته و پوشش بهتری در مزرعه ایجاد می‌کند و در نتیجه کاربرد مالچ اثر کمتری روی حفظ رطوبت خاک و رشد این رقم داشته است.

عملکرد دانه در تیمار I_1 (آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر) به‌طور معنی‌دار بیشتر از تیمار I_2 (آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) بود، به بیان دیگر تنش رطوبتی عملکرد دانه را ۲۷٪ کاهش داد. سزیلاگی (۲۹) نیز با بررسی تنش رطوبتی بر عملکرد دانه لوبیا مشاهده نمود که تنش رطوبتی عملکرد دانه را ۸۰٪ کاهش می‌دهد. کاهش عملکرد دانه تحت شرایط تنش رطوبتی را می‌توان به تأثیر کمبود رطوبت بر اجزای عملکرد نسبت داد. امام و همکاران (۹) کاهش عملکرد لوبیا در نتیجه تنش رطوبتی را به تأثیر نامطلوب تنش بر اجزای عملکرد دانه مانند تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام، وزن صدانه و شاخص برداشت دانستند.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل مالچ × آبیاری × رقم بر عملکرد دانه لوبیا قرمز (M_0 و M_1 به ترتیب فاقد مالچ و ۲ تن در هکتار مالچ کلش گندم و I_1 و I_2 به ترتیب آبیاری پس از ۶۰ و ۱۲۰ میلی متر تبخیر. حروف متفاوت نمایانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد است.
Figure 6- The mean comparison for interaction effect of mulch × irrigation × cultivar on seed yield of red kidney bean (M_0 no mulch and M_1 2 ton/h wheat straw mulch; I_1 and I_2 , irrigation after 60 and 120 mm evaporation from class A pan, respectively, different letters indicate significant difference at 5% probability level)

نتیجه گیری

بهتری روی سطح خاک ایجاد نموده ولی رقم اختر دارای فرم ایستاده بوده و کمتر سطح خاک را پوشش می دهد، در نتیجه کاربرد مالچ گندم در بین ردیف های لوبیا تأثیر بیشتری در ذخیره رطوبت و افزایش عملکرد داشته است. در شرایط تنش خشکی، کاربرد مالچ در ارقام مختلف لوبیا می تواند باعث افزایش رطوبت قابل دسترس و در نتیجه عملکرد دانه شود که در راستای کشاورزی پایدار خواهد بود.

به طور کلی می توان نتیجه گرفت که کاربرد مالچ کلش گندم باعث افزایش تعداد گره در ریشه لوبیا، اجزای عملکرد و عملکرد دانه لوبیا شد که احتمالاً به دلیل افزایش رطوبت قابل دسترس لوبیا بود. عکس العمل ارقام مختلف لوبیا به کاربرد مالچ گندم متفاوت بود به طوری که تأثیر مالچ گندم بر افزایش عملکرد رقم اختر بیشتر از رقم ناز بود. رقم ناز به دلیل داشتن فرم رشد نامحدود و رونده پوشش

References

- Achakzai, A. K. K. 2007. Electronic forum on biotechnology in food and agriculture. www.fao.org/biotech/logs/C14/130307.htm.
- Acosta, D., Shibata, K., Acosta -Gallegos, J., and Alberto, J. 1997. Yield and its components in bean under drought conditions. *Agricultural Tecnica en Mexico* 23: 139-150.
- Armat, R. 1995. Evaluating the effects of black plastic mulch application in cowpea production on commercial and cultural features and its growth, yield, yield components and quality. Msc Thesis. Azad University of Karaj, Iran. (in Persian with English abstract).
- Baghaili, N. 1998. Evaluating the effects of water deficit stress at different growth stages on yield and yield components of three pinto bean cultivars. Msc Thesis. Azad University of Karaj, Iran. (in Persian with English abstract).
- Bayat, A. A., Sepehri, A., Ahmadvand, G., and Dorri, H. R. 2010. Effect of water deficit stress on yield and yield components pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences* 12: 42-54. (in Persian with English abstract).
- Behboudian, M. H., Ma, Q., Turner, N. C., and Palta, J. A. 2001. Reactions of chickpea to water stress: yield and seed composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81: 1288-1291.
- Boutraa, T., and Sanders, F. E. 2001. Influence of water stress on grain yield and vegetative growth of two cultivars of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science* 187: 251-257.

8. Buttery, B. R., Tan, C. S., Buzzell, R. L., Gaynor, J. D., and Mactavish, D. C. 1993. Stomatal numbers of soybean and response to water stress. *Plant and Soil* 149: 283-288.
9. Emam, Y., Shekoofa, A., Salehi, F., and Jalali, A. H. 2010. Water stress effects on two common bean cultivars with contrasting growth habits. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 9: 495-499.
10. Firak, N. N., Bangal, G. B., and Gatal, G. B. 1991. Soil moisture conservation efficiency of mulches in tomato. *Maharashtra Journal of Horticulture* 5: 83-87.
11. German, C. 2004. Utilization and determination of water use efficiency (WUE) in the selection of drought tolerant common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. Plant Science Seminar. University Idaho.
12. Ghassemi, F., Jakeman, A. J., and Nix, M. A. 1995. Salinization of land and water resources. University of New South Wales Press LTD Sydney, 526 pp.
13. Hafiz, F. Y., Shah, N. H., and Malik, K. A. 2000. Field evaluation of lentil cultivars inoculated with *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* strains for nitrogen fixation using nitrogen -15-isotope dilution. *Biology and Fertility of Soils* 31: 65-69.
14. Jafarzadeh, A. A., Neyshabouri, M. R., and Oustan, S. 1998. Final report of research project of study the 26 hectares of fields and soils of Karaj Research Station. University of Tabriz. (in Persian with English abstract).
15. Jalini, M. 2011. Evaluating the effects of different levels of water and plastic mulch on yield and water use efficiency of tomato in surface and sub-surface drip irrigation method. *Journal of Water and Soil* 25 (5): 1025-1032. (in Persian with English abstract).
16. Kar, G., and Kumar, A. 2007. Effects of irrigation and straw mulch on water use and tuber yield of potato in Eastern India. *Agricultural Water Management* 94: 109-116.
17. Kirda, P., Moutonnet, C., Hera, K., and Nielsen, D. R. 1989. Crop yield response to deficit irrigation. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London. pp. 21-38.
18. Korir, N. K., Aguyohj, N., and Gaoqiong, L. 2006. Enhanced growth and yield of greenhouse produced cucumber under high altitude areas of Kenya. *Agricultura Tropica ET Subtropica* 39: 321-327.
19. Liu, H. J., Kang, Y. H., and Liu, S. P. 2003. Regulation of field environmental condition by sprinkler irrigation and its effect on water use efficiency of winter wheat. *Transactions of CSAE*. 19: 46-51.
20. Machado Neto, N. B., and Durães, M. A. B. 2006. Physiological and biochemical response of common bean varieties treated with salicylic acid under water stress. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 6: 269-277.
21. Maroco, J. P., Pereira, J. S., and Chaves, M. M. 2000. Growth, photosynthesis and water-use efficiency of two C4 sahelian grasses subjected to water deficits. *Journal of Arid Environments* 45: 119-137.
22. Martinez, J. P., Silva, H., Ledent, J. F., and Pinto, M. 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy* 26: 30-38.
23. Misirli, A., Topuz, F., and Zeybekoglu, N. 1998. Research on variation of female and male figs in terms of leaf properties and stomatal distribution. *Horticultural Science* 480: 129-132.
24. Moradi, A. 2005. Physiological response of mung bean to high and moderate drought stress at different growth stages. Msc. Thesis. University of Tehran, Iran. (in Persian with English abstract).
25. Parsa, M., and Bagheri, A. 2008. Pulses. Jihad Daneshghahi Mashhad Press. (in Persian).
26. Pirboneh, H., Ghasemi, M., Abdzad Gohari, A., Bahari, B., and Babaei Bazkiyaei, Z. 2012. Effect of irrigation and straw mulch on yield and yield components of eggplant (*Solanum melongena* L.). *International Journal of Basic and Applied Sciences* 3: 46-51.
27. Sing, S. H. 2007. Drought resistance in the Race Durango dry bean landrace and cultivars. *Agronomy Journal* 99: 1919-1225.
28. Singh, B. D. 2000. Plant Breeding: Principles and methods. Kalyani Publishers. pp. 869.
29. Szilagyi, L. 2003. Influence of drought on seed yield components in common bean. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 8: 320-330.
30. Teran, H., and Singh, S. P. 2002. Comparison of source and lines selected for drought resistance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Crop Science* 42: 64-70.
31. Wakrim, R., Wahbi, S., Tahi, H., Agachich, B., and Serrah, R. 2005. Comparative effects of partial root drying and regulated deficit irrigation on water relations and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 106: 275-287.
32. Westerman, D. T., and Crothers, S. E. 1977. Plant population effects on the seed yield components of beans. *Crop Science* 17: 493-496.
33. Yang, H. M., and Wang, G. X. 2001. Leaf stomatal densities and distribution in *Triticum aestivum* under drought and CO₂ enrichment. *Acta Phytoecologica Sinica* 25: 312-316.
34. Zhang, S. L., Lövdahl, L., Grip, H., Tong, Y. A., Yang, X. Y., and Wang, Q. J. 2009. Effects of mulching and catch cropping on soil temperature, soil moisture and wheat yield on the Loess Plateau of China. *Soil Tillage Research* 102: 78-86.
35. Zhu, J. K. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Biology* 53: 247-316.



Effect of Mulch and Water Stress on Some Physiological Traits, Yield Components and Grain Yield of Red Kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.)

R. Amini^{1*} - A. Dabbagh Mohammadi-Nasab² - E. Ghalandarzadeh³

Received: 04-01-2014

Accepted: 03-01-2015

Introduction

Water use in agricultural production as one of the most important environmental factors affecting plant growth and development, especially in arid and semi-arid climatic conditions of Iran is of special importance (21). One of the ways of alleviating water scarcity is by enhancing its use efficiency or productivity. Improving water use efficiency in arid and semi-arid areas depends on effective conservation of moisture and efficient use of limited water. Mulching is one of the management practices for increasing water use efficiency (WUE). Straw mulch is commonly used as mulch. Straw mulching has potential for increasing soil water storage (16). Mulches modify the microclimate and growing conditions of crops (16), conserve more water and increase water use efficiency (34).

Red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the most important food legume (25) and is an important source of proteins and minerals (28). The majority of red kidney bean production is under drought conditions, and thus yield reductions due to drought are very common (29). This research was carried out to evaluate the effect of wheat straw mulch and water stress on physiological traits, yield components and grain yield of red kidney bean cultivars.

Materials and Methods

A field experiment was conducted in 2012 at the Research Farm of the Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran (latitude 38°05'_N, longitude 46°17'_E, altitude 1360 m above sea level). In order to investigate the effect of mulch on grain yield and yield components of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars at different water stress treatments, a factorial experiment was conducted based on RCB design with three replications. The factors were including water stress treatment (I₁ and I₂, irrigation after 60 and 120 mm evaporation from class A pan, respectively); mulch application at two levels (M₁: (no mulch) and M₂: 2 ton ha⁻¹ wheat straw mulch) and red kidney bean cultivars including Akhtar and Naz.

Results and Discussion

The results indicated that the effects of water stress, mulch, cultivar and interaction of water stress × cultivar were significant on nodule number per plant. The results of mean comparison indicated that mulch application increased nodule number per plant by 17%. This result indicates that mulch increased the soil moisture and finally improved the activity of *Rhizobium*. In water stress treatment the nodule number per root of both cultivars reduced but the reduction in cv. Naz was greater than that of cv. Akhtar.

Analysis of variance indicated that the effects of water stress, cultivar and water stress × cultivar was significant on leaf stomata density. At water stress treatment (I₂) the leaf stomata density increased by 7% but increasing in cv. Akhtar was greater than cv. Naz. One reason for increasing the leaf stomata density at water stress condition could be the reduction in cell size that led to increasing the leaf stomata density.

The effects of water stress, mulch, cultivar and water stress × cultivar was significant on pods per plant. The mulch application increased the pods per plant by 13 %. The interaction effect of water stress × cultivar showed that the reduction of pods per plant in cv. Akhtar (27%) was greater than that of cv. Naz (20%). The cv. Naz had an indeterminate growth pattern and was able to compensate the reduction in pods per plant at later growth stages.

The effects of water stress, mulch, cultivar and water stress × cultivar was significant on 100-grains weight.

1- Associate Professor, Department of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2- Professor, Department of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3- Post Graduate Student, Department of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

(*- Corresponding Author Email: r_aminei@tabrizu.ac.ir)

The 100-grain weight of red kidney bean increased in mulch application treatment by 6%. The explanation for increasing of 100-grains weight could be attributed to improving the water availability and photosynthesis rate by mulch application. The interaction effect of water stress $\times$ cultivar showed that in both water stress treatments the cv. Akhtar had higher 100-grain weight than cv. Naz and the reduction percentage in cv. Naz was greater than that of cv. Akhtar. This result could be related to the longer growth period of cv. Naz than cv. Akhtar.

The effects of water stress, mulch, cultivar and the all interaction effects were significant on red kidney bean grain yield. The mulch application increased the grain yield by 18%. The effect of water stress $\times$ mulch $\times$ cultivar indicated that the cv. Akhtar in full irrigation treatment and application of straw mulch had the highest grain yield (3135 kg ha^{-1}). Also the cv. Naz in water stress treatment and application of without mulch application had the lowest grain yield (1340 kg ha^{-1}). The cv. Akhtar had a bush type growth pattern and a lower green cover than cv. Naz, therefore mulch application on the soil surface could increase the available water for red kidney bean.

Conclusions

At water limitation conditions by mulch application, the available water, yield components and grain yield of red kidney bean could be increased. Under drought and aridity conditions, field management practices such as selecting high-yielding cultivars and reducing soil evaporation by using of mulch increased the grain yield especially in water limitation condition. Investigating the response of other common bean cultivars to water stress and mulch could be effective for identifying the common bean cultivars with high grain yield at water stress condition with mulch application that is consistent with sustainable agriculture.

Keywords: Cultivar, Grain weight, Irrigation level, Pod number, Stomata density

بررسی اثرات کودهای زیستی حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده غیرهمزیست نیتروژن و حل‌کننده فسفات بر روی صفات کمی و کیفی گندم (*Triticum aestivum*)

محمود مهتدی^{۱*} - محمد جواد میرهادی^۲ - علی چراتی^۳ - مجید بهادری^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۷

چکیده

حفظ محیط زیست و دستیابی به توسعه فراگیر از اهداف مهم کشاورزی پایدار محسوب می‌شود بنابراین روشی که بتواند از مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی بکاهد ضروری به نظر می‌رسد. هدف این پژوهش ارزیابی تأثیر ریز جانداران محرک رشد گیاه و اثر سیستم‌های تغذیه تلفیقی-شیمیایی و باکتریایی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد پروتئین دانه گندم لاین N8019 بود. آزمایش طی سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه پژوهشی ایستگاه تحقیقات زراعی بایع کلا وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران اجرا شد. این بررسی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت کرت‌های خرد شده با ۱۲ تیمار و در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل کود شیمیایی (نیتروژن و فسفر) به عنوان عامل اصلی در سه سطح: ۱- بدون مصرف (C₀) - ۲ برابر ۵۰٪ توصیه کودی (C₁) - ۳ معادل ۱۰۰٪ توصیه کودی (C₂) و دو نوع کود بیولوژیک هر کدام حاوی ریز جانداران حل‌کننده فسفات و تثبیت‌کننده نیتروژن به عنوان عامل فرعی در چهار سطح ۱- بدون تلقیح (B₀) - ۲ بذور تلقیح شده با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (B₁) - ۳ بذور تلقیح شده با باکتری‌های حل‌کننده فسفات (B₂) - ۴ مصرف توأم کودهای زیستی (B₃)، نتایج حاصل از تجزیه واریانس آزمایش نشان داد که اثر تیمارهای مختلف شامل مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و کودهای بیولوژیک بر عملکرد و میزان پروتئین دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اما بیشترین تأثیر بر روی اجزای یادشده در تیمار ترکیبی (۱۰۰ درصد کود شیمیایی + کودهای بیولوژیک) و اثرات متقابل آنها با میزان عملکرد ۵۵۰۶ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که این افزایش عملکرد حاصل افزایش اجزای عملکرد نظیر تعداد سنبله در هر بوته، تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه بود. بنابراین خصوصیات کمی و کیفی گندم در سیستم تلفیقی (کود زیستی و شیمیایی) نسبت به زمانی که به تنهایی استفاده می‌شود نتیجه بهتری داشته است.

واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، کودهای بیولوژیک، کود شیمیایی

مقدمه

علاوه بر کمیت، کیفیت آن نیز مهم می‌باشد و اگر میزان پروتئین دانه گندم به‌طور متوسط ۱۲ درصد در نظر گرفته شود میزان پروتئین گیاهی حاصل از ۱۵ میلیون تن مصرف سالانه کشور ۱/۸ میلیون تن در سال خواهد شد که این مقدار پروتئین از طریق مصرف نان می‌تواند در تأمین پروتئین مورد نیاز مردم نقش اساسی داشته باشد (۲۱). به همین دلیل گندم به‌عنوان یکی از محصولات اساسی کشاورزی دارای اهمیت ویژه‌ای بوده و تأمین این محصول برای جوامعی مانند ایران که جایگاه خاصی در الگوی تغذیه دارد به معنی ایجاد امنیت غذایی می‌باشد (۲۳). در این رابطه توجه جدی به بوم نظام‌های زراعی از اهداف اصلی مدیریت پایدار است در کشاورزی تجاری تمرکز بر اساس افزایش تولید در واحد سطح و افزایش انرژی وارده به مزرعه از طریق کودهای شیمیایی و سموم آفات نباتی بدون توجه به روابط پیچیده جانداران با یکدیگر و با محیط می‌باشد. در مقابل دیدگاه کشاورزی پایدار مبتنی بر نگرش سیستمی و تأکید اساسی و توأم ضمن حفظ

گندم معمولی (*Triticum aestivum*) در محدوده وسیعی از شرایط آب و هوایی جهان رشد می‌کند و در حقیقت این گیاه سازگارترین گونه‌های غلات است. اراضی زیادی در سرتاسر جهان در مقایسه با سایر گیاهان زراعی به کشت آن اختصاص داده شده است زیرا گندم غذای اصلی انسان است که به‌طور مستقیم مورد مصرف قرار می‌گیرد (۲۴). براساس نقش تغذیه‌ای گندم در سلامت افراد

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

(*) - نویسنده مسئول: (Email: m.mohtadi.263@gmail.com)

۲- دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۳- عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران

۴- محقق مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران

درصد افزایش یافته است (۱۶). تلقیح گندم بهاره با آزوسپیریلیوم و ازتوباکتر در شرایط گلخانه و مزرعه، عملکرد دانه را از ۸ تا ۳۲ درصد، نیتروژن کل دانه را از ۱۰ تا ۱۵ درصد و وزن هزار دانه را از ۱۳ تا ۲۳ درصد افزایش داده ولی نیتروژن کل اندام هوایی افزایش نیافته و میزان صرفه‌جویی در مصرف کود نیتروژنه در نتیجه تلقیح با آزوسپیریلیوم، به میزان ۳۰ درصد گزارش شده است (۱۶). در تحقیق دیگر اثر سویه‌های بومی ازتوباکتر بر رشد گندم مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق غیر از تثبیت نیتروژن، سنتز تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه در این امر مؤثر شناخته شده است (۱۷). نتایج تاها و همکاران (۳۴) نشان داد که تلقیح حل‌کنندگان فسفات با خاک‌های استریل، وزن خشک محصول، جذب فسفر و غلظت فسفر محلول خاک را افزایش می‌دهد. بانیک و دی (۴) گزارش کردند که اگرچه اضافه کردن این ریزموجودات لزوماً فسفر خاک را افزایش نمی‌دهند ولی استفاده از آنها به همراه کود دامی بسیار سودمند است. مولا و چادری (۲۲) پس از جداسازی باکتری‌های حل‌کننده فسفات از ریزوسفر گندم و چاودار (*Secale cereale*) نشان دادند که باکتری باسیلوس به‌طور معنی‌داری pH خاک را در شرایط استریل و غیراستریل کاهش می‌دهد و همچنین لینهوس و نچک (۱۹) تولیداکسین را یکی از مکانیسم‌های مؤثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات در بهبود رشد و افزایش عملکرد گیاه ذکر کردند. هدف اصلی از این بررسی، مطالعه امکان کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفره و نیتروژنه با استفاده از کودهای بیولوژیک به‌عنوان مکمل در تغذیه زراعت گندم برای نیل به توسعه پایدار در بخش تولید محصولات کشاورزی در کشور بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش طی سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات زراعی بایع کلا وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران واقع در شرق استان از توابع شهرستان نکاء با مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و در ارتفاع ۱۶ متری از سطح دریا اجرا شد. براساس داده‌های هواشناسی اداره کل هواشناسی استان مازندران، ایستگاه تحقیقات زراعی بایع کلا دارای تابستان‌های گرم و مرطوب و زمستان‌های نسبتاً سرد و مرطوب و دارای مجموع بارندگی سالانه ۹۵۹ میلی‌متر می‌باشد. قبل از شروع آزمایش به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از محل اجرای طرح به عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری شد که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است.

پایداری بوم نظام‌های زراعی به حداکثر رساندن عملکرد و افزایش محصول با هدف تولید غذای سالم و فرآوری شده شناسه‌دار می‌باشد (۱۰). سینگ و کاپور (۳۳) اظهار داشتند جهت افزایش تولید محصولات کشاورزی در واحد سطح عملیات زراعی متعددی نظیر مصرف کودهای شیمیایی صورت می‌گیرد که نتیجه این فعالیت‌ها طی سالیان اخیر بحران آلودگی‌های زیست محیطی به‌ویژه آلودگی منابع خاک و آب بوده که زنجیره‌وار به منابع غذایی انسان‌ها راه یافته و سلامت جامعه بشری را مورد تهدید قرار داده است. به همین منظور تلاش‌های گسترده‌ای با هدف یافتن راهکارهای مناسب برای بهبود کیفیت خاک، محصولات کشاورزی و حذف آلاینده‌ها آغاز شده است که امروزه با عنوان مدیریت پایدار در بوم نظام‌های زراعی (کشاورزی پایدار) مطرح می‌باشد (۳). در بین ریز جانداران خاک که توانایی تبدیل شدن به کود زیستی را دارند می‌توان به باکتری‌های ریزوسفری اشاره کرد باکتری‌های منطقه ریزوسفر را اصطلاحاً ریزوباکتر می‌نامند انواع ریزوباکترهایی که بر روی رشد و عملکرد گیاه اثرات مثبت دارند اصطلاحاً ریزوباکترهای محرک رشد گیاه (PGPR) اطلاق می‌شود که شامل جنس‌های (*Bacillus -Azospirillum -Azotobacter -SerratiaArthrobacter -Clostridium -Enterobacter*

Pseudomonas) می‌باشد (۱۱). سازوکارهای متعددی برای توضیح چگونگی تأثیر باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه بر رشد و نمو گیاهان شناخته شده‌اند که این سازوکارها را به‌طور کلی می‌توان شامل دو گروه مستقیم و غیرمستقیم دانست (۳۷). در حالت مستقیم انواع PGPR با استفاده از مکانیسم‌های تثبیت زیستی نیتروژن، افزایش جذب و فراهمی یا محلول کردن عناصر غذایی، تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، تولید سیدروفورهای کلاته‌کننده آهن و محلول ساختن فسفات باعث تحریک و افزایش رشد گیاهان می‌شوند (۳۱). در حالت غیرمستقیم با استفاده از مکانیسم‌های مختلف آنتاگونیستی اثرات مضر بیمارگرهای گیاهی را خنثی یا تعدیل نموده و بدین طریق موجب افزایش رشد گیاه می‌شوند. رقابت برای جذب مواد و اشغال جایگاه‌های مناسب برای فعالیت پاتوژن‌ها، تولید آنتی‌بیوتیک، آنزیم‌های لیتیک و تولید سیانید هیدروژن (HCN) از مهمترین مکانیسم‌های مورد استفاده در این روش می‌باشد (۱۸).

براساس نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده و با شرایط انتخابی مانند تعداد باکتری‌های موجود در مایه تلقیح، مقدار ماده آلی و معدنی خاک، مخلوط کردن سویه‌های مختلف و نوع گیاه میزبان، افزایش عملکردی از ۱۰ تا ۳۰ درصد در عملکرد دانه و وزن خشک گیاهان گندم، ذرت (*Zea mays*) و سورگوم (*Sorghum bicolor*) در نتیجه تلقیح با آزوسپیریلیوم گزارش شده است (۱۶). با تلقیح بذر توسط آزوسپیریلیوم برازیلنس، عملکرد دانه برنج به میزان ۱۶/۷، گندم ۲۱/۸، جو ۲۶/۶، سورگوم ۲۶/۸ تا ۸۱/۳، یولاف ۴۳/۸ و ارزن ۶۶/۲۵

جدول ۱- نتایج فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای طرح

Table 1- Results of soil physicochemical site plan

بافت Textur	K (available) mg kg ⁻¹	P (available) mg kg ⁻¹	O.C (%)	O.M (%)	N (%)	T.N.V (%)	EC ds m ⁻¹	pH
رسی - سیلتی Cilty-Clay	377	8.3	1.06	1.83	0.127	28	0.84	7.8

O.C= Organic Carbon
O.M= Organic MaterialT.N.V=Total Neutralizing Value
EC= Electrical Conductivity

استفاده شد. کلیه عملیات داشت از قبیل وجین و مبارزه با علفهای هرز و بیماریها بهطور یکنواخت در کلیه کرت صورت گرفت. صفات اندازهگیری شده قبل از برداشت شامل سطح برگ در دو مرحله شروع و خاتمه پر شدن دانه و برای محاسبه سطح برگ با جدا کردن برگ نمونههای برداشت شده و اندازهگیری سطح برگ توسط دستگاه تعیین سطح برگ (Leaf Area Meter LI-31000, LI-COR,) (Lincoln, NE استفاده گردید. برای محاسبه شاخص سطح برگ از معادله $LAI = ([LAI_1 / A_1] + [LAI_2 / A_2]) / 2$ استفاده گردید.

LAI_1 : میزان سطح برگ نمونه اول، LAI_2 : میزان سطح برگ

نمونه دوم، A_1 : سطح نمونه برداری در مرحله اول، A_2 : سطح نمونه برداری در مرحله دوم. برای محاسبه شاخص سطح برگ با استفاده از فرمول فوق از میانگین دو مرحله استفاده شده است. بعد از برداشت شامل ارتفاع بوته، تعداد سنبله در هر بوته، تعداد بوته در مترمربع، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت و میزان نیتروژن و پروتئین دانه بود. برای تعیین تعداد بوته در مترمربع سطحی معادل دو مترمربع از وسط کرت انتخاب و تعداد بوته در دو مترمربع شمارش سپس میانگین آن برای یک مترمربع محاسبه گردید. برای شمارش تعداد بوته، در مرحله رسیدگی کامل بهمنظور تعیین وزن هزاردانه و سایر عوامل، بوته را کف بر کرده و تعداد بوته را پس از هر مرحله کف بر کردن از ناحیه طوقه، شمارش و سپس مجموع آنها را در پایان در سطح دو مترمربع شمارش می کنیم برای اندازه گیری عملکرد بیولوژیک و اقتصادی از هر کرت با حذف حاشیه ها از چهار طرف بر انتخاب دو مترمربع از وسط کرت تعداد کل بوته های باقیمانده کف بر شده و با احتساب رطوبت ۱۴ درصد دانه ها، وزن کل بوته ها توزین و عملکرد آن محاسبه گردید. سپس، دانه ها از سنبله ها جدا و با محاسبه رطوبت ۱۴ درصد دانه های به دست آمده توزین و میزان عملکرد آن در هکتار محاسبه گردید. تجزیه آماری داده های آزمایشی با استفاده از نرم افزار MSTATC صورت گرفت و برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح پنج درصد و یک درصد استفاده شد.

نوع طرح مورد استفاده کرت های یک بار خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با ۳ تکرار و ۱۲ تیمار بود. در این آزمایش عامل کود شیمیایی با ۳ سطح به عنوان کرت اصلی با نماد (C) و عامل کود بیولوژیک با چهار سطح به عنوان کرت فرعی با نماد (B) در نظر گرفته شده است. عامل اصلی کود شیمیایی در ۳ سطح شامل: C_0 : بدون مصرف کود شیمیایی، C_1 : برابر نصف توصیه کودی براساس نتایج آزمون خاک (0.5R)، C_2 : برابر توصیه کامل کودی براساس نتایج آزمون خاک (R). میزان مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر براساس نتایج آزمون خاک و حد بحرانی توصیه شده برای گیاه توسط مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شامل نیتروژن از منبع اوره به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و سوپر فسفات تربیل به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده است (به دلیل بالا بودن پتاسیم خاک، کود پتاسیم مصرف نگردید) کل کود شیمیایی فسفر و $\frac{1}{3}$ کود نیتروژن قبل از کاشت مصرف شد و سپس به وسیله دیسک با خاک مخلوط گردید. مابقی کود نیتروژن به صورت سرک در دو مرحله ($\frac{1}{3}$ در زمان ظهور ساقه و $\frac{1}{3}$ در مرحله قبل از گلدهی) مصرف شد. عامل فرعی کود بیولوژیک در چهار سطح شامل: B_0 : بدون مصرف کود بیولوژیک، B_1 : باکتری های تثبیت کننده نیتروژن (B_2 (NFB)، باکتری های حل کننده فسفات (B_3 (PSB)، تلقیح توأم باکتری های (NFB) و (PSB) بود براساس دستورالعمل شرکت سازنده میزان مصرف کود زیستی حاوی باکتری های تثبیت کننده نیتروژن (NFB) یک لیتر و میزان مصرف کود زیستی حاوی باکتری های حل کننده فسفات (PSB) ۱۰۰ گرم برای ۲۰۰ کیلوگرم بذر گندم در هکتار می باشد. مصرف کلیه کودهای زیستی به صورت بذرمال قبل از کاشت بود. پس از انجام نمونه برداری و تجزیه خاک و شخم و دیسک زمین محل اجرای آزمایش، اقدام به اجرای نقشه طرح شد مساحت هر کرت ۱۰ مترمربع به ابعاد ۲/۵×۴ متر شامل ۱۲ خط کاشت که فاصله ردیف ها ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شده است. برای کاشت از گندم لاین N-80-19 به میزان ۱۵۰ کیلوگرم (بذور تلقیح شده) در هکتار و متوسط ۵۰۰ بذر در مترمربع

1- Split Plot

2- Nitrogen Fixing Bacteria

3- Phosphate Solubilizing Bacteria

جدول ۲- مشخصات کودهای بیولوژیک مورد استفاده

Table 2- Specifications biofertilizers used

نوع کود زیستی Kind of biological fertilizer	باکتری‌های فعال در کود Bacteria active in fertilizer	جمعیت تقریبی زنده و فعال Approximate population alive and active
باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن Nitrogen fixing bacteria	<i>Azotobacter chroococum</i> ازتوباکتر کروکوکوم <i>Azospirillum brasilense</i> آزوسپیریلیوم برازیلنس	10^8 در هر میلی لیتر CFU/ml
باکتری‌های حل‌کننده فسفات Phosphate solubilizing bacteria	<i>Pseudomonas Potida Strain P13</i> سودوموناس پوتیدا <i>Pantoea agglomerace Strain P5</i> پانتوآ آگلومرانس	10^8 در هر میلی گرم CFU/mg

* (لازم به توضیح است جنس پانتوآ آگلومرانس *Pantoea agglomerace* قبلاً به نام *Enterobacter agglomerans* بوده است).

نتایج و بحث

عملکرد دانه

عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف کود شیمیایی و بیولوژیک قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات ساده نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با مصرف توصیه کودی (۵۰۵۵ کیلوگرم در هکتار) در تیمار C_2 و کمترین آن مربوط به تیمار بدون مصرف کود شیمیایی (۳۲۰۵ کیلوگرم در هکتار) در تیمار C_0 به‌دست آمده است (جدول ۴). با بررسی جدول ۵ مشاهده می‌شود که عملکرد دانه شدیداً تحت تأثیر اثرات متقابل کودهای شیمیایی و بیولوژیکی بوده است به‌طوری‌که بیشترین تأثیر در افزایش عملکرد دانه به مقدار ۵۵۰۶ کیلوگرم در تیمار (C_2B_3) کاربرد توأم کودهای شیمیایی و کودهای بیولوژیک (PSB+NFB) به‌دست آمد که اختلاف آماری معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد (C_0B_0) داشته است.

ریزجانداران خاک مثل باکتری‌های حل‌کننده فسفات در فرآیند تنفس خود با ساخت اسیدهای آلی مانند (فرمیک، استیک، پروپیونیک، لاکتیک، گلیکولیک، فوماریک، سوکسینیک و سیتریک) و به‌ویژه اسیدهای لاکتیک و سیتریک به دو طریق یکی از طریق کاهش pH در منطقه ریزوسفر و دیگری از طریق کلاته کردن یون‌های کلسیم در خاک‌های قلیایی مثل خاک محل آزمایش، باعث حلالیت کانی‌های فسفات کلسیم و متعاقب آن آزادسازی عناصر میکرو مانند روی، بر، آهن، منگنز می‌شوند که همین امر موجب افزایش جذب و گسترش رشد ریشه و افزایش ضریب تلقیح گل‌ها و پرشدن دانه شده و رشد کمی و کیفی گندم را تقویت می‌کند که نتیجه آن به‌صورت افزایش عملکرد نمایان می‌گردد.

عملکرد در گندم تابع عواملی مانند طول دوره رشد، سرعت و ارتباط بسیاری از فرآیندهای حیاتی در مراحل نمو گیاهی است و هیچ فرآیندی به تنهایی کلید دسترسی به حداکثر پتانسیل عملکرد را در اختیار نمی‌گذارد با این حال فرآیند رشد و نمو نظیر سیستم ریشه‌ای گسترده، سرعت رشد بالا در طول مرحله رویشی، تشکیل مخزن با

بهره‌وری بهتر، اندازه مخزن بیشتر، انتقال بیشتر کربوهیدرات‌ها از قسمت‌های رویشی گیاه به سنبله‌ها و شاخص سطح برگ بالاتر در طول پر شدن دانه باعث افزایش عملکرد بالای دانه در ارقام پر محصول و هیبرید محصولات زراعی می‌شود (۱، ۲ و ۳۶). به نظر می‌رسد افزایش تثبیت نیتروژن و ترشح فیتوهورمون‌ها و در نتیجه آن افزایش جذب عناصر غذایی توسط ریشه به واسطه توسعه سیستم ریشه‌ای موجب افزایش عملکرد دانه شد (۳۵). باکتری‌های سودوموناس پوتیدا و پانتوآ آگلومرانس، ازتوباکتر کروکوکوم و آزوسپیریلیوم برازیلنس به‌عنوان یک باکتری ترشح‌کننده مواد محرک رشد (PGPR) می‌تواند اثرات مفیدی علاوه بر قابلیت جذب فسفر و تثبیت نیتروژن در گیاه داشته باشند. این باکتری‌ها افزایش جذب و فراهمی یا محلول کردن عناصر غذایی در محیط خاک اطراف ریشه، تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه، افزایش مقاومت نسبت به تنش‌ها، فعالیت از طریق مجموعه‌ای از سازوکارها، همین‌طور ترشح اسیدهای آلی، افزایش غلظت عناصری مثل آهن، روی و سایر ریز مغذی‌ها، نیاز گیاه به آنها را تأمین نموده و نهایتاً در افزایش عملکرد دانه گیاه مؤثر باشد (۴ و ۱۴). نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای انجام شده در تلقیح بذر گندم باعث افزایش تعداد سنبله‌ها در سنبله گردید. تلقیح بذر گندم با سویه nir آزوسپیریلیوم لیپوفروم و ازتوباکتر و سودوموناس همراه با کاربرد ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش عملکرد دانه به میزان ۳۰ درصد شده است و با کاربرد ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار افزایش عملکرد دانه به ۳۶ درصد رسیده است (۱۶).

ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ

ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف کود شیمیایی و بیولوژیک قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان می‌دهد که بیشترین ارتفاع و بالاترین شاخص سطح برگ در عامل اصلی یعنی مصرف کودهای شیمیایی مربوط به تیمار برابر ۱۰۰ درصد توصیه کودی و کمترین آن مربوط به بدون مصرف کود شیمیایی و همچنین بیشترین ارتفاع و بیشترین شاخص سطح برگ مربوط به مصرف توأم

شیمیایی و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن دارای اثرات هم افزایی بوده و افزایش تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، تعداد بوته در مترمربع و وزن هزاردانه را به دنبال دارد که بیانگر یک نوع ارتباط مستدل فیزیولوژی است. در این رابطه گسترل و نلسون (۹)؛ مک آدام و همکاران (۲۰) گزارش دادند افزایش تعداد پنجه‌های بارور و سنبله در بوته به شاخص جذب نیتروژن^۱ (NNI) گیاه و افزایش سطح برگ و تاج پوشش بستگی دارد که باعث گسترش برگ‌های منفرد و پنجه‌دهی در گندم می‌شود و همچنین میزان ظهور برگ‌ها و عمر برگ‌ها افزایش می‌یابد و با افزایش میزان نیتروژن در گیاه، تجمع کربوهیدرات‌های ساختمانی در برگ‌ها و ساقه‌ها افزایش و نهایتاً پنجه‌دهی و ظهور سنبله‌های بارور در گیاه را موجب می‌شود و نیز برخی پژوهندگان معتقدند اثرات هم افزایی و یا سینرژیستی به‌وسیله ریزوباکترهای محرک رشد مستقیماً باعث تغییرات مشخص در مورفولوژی ساقه، نظیر افزایش پنجه‌زنی و تعداد پنجه‌های بارور و تعداد دانه در سنبله و نهایتاً عملکرد می‌شوند (۲۵).

وزن کاه و عملکرد بیولوژیک

وزن کاه و عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف کود شیمیایی و بیولوژیک قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان می‌دهد که بیشترین وزن کاه و عملکرد بیولوژیک در عامل اصلی یعنی مصرف کودهای شیمیایی مربوط به تیمار برابر ۱۰۰ درصد توصیه کودی و کمترین آن مربوط به عدم مصرف کود شیمیایی و همچنین بیشترین وزن کاه و عملکرد بیولوژیک مربوط به مصرف توأم باکتری‌های PSB+NFB و پایین‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد (بدون مصرف کودهای بیولوژیک) بود (جدول ۴). بررسی اثرات متقابل کودهای شیمیایی و کودهای بیولوژیک نشان داد با مصرف برابر ۱۰۰ درصد توصیه کودی به همراه کودهای بیولوژیک (PSB+NFB) افزایش معنی‌داری را در وزن کاه و عملکرد بیولوژیک در مقایسه با شاهد داشته‌اند (جدول ۵). این مسئله اختصاص بیشتر نیتروژن و فسفر به کل زیست توده (کاه و کلش + عملکرد اقتصادی) موجود در سطح زمین بوده است و افزایش زیست توده ارتباط مستقیم با کارایی مصرف نیتروژن (NUE) دارد از دیدگاه هایرل و همکاران (۱۲) کارایی مصرف نیتروژن و واکنش گیاه به نیتروژن کل (N_{tot}) شامل کود نیتروژن دار (N_{fert}) و نیتروژن خاک (N_{soil}) می‌باشد که از سه فرآیند تشکیل شده است ۱- ظرفیت گیاه برای استفاده از نیتروژن خاک ۲- ظرفیت گیاه برای استفاده از نیتروژن در تولید زیست توده ۳- توانایی گیاه برای تخصیص کربن و نیتروژن به دانه. هایروس و

باکتری‌های PSB+NFB و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد (بدون مصرف کودهای بیولوژیک) بود (جدول ۴). بررسی اثرات متقابل کودهای شیمیایی و کودهای بیولوژیک نشان داد با مصرف برابر ۱۰۰ درصد توصیه کودی به همراه کودهای بیولوژیک (PSB+NFB) افزایش معنی‌داری را در ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ در مقایسه با شاهد داشته‌اند (جدول ۵). در غلات مصرف نیتروژن باعث تولید شدن ساقه و ارتفاع گیاه و به دنبال آن افزایش حجم و کانوپی گیاه و نهایتاً عملکرد می‌شود. این تغییر در شکل ظاهری اندام هوایی در شرایط تغذیه گیاه با نیترات شدیدتر از آمونیوم است. علت این امر تغییر در توازن هورمونی در گیاه است (۷). همچنین به نظر می‌رسد تأثیر هورمونی القاء شده در گیاه به‌وسیله آزوسپیریوم و ازتوباکتر مستقیماً باعث تغییرات مشخص در مورفولوژی ساقه و برگ نیز می‌شود (۵، ۲۶ و ۲۹). داسیلوا و استات (۶) طی آزمایشی نتیجه گرفتند که با افزایش مقدار نیتروژن، سطح برگ نیز افزایش می‌یابد. نتایج مشابهی توسط سایر محققین از جمله اشنایر و همکاران (۳۰)؛ صدر زاده و همکاران (۲۸) نیز گزارش شده است.

همچنین تلقیح گیاه با PSB, NFB باعث افزایش جذب k , NO_3^- و $H_2PO_4^-$ می‌شود بنابراین به نظر می‌رسد نسبت ریشه به ساقه افزایش پیدا می‌کند. این امر موجب می‌شود گیاه بهتر در خاک مستقر شده و به منابع محدود آب و عناصر غذایی ضروری دسترسی پیدا کند. افزایش جذب یون‌ها در اثر تلقیح گیاه می‌تواند نقش مهمی در افزایش رشد برگ‌ها داشته باشد. همچنین ترشح فیتوهورمون‌های مختلف مانند اکسین، سیتوکینین، جبریلین و ترکیبات ناشناخته توسط سوبیه‌های این باکتری‌ها سبب افزایش رشد طولی سلول‌ها و تقسیمات سلولی می‌شوند و بدین ترتیب افزایش شاخص سطح برگ قابل توجه می‌گردد (۱۵)

اجزاء عملکرد

اجزای عملکرد (تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، تعداد بوته در مترمربع و وزن هزاردانه) در سطح احتمال یک درصد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف کود شیمیایی و بیولوژیک قرار گرفتند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان می‌دهد که بالاترین مقادیر اجزای عملکرد در تیمارهای برابر توصیه کودی و کودهای بیولوژیک و کمترین آن مربوط به تیمار بدون مصرف کودهای شیمیایی و بیولوژیک (شاهد) بوده است (جدول ۴). بررسی اثرات متقابل کودهای بیولوژیک و شیمیایی نشان داد با مصرف ۱۰۰ درصد توصیه کودی به همراه کودهای بیولوژیک (PSB+NFB) در تیمار C_2B_3 اختلاف آماری معنی‌داری در اجزاء عملکرد در مقایسه با سایر تیمار و شاهد داشته‌اند (جدول ۵). بنابراین چنین استنباط می‌شود که میزان نیتروژن فراهمی برای گیاه از طریق کودهای

کمترین آن مربوط به بدون مصرف کود شیمیایی و همچنین بالاترین درصد نیتروژن و پروتئین دانه مربوط به مصرف توأم باکتری‌های PSB+NFB و پایین‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد (بدون مصرف کودهای بیولوژیک) بود (جدول ۴). بررسی اثرات متقابل کودهای شیمیایی و کودهای بیولوژیک نشان داد با مصرف برابر ۱۰۰ درصد توصیه کودی به همراه کودهای بیولوژیک (PSB+NFB) در تیمار C_2B_3 ، درصد نیتروژن برابر $2/48$ و پروتئین دانه برابر $14/1$ درصد بوده است که افزایش معنی‌داری را در مقایسه با شاهد داشته‌اند (جدول ۵). این مسئله نشان می‌دهد که با کاربرد کودهای بیولوژیک به‌ویژه وجود باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات و اثرات متقابل آنها باعث تثبیت بیشتر نیتروژن در محیط ریزوسفر خاک و افزایش جذب نیتروژن فراهمی توسط گیاه و اختصاص بیشتر آن به دانه شده است. این نتیجه می‌تواند بیانگر رابطه تقویت‌کنندگی^۳ ترکیب باکتری‌های مذکور با یکدیگر در جهت افزایش رشد ریشه و جذب موادغذایی توسط بوته‌های گندم باشد (۳۷). در آزمایشی تلقیح گندم بهاره با *آزوسپیریلیوم لیپوفرورم* و *ازتوباکتر کروکوکوم* در شرایط گلخانه و مزرعه، عملکرد دانه را از ۸ تا ۳۲ درصد، نیتروژن کل دانه را از ۱۰ تا ۱۵ درصد و وزن هزار دانه را از ۱۳ تا ۲۳ درصد افزایش داده و میزان صرفه‌جویی در مصرف کود نیتروژن به نتیجه تلقیح با *آزوسپیریلیوم* و *ازتوباکتر*، به میزان ۳۰ درصد گزارش شده است (۱۶). اثر نیتروژن روی شاخص برداشت محصولات زراعی (HI)^۴ مشخص می‌کند که HI منبع تغییر در عملکرد دانه در هر واحد جذب نیتروژن است. علاوه بر کارایی مصرف نیتروژن زراعی، شاخص برداشت نیتروژن (NHI)^۵ نیز در گیاهان دانه‌ای اهمیت زیادی دارد. NHI نشان‌دهنده میزان پروتئین است که در کیفیت تغذیه دانه اهمیت زیادی دارد (۳۲). بنابراین میانگین صفات مورد بررسی فوق نشان می‌دهد با افزایش راندمان مصرف نیتروژن، NHI نیز افزایش یافته که متعاقب آن افزایش معنی‌دار پروتئین دانه در تیمار (PSB+NFB) در ترکیب با کود شیمیایی بوده است. در یک حالت کلی نشان می‌دهد هرچه میزان عملکرد دانه افزایش داشته باشد میزان پروتئین دانه نیز افزایش داشته است. این مقدار با توجه به افزایش ذخیره نیتروژن در دانه یک رابطه مستقیم کمی نیز با افزایش عملکرد دانه دارد.

بازار (۱۳) نیز تخصیص بیشتر نیتروژن و کربن به ساقه و برگ و یا قسمت فوقانی تاج پوشش را مرتبط با مبادله بین RUE^1 و NUE^2 می‌دانند که موجب افزایش وزن خشک به‌ازای هر واحد نیتروژن جذب شده می‌گردد. در شرایط مزرعه‌ای، تلقیح گیاه گندم با *آزوسپیریلیوم* و *ازتوباکتر* باعث افزایش کاه از $1/5$ تا $1/7$ برابر، عملکرد دانه از $1/8$ تا $2/7$ برابر و نیتروژن کل از $1/2$ تا $1/3$ برابر شده است (۲۷).

شاخص برداشت

شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف کود شیمیایی و بیولوژیک قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان می‌دهد که بالاترین شاخص برداشت در عامل اصلی یعنی مصرف کودهای شیمیایی مربوط به تیمار برابر ۱۰۰ درصد توصیه کودی و کمترین آن مربوط به بدون مصرف کود شیمیایی و همچنین بالاترین شاخص برداشت مربوط به مصرف توأم باکتری‌های PSB+NFB و پایین‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد (بدون مصرف کودهای بیولوژیک) بود (جدول ۴). بررسی اثرات متقابل کودهای شیمیایی و کودهای بیولوژیک نشان داد با مصرف برابر ۱۰۰ درصد توصیه کودی به همراه کودهای بیولوژیک (PSB+NFB) در تیمار C_2B_3 ، شاخص برداشت برابر $44/2$ درصد افزایش معنی‌داری را در مقایسه با شاهد داشته‌اند (جدول ۵). شاخص برداشت نسبتی از عملکرد بیولوژیک است که عملکرد اقتصادی را نشان می‌دهد و یا به‌عبارت دیگر HI منبع تغییر در عملکرد دانه در هر واحد جذب نیتروژن است و با افزایش تسهیم ماده خشک برای عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت نیز افزایش پیدا می‌کند (۳۲). به بیان دیگر شاخص برداشت به‌عنوان یک صفت در صورتی می‌تواند معیار خوبی برای مقایسه تیمارها مدنظر قرار گیرد که عملکرد بیولوژیک گیاه ثابت بوده و کاهش نیافته باشد و در واقع افزایش آن به دلیل افزایش عملکرد دانه باشد، نه کاهش عملکرد بیولوژیک (۸). در مجموع افزایش تعداد سنبله در هر بوته، تعداد دانه در هر سنبله، تعداد بوته در مترمربع و وزن هزاردانه موجب افزایش شاخص برداشت شده است.

درصد نیتروژن و پروتئین دانه

درصد نیتروژن و پروتئین دانه در سطح احتمال یک درصد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف کود شیمیایی و بیولوژیک قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان می‌دهد که بیشترین درصد نیتروژن و پروتئین دانه در عامل اصلی یعنی مصرف کودهای شیمیایی مربوط به تیمار برابر ۱۰۰ درصد توصیه کودی و

3- Synergisti

4- Harvest Index

5- Nitrogen Harvest Index

1- Radiation Use Efficiency

2- Nitrogen Use Efficiency

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گندم تحت تأثیر مقدار کود شیمیایی و کود بیولوژیک
Table 3- Analysing of variance the traits of wheat under the influence of chemical and biological fertilizer

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	ارتفاع بوته Plant height	تعداد سنبله در بوته Number of spikes per plant	تعداد بوته در متر مربع Number of plants per square meter	شاخص سطح برگ Leaf area index	طول سنبله Spike length	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	وزن هزار دانه Thousand grain weight
بلوک Block	2	42 ^{ns}	0.003 ^{ns}	708 ^{ns}	0.027 ^{ns}	0.502 ^{ns}	216 ^{ns}	1.82 ^{ns}
کود شیمیایی Chemical fertilizer	2	88.4 ^{**}	1.06 ^{**}	171500 ^{**}	11.2 ^{**}	13.4 ^{**}	174 ^{**}	131 ^{**}
خطا Error	4	1.45	0.01	121	0.007	0.014	5.36	0.112
کود بیولوژیک Biological fertilizer	3	64.2 ^{**}	0.173 ^{**}	15059 ^{**}	0.465 ^{**}	0.745 ^{**}	21.1 ^{**}	9.64 ^{**}
کود بیولوژیک × شیمیایی Biological × Chemical	6	2.97	0.013 [*]	3157 ^{**}	0.016 [*]	0.027 [*]	9.74 ^{ns}	1.17 ^{**}
خطا Error	18	11.5	0.004	128	0.005	0.007	3.96	0.05
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)	-	4.34	3.15	1.81	1.71	1.91	5.9	1.57

ns, **, ** و * مطابق آزمون F به ترتیب عدم معنی دار و معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد
ns, **, ** and * According F test are nonsignificant and significant at 1 and 5% respectively

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گندم تحت تأثیر مقدار کود شیمیایی و کود بیولوژیک
Continuing Table 3- Analysing of variance the traits of wheat under the influence of chemical and biological fertilizer

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean squares					شاخص برداشت Harvest index	درصد نیتروژن Grain Nitrogen%	درصد پروتئین Grain Protein%
		عملکرد دانه Grain yield	وزن کاه Straw weight	بیولوژیک Biological yield	عملکرد Biological yield	برداشت Harvest index			
بلوک Block	2	1837652 ^{ns}	746141 ^{ns}	1738135 ^{ns}	0.132 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.199 ^{ns}		
کود شیمیایی Chemical fertilizer	2	10466993 ^{**}	1668155 ^{**}	14918443 ^{**}	131 ^{**}	0.867 ^{**}	27.5 ^{**}		
خطا Error	4	284999	40317	35507	0.112	0.003	0.083		
کود بیولوژیک Biological fertilizer	3	3161472 ^{**}	3385813 ^{**}	12488768 ^{**}	13 ^{**}	0.668 ^{**}	21.2 ^{**}		
کود بیولوژیک × شیمیایی Biological × Chemical	6	62989 ^{**}	251976 ^{**}	560708 ^{**}	1.51 ^{**}	0.083 [*]	2.61 ^{**}		
خطا Error	18	120367	249714	563262	1.08	0.002	0.065		
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)	-	8.25	8.15	7.16	1.69	2.30	2.23		

ns, **, and * According F test are nonsignificant and significant at 1 and 5% respectively
ns, **, and * مطابق آزمون F به ترتیب عدم معنی دار و معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد

جدول ۴- بررسی اثرات ساده کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر شاخص سطح برگ، اجزای عملکرد و عملکرد گندم

Table 4- Simple effects of chemical fertilizers and biological on Leaf area index, yield components and yield of wheat

سطح کود شیمیایی Level of chemical fertilizer	ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	تعداد سنبله در بوته number of spikes per plant	تعداد بوته در متر مربع Number of plants per square meter	شاخص سطح برگ Leaf area index	طول سنبله (سانتی متر) Spike length (cm)	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	وزن هزار دانه (گرم) Thousand grain weight (g)
C ₀	76.3c	1.67c	492c	3.09	8.1c	29.8c	36c
C ₁	77.4b	2.06b	675b	4.31b	9.4b	33.8b	40.5b
C ₂	81.5a	2.25a	716a	5a	10.1a	37.5a	42.5a
کود بیولوژیک Biological fertilizer							
B ₀	74.6d	1.83d	571c	3.83d	8.97d	32.5b	38.6d
B ₁	78.5c	1.94c	641b	4.11c	9.08c	33.1b	39c
B ₂	79.7b	2.07b	631b	4.23b	9.28b	33.3b	40.2b
B ₃	80.8a	2.14a	669a	4.36a	9.63a	36a	40.8a

در هر ستون و به طور جداگانه برای هر یک از اثرات اصلی کود شیمیایی و کود بیولوژیک، حروف لاتین مشابه طبق آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

In each column, and separately for each of the main effects of fertilizer and biofertilizer, similar Latin letters according to Duncan test at 5% difference is not significant.

C₀, C₁ and C₂, respectively, without the use of chemical fertilizers, 0.5R and R (fertilizer based on soil test)

PSB+NFB به ترتیب بدون کود بیولوژیک، مصرف باکتری های تثبیت کننده نیتروژن (NFB)، مصرف باکتری های آزادکننده فسفات (PSB) و تیمار ترکیبی

B₁, B₂ and B₃, respectively, without the use of biofertilizer, the use of nitrogen-fixing bacteria (NFB), the use of Phosphate Solubilizing Bacteria (PSB) and combined treatment PSB + NFB

ادامه جدول ۴- بررسی اثرات ساده کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر شاخص سطح برگ، اجزای عملکرد و عملکرد گندم
Continuing Table4- Simple effects of chemical fertilizers and biological on Leaf area index, yield components and yield of wheat

سطح کود شیمیایی Level of chemical fertilizer	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	وزن کاه (کیلوگرم در هکتار) Straw weight (kg ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg ha ⁻¹)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	درصد نیتروژن دانه Grain Nitrogen (%)	درصد پروتئین دانه Grain Protein (%)
C ₀	3205c	5770c	9275c	37.31c	1.76c	10c
C ₁	4348b	6114b	10713b	42.17b	1.96b	11.2b
C ₂	5055a	6515a	11471a	43.6a	2.29a	13a
کودبیولوژیک Biological fertilizer						
B ₀	3420d	5267c	8843d	39.4c	1.67d	9.55d
B ₁	4094c	6331b	10448c	41b	2.14b	12.2b
B ₂	4521b	6540a	11173b	41.2b	1.9c	10.8c
B ₃	4776a	6594a	11481a	42.3a	2.29a	13a

در هر ستون و به‌طور جداگانه برای هر یک از اثرات اصلی کود شیمیایی و کود بیولوژیک، حروف لاتین مشابه طبق آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
In each column, and separately for each of the main effects of fertilizer and biofertilizer, similar Latin letters according to Duncan test at 5% difference is not significant.
C₀, C₁ and C₂, respectively, without the use of chemical fertilizers, 0.5R and R (fertilizer based on soil test)
B₀, B₁, B₂ and B₃, respectively, without the use of biofertilizer, the use of nitrogen-fixing bacteria (NFB), the use of Phosphate Solubilizing Bacteria (PSB) and combined treatment PSB + NFB

نتیجه گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات و تثبیت کننده نیتروژن به صورت توأم و یا جداگانه باعث افزایش زیست توده کل گیاه، میزان نیتروژن و پروتئین دانه، اجزای عملکرد و در نتیجه عملکرد دانه گندم گردید ولیکن کاربرد توأم باکتری‌های حل کننده فسفات و تثبیت کننده نیتروژن نسبت به کاربرد جداگانه این ریزموجودات از کارایی بیشتری برخوردار است چرا که نقش باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن صرفاً تثبیت ازت اتمسفری می باشد که این فرآیند در شرایط متعادل نیتروژن در خاک اتفاق می افتد و مقادیر بالای نیتروژن نسبت به کربن در خاک یا در هر محیط کشت دیگر باعث کاهش فعالیت آنزیم نیتروژناز و باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن می شود و تثبیت نیتروژن به وسیله مقدار نیتروژن قابل جذب موجود محدود می شود. در ضمن NH_3 موجود در خاک

تثبیت را در موجودات غیر همزیست به طور کامل متوقف می کند. به همین دلیل استفاده به تنهایی از باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن در خاک پاسخگوی مناسبی نبوده و تلفیق توأم آن با باکتری‌های آزادکننده فسفر گزینه مناسبتری است و در صورت استفاده ترکیبی کودهای بیولوژیک با کودهای شیمیایی براساس نتایج آزمون خاک، راندمان تولید افزایش یافته که احتمالاً به دلیل وجود یک اثر هم افزایی مثبت بین ریزجانداران و کودهای شیمیایی است از این رو کودهای زیستی موجود به تنهایی نمی تواند جایگزین کودهای شیمیایی شوند و از سوی دیگر با توجه به هزینه بالای کودهای شیمیایی و خطرات زیست محیطی ناشی از مصرف زیاد این کودها استفاده از ریزموجودات حل کننده فسفات و تثبیت کننده نیتروژن در تلفیق با مقدار متعادل و بهینه کودهای شیمیایی گزینه مناسبی به منظور دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار می باشد.

جدول ۵- بررسی اثرات متقابل کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر شاخص سطح برگ، اجزاء عملکرد و عملکرد گندم

Table 5- Interaction effects of chemical fertilizers and biological on Leaf area index, yield components and yield of wheat

تیمارها Treatments		ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد سنبله در بوته Number of spikes per plant	تعداد بوته در متر مربع Number of plants per square meter	شاخص سطح برگ Leaf area index	طول سنبله (سانتی متر) Spike length (cm)	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	وزن هزار دانه (گرم) Thousand grain weight (g)
کود شیمیایی Chemical fertilizer	کود بیولوژیک Biological fertilizer							
C ₀	B ₀	74.1h	1.46g	450g	2.8h	7.9h	30.7d	35.2g
	B ₁	75.9h	1.63f	494f	3.1g	7.9h	29.3d	35.9f
	B ₂	76.7g	1.8e	485f	3.1g	8.1h	29.3d	36.2f
	B ₃	78.5e	1.8e	539e	3.3f	8.5g	30.2d	36.8e
C ₁	B ₀	73.3g	1.86e	566d	4e	9.1f	31.6cd	39d
	B ₁	77.4f	2d	707bc	4.3d	9.3e	32.6cd	39.2d
	B ₂	79.4d	2.1cd	695c	4.3d	9.5d	32.5cd	41.6c
	B ₃	79.8d	2.3ab	733a	4.6c	9.9c	38.6ab	42.4b
C ₂	B ₀	76.6c	2.16c	698c	4.7c	9.3c	53.3bc	41.8c
	B ₁	82.3c	2.2bc	722ab	4.9b	10c	37.5ab	41.9c
	B ₂	83b	2.3a	712bc	5.2a	10.3b	38.1ab	43a
	B ₃	84a	2.3a	734a	5.1a	10.5a	39.1a	43.3a

در هر ستون و به طور جداگانه برای هر یک از اثرات متقابل کود شیمیایی و کود بیولوژیک، حروف لاتین مشابه طبق آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

In each column, and separately for each of the Interaction effects of fertilizer and biofertilizer, similar Latin letters according to Duncan test at 5% difference is not significant.

C₀, C₁ و C₂ به ترتیب بدون مصرف کود شیمیایی، 0.5R و R (مصرف کود شیمیایی براساس آزمون خاک)

C₀, C₁ and C₂, respectively, without the use of chemical fertilizers, 0.5R and R (fertilizer based on soil test)

B₀, B₁, B₂ و B₃ به ترتیب بدون کاربرد کود بیولوژیک، مصرف باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن (NFB)، مصرف باکتری‌های آزادکننده فسفات (PSB) و تیمار ترکیبی PSB+NFB

B₁, B₂ and B₃, respectively, without the use of biofertilizer, the use nitrogen-fixing bacteria (NFB), the use of Phosphate Solubilizing Bacteria (PSB) and combined treatment PSB + NFB

ادامه جدول ۵- بررسی اثرات متقابل کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر شاخص سطح برگ، اجزاء عملکرد و عملکرد گندم
Continuing Table 5- Interaction effects of chemical fertilizers and biological on Leaf area index, yield components and yield of wheat

تیمارها Treatments		عملکرد دانه (کیلوگرم درهکتار) Grain yield (kg ha ⁻¹)	وزن کاه (کیلوگرم درهکتار) Straw weight (kg ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم درهکتار) Biological yield (kg ha ⁻¹)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	درصد نیتروژن دانه Grain nitrogen (%)	درصد پروتئین دانه Grain protein (%)
کود شیمیایی Chemical fertilizer	کود بیولوژیک Biological fertilizer						
C ₀	B ₀	2292i	4438f	6931h	34.8i	1.22f	7.01f
	B ₁	3121h	5846e	9303g	37.1h	1.84d	10.4d
	B ₂	3598g	6465bc	10396ef	37.7g	1.85d	10.5d
	B ₃	3808f	6330c	10472e	39.5f	2.11c	12c
C ₁	B ₀	3482f	5377d	9525f	40.6e	1.66e	9.46e
	B ₁	4276e	6134d	10644e	42.3d	2.19c	12.4c
	B ₂	4721d	6406bc	11127d	42.4d	1.72e	9.85e
	B ₃	5014c	6541b	11555c	43.3bc	2.28b	13b
C ₂	B ₀	4488d	5985c	10073d	42.9c	2.14c	12.2c
	B ₁	4984c	6413bc	11398c	43.6b	2.41a	13.6a
	B ₂	5245b	6749a	11994b	43.6b	2.13c	12.1
	B ₃	5506a	6911a	12417a	44.2a	2.48a	14.1a

در هر ستون و به‌طور جداگانه برای هریک از اثرات متقابل کود شیمیایی و کود بیولوژیک، حروف لاتین مشابه طبق آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, and separately for each of the Interaction effects of fertilizer and biofertilizer, similar Latin letters according to Duncan test at 5% difference is not significant.

C₀, C₁ و C₂ به‌ترتیب بدون مصرف کود شیمیایی، 0.5R و R (مصرف کود شیمیایی براساس آزمون خاک)

C₀, C₁ and C₂, respectively, without the use of chemical fertilizers, 0.5R and R (fertilizer based on soil test)

B₀, B₁, B₂ و B₃ به‌ترتیب بدون کاربرد کود بیولوژیک، مصرف باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (NFB)، مصرف باکتری‌های آزادکننده فسفات (PSB) و تیمار ترکیبی PSB+NFB

B₁, B₂ and B₃, respectively, without the use of biofertilizer, the use nitrogen-fixing bacteria (NFB), the use of Phosphate Solubilizing Bacteria (PSB) and combined treatment PSB + NFB

References

- Agata, W. 1990. Mechanism of high yielding an achievement in Chinese F1 rice compared with cultivated rice varieties. Japan Journal of Crop Science and Biotechnology 59: 270-273.
- Amano, T., Zhu, Q., Wan, Y., Inou, N., and Tanake, H. 1993. Case studies on high yields of paddy rice in Jiangsu Province, China. I. Characteristic of grain production. Japan Journal of Crop Science and Biotechnology 62: 267-274.
- Asadi Rahmani, H., Khavazy, K., Asgharzadeh, A., Rajalee, F., and Afshari, M. 2010. Biofertilizers in Iran. Opportunities and Challenges. First Challenges Congress fertilizer in Iran. Half a century of fertilizer consumption (Key Articles).
- Banik, S., and Dey, B. K., 1982. Available phosphate content of an alluvial soil is influenced by inoculation of some isolated phosphate solubilizing microorganisms. Plant Soil 69: 353-364.
- Cohen, E., Okon, Y., Kigel, J., Nur, I., and Henis, Y. 1980. Increase in dry weight and total nitrogen content in *Zea mays* and *Serriaitalica* associated with nitrogenfixing *Azospirillum*. Plant Physiology 66: 746-749.
- Dasilva, P., and Stutte, C. 1981. Nitrogen loss in conjunction with translocation from leaves as influenced by growth stage, leaf position and N supply. Journal of Agronomy and Crop Science 73: 38-42.
- Engel, A. J., Bird, A., Hil, J. E., Horwath, W. R., and Kessel, C. V. 2001. Nitrogen dynamics and fertilizer use efficiency in rice following straw in corporation and winter flooding. Journal of Agronomy and Crop Science 93: 1346-1354.
- Falah Nosratabad, A., and Khavazy, K. 2001. Role of phosphate solubilizing bacteria in agriculture. Necessity in the industrial production of biological fertilizers (Total articles). Publication Agricultural Education commissioned by the Institute of Soil and Water.
- Gastal, F., and Nelson, C. J. 1994. Nitrogen use within the growing leaf blade of tall fescue. Plant Physiology 105: 119.
- Ghalavand, A., Shirvani, A., Dehganshoar, M., Malakoti, M., Asgharzadeh, A., and Chokan, D. 2009. Application of biofertilizers (Biological), Strategy for ecologically sustainable management of agricultural ecosystems, Iranian agronomy and Breeding Sciences Ninth congress (Key Articles). p. 200-224.
- Glick, B. R. 1995. The enhancement of plant growth by freeliving bacteria. Canadian Journal of Microbiololy 41:

- 109-117.
12. Hirel, B., Gouis, J., Ney, B., and Gallais, A. 2007. The Challenger of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role of genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *J. Exp. Bot.* 58: 2369-2387.
13. Hirose, T., and Bazzaz, F. A. 1995. Trade off between light and nitrogen use efficiency in canopy photosynthesis. *Ann. Bot.* 82: 195-202.
14. Jones, D. L. 1998. Organic acids in the rhizosphere critical review. *Plant Soil* 205: 25-44.
15. Jones, D. G., and Lewis, D. M. 1993. Rhizobium inoculation of crops plants. In: Exploitation of micro-organisms. Jones, D. G. (Eds.). Chapman and Hall, London. 112: 197-224.
16. Kapulnik, Y., Sarige, S., Nur, I., and Henis, Y. 1981. Effect of *Azospirillum Inculatum* on some growth parameters and N content of wheat, sorghum and panicum. *Plant Soil* 61: 65-77.
17. Khosravi, H. 1997. Study of frequency of and release of *azotobacter chroococcum* In gricultural soils of Tehran province and Some physiological characteristics of the research, MSc thesis, Faculty of agriculture, University of Tehran.
18. Kloppe, H. J. W., Lifshitz, R., and Zablotowicz, R. M. 1989. Freelifing bacterial inoculators enhancing crop productivity. *Trends in Biotechnology* 7: 39-44.
19. Leinhos, V., and Nacek, O. 1994. Biosynthesis of auxins by PSMs from Wheat and Rye. *Microbiol. Res.* 149: 31-35.
20. Mac Adam, J. W., Volenec, J. J., and Nelson, C. J. 1989. Effects of nitrogen on mesophyll cell division and epidermal cell elongation in tall fescue leaf blades. *Plant Physiology* 89: 549-556.
21. Malakoti, M. j., Khademi, Z., and Golchin, Z. 2009. Ways to increase wheat protein and actions to improve the quality while buying bread. *Balanced nutrition of wheat (Key Articles)* Second edition. p 39-46.
22. Molla, M. A. Z., and Chodhury, A. A. 1984. Microbial mineralization, of organic phosphate in soil, *Plant Soil* 78 (3): 393-399.
23. Mousavi, S. H. 2010. an analysis of self sufficiency in wheat production. PhD thesis, Agricultural Economics, Shiraz University.
24. Noor Mohammad, G., Syadat, A., and Kashani, A. 2010. The first volume of cereal crops. Shahid Chamran University Publications. p. 25-33.
25. Patriquin, D. G., and Dobereiner, J. 1978. Light microscopy observation of tetrazolium reducing in the endorhizosphere of maize and other grasses in Brazil. *Canadian Journal of Microbiol* 24: 734-742.
26. Rai, R. 1988. High temperature adapted *A. brasilense* strain: growth and interaction response on associative nitrogen fixation, mineral uptake and yield of cheem (*Panicum miliaceum L.*) genotypes in calcareous soil. *J. Agric. Sci.* 110: 321-329.
27. Rai, S. N., and Gaur, A. C. 1988. A characterization of *Azotobacter spp.*, and effect of *Azotobacterization* in presence of fertilizer nitrogen in the yield of wheat. *Indian Soc. Soi. Sci.* 33: 424-426.
28. Sadrzadeh, S. M. 2004. Research of nitrogen and potassium Fertilizer on yield and yield components and index of rice growing Khazar varieties. MSc thesis Agronomy, College of Agricultural Sciences University of Guilan.
29. Sarige, S., Blum, A., and Okon, Y. 1992. Improvement of the water status and yield of fieldgrown grain sorghum by inoculation with *Azospirillum brasillense*. *J. Agric. Sci.* 110: 271-277.
30. Schnier, H. F., Dingkuhu, M., Dedatta, S., Mengel, K., and Faronilo, J. 1990. Nitrogen fertilization of direct seeded flooded transplanted rice: Nitrogen uptake, photosynthesis, growth and yield. *Crop Science* 30:1276-1284.
31. Shimon, M., Trosh, H., and Glick. B. R. 2004. Plant growth promoting bacteria confer resistance tomato plant to salt stress. *Plant Physiol. Biochem.* 42: 565-572.
32. Sinclair, T. R. 1998. Historical changes in harvest index crop Sci: 38: 638-643.
33. Singh, S., and Kapoor, K. K. 1998. Inoculation with phosphate solubilizing microorganisms and a vesicular *arbuscula mycorrhizal* fungus improves dry matter yield and nutrient uptake by wheat grown in a sandy soil. *Biol. Fertil. Soils.* 95: 373-397.
34. Taha, S. M., Mahmoud, S. A. Z., Halim, A., Damaty. E. L., and Abd Elhafez, A. M. 1969. Activity of phosphate dissolving bacteria in Egyptian soils. *Plant and Soil* 113: 149-159.
35. Tilak, K. V. B., Singh, C. S., Roy, V. K., and Rao, N. S. S. 1982. *Azospirillum brasilense* and *azotobacter chroococcum* inoculum: effect of maize and sorghum. *Soil Biol. Biochem.* 14: 417-418.
36. Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., Liu, L., and Zhu, Q. 2003. Post anthesis water deficits enhance grain filling in tow line hybrid rice. *Crop Science* 43: 2099-2108.
37. Zahir, A. Z., Arshad, M., and Franendberger, W. F. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: application and perspectives in agriculture. *Adv. Agron.* 81: 97-168.



Evaluation of the Effects of Bio Fertilizers Containing non Symbiotic Nitrogen Fixing and Phosphate Solubilizing Bacteria on Quantitative and Qualitative Traits of Wheat

M. Mohtadi^{1*} - M. J. MirHadi² - A. Chraty³ - M. Bahadori⁴

Received: 22-01-2014

Accepted: 18-08-2015

Introduction

Wheat crop plays an important role in food security in a country such as Iran. Therefore, serious attention has been paid to ecological farming systems and sustainable management of wheat. For this purpose extensive efforts are done to find proper strategies to improve the quality of soil, agricultural products and started removal pollutants. One of the factors to achieve sustainable agriculture is to use natural agents such as biofertilizers. Several mechanisms are proposed to explain how effective plant growth promoting rhizobacteria is for growth and development of plants. These mechanisms include two groups, direct and indirect in general. Indirect mechanism is to increase absorption and availability of the nutrient elements soluble, producing plant growth regulators, siderophore production of iron chelator, and the phosphate soluble. Through indirect mechanisms such as antagonistic relation, PGPRs moderate the harmful effects of plant pathogens and thereby lead to increase plant growth. The main goal of this study was to investigate the effect of biofertilizers containing non-symbiotic nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria on quantitative and qualitative traits of wheat.

Materials and Methods

This Experiment was conducted in the research farm of Baykola agricultural research stations affiliated by agriculture and natural resources research center of Mazandaran during 2011-12 cropping season. In order to determine physical and chemical properties of the soil samples were taken from the depth of 0-30 cm. Experimental design was split plots arrangement based on randomized complete block design with three replications. In this experiment chemical fertilizer was assumed as the main plot in 3 levels include: 1- noconsumption (C0), 2- equivalent to 50% of the fertilizer recommendations (C1), 3- equivalent to 100% of the fertilizer recommendations (C2) and two types of biological fertilizers was applied in the sub plot in 4 levels: 1- noinoculation (B0), 2- Seeds inoculated with nitrogen fixing bacteria (B1), 3-Seed inoculation with phosphate solubilizing bacteria (B2), 4- Combined application of bio-fertilizers (B3).

Results and Discussion

Analysis of variance showed that grain yield, plant height, leaf area index, yield components, straw weight, biological yield, harvest index, percent of nitrogen and grain protein were influenced by different levels of biological and chemical fertilizers (Table 3). The highest grain yield was obtained using C₂B₃, combination treatments using chemical fertilizers and biofertilizers (PSB+NFB). The results of interactions between chemical fertilizers and biofertilizers showed the using 100% of the recommendations fertilizer along with biofertilizers (PSB+NFB) significantly increased grain yield (Table 5), compared with control. Due to increasing activity of bacteria *Azotobacter chroococum*, *Azospirillum brasilense* enhanced nitrogen fixation and released phyto hormones and thereby increased nutrient uptake by the roots. In addition, *Pseudomonas Potida* and *Pantoea agglomerace* had beneficial effects beside phosphorus uptake. These bacteria increased absorption and dissolved nutrients in the soil around the roots. PGPRs produced the plant growth regulator, organic acids and increased the ability to absorb elements such as iron, zinc and other micro elements and ultimately were effective in increasing crop yield and percent of nitrogen and grain protein.

1- M.Sc. Graduate, Depart agronomy of Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran

2- Associate Professor of Islamic Azad University, Science and Research Branch

3- Member of the Scientific Board of Agricultural and Natural Resources Research Center of Mazandaran

4- Scholar Agriculture and Natural Resources Research Center of Mazandaran

(* - Corresponding Authors Email: m.mohtadi.263@gmail.com)

Conclusions

Results of the experiment showed that using phosphate solubilizing bacteria and nitrogen fixing simultaneously or individually increased total plant biomass, grain nitrogen, protein content, yield components and crop yield. However, the combined use of phosphate solubilizing bacteria and nitrogen fixing compared to use of individually was more s effective. A synergic effect was found between chemical fertilizers and biological fertilizers. It is recommended to apply chemical fertilizers along with biological fertilizers to achieve highest possible yield.

Keywords: Bio fertilizers, Biological yield, Chemical fertilizer, Grain protein, Grain yield



مطالعه کارایی مصرف آب و شاخص‌های تحمل به تنش محدودیت رطوبتی انتهای دوره رشد در ارقام امیدبخش گندم نان (*Triticum aestivum* L.)

محمود ناظری^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۷

چکیده

به منظور مطالعه کارایی مصرف آب و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی، ۱۰ لاین در حال نام‌گذاری گندم مناطق سرد در یک طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۱۳۸۹-۱۳۸۷) در ایستگاه تحقیقاتی طرق مشهد مورد مقایسه قرار گرفتند. فاکتور محدودیت رطوبتی (آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم و قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو گندم) در کرت‌های اصلی و ۱۰ لاین امیدبخش گندم در کرت‌های فرعی قرار گرفت. نتایج نشان داد عملکرد دانه در تیمارهای قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) و قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو گندم (L3) به ترتیب ۱۸/۶ و ۴۵/۳ درصد نسبت به شرایط بهینه رطوبتی کاهش پیدا کرد. مقایسه ژنوتیپ نشان داد که ژنوتیپ‌های V5، V4 و V10 به ترتیب با ۱/۸۸۵، ۱/۷۵۶ و ۱/۸۳۳ کیلوگرم در متر مکعب، بیشترین کارایی مصرف آب را دارا بودند. نتایج نشان داد شاخص فرناندز (STI) برآورد نزدیکتری از عملکرد در شرایط تنش (r = ۰/۹۳**) و بهینه (r = ۰/۵۰**) ارائه نمود. در شرایط قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) براساس شاخص تحمل (STI) ژنوتیپ‌های V5، V4، V10، V7 و V8 و در شرایط قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو گندم (L3) ژنوتیپ‌های V5، V4 و V10 به ترتیب بالاترین شاخص تحمل به تنش رطوبتی را دارا بودند، بنابراین باتوجه به برتری ژنوتیپ‌های V5، V4 و V10 از نظر کارایی مصرف آب و شاخص تحمل به تنش محدودیت رطوبتی می‌توان آنها را برای شرایط مشابه این بررسی توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، ظهور بساک، مراحل نمو

مقدمه

صفات بسته به نوع خشکی از نظر زمان و شدت متفاوت می‌باشد. بنابراین دسترسی به ارقامی که در صورت مواجهه با تنش انتهای فصل کاهش عملکرد دانه کمتری داشته باشند، می‌تواند نقش مهمی در بهبود تولید ایفا نماید.

به طور کلی به منظور افزایش کارایی مصرف آب بایستی به محیط مورد نظر یا مقصد توجه داشت، زیرا یک صفت ممکن است در یک محیط مؤثر و در محیط دیگر اثرات دیگری داشته باشد. برخی صفات مثل قدرت رشد اولیه، ظرفیت ریشه برای جذب با افزایش عمق و گسترش آن به طور عمومی در شرایط قطع آبیاری می‌توانند به افزایش کارایی مصرف آب کمک کنند. آراوس و همکاران (۲) گزارش کردند که کمبود آب نزدیک مرحله گلدهی، تشکیل دانه و باروری آن را کاهش داد، در حالی که اعمال تنش در مرحله پر شدن دانه‌ها، ظرفیت انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها را کاهش داده و باعث چروکیدگی دانه‌ها و کاهش وزن هزار دانه شد. بنابراین آنها نتیجه گرفتند تولید

خشکی از عمده‌ترین عوامل محدودکننده تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) در کشور می‌باشد، متوسط نزولات آسمانی کشور ۲۴۰ میلی‌متر است که در طبقه‌بندی اقلیمی، جزء مناطق خشک جهان طبقه‌بندی می‌شود (۱۰ و ۲۵). در مناطق فاریاب به دلیل محدودیت منابع آبی و عدم تطابق سطح زیر کشت گندم با آب قابل دسترس کشاورزان نیاز آبی گیاه به طور کامل برآورده نشده و گندم تحت تنش خشکی قرار می‌گیرد. دسترسی به ارقام گندم که در شرایط رطوبتی مطلوب از پتانسیل عملکرد بالایی برخوردار بوده و تحت شرایط تنش نیز کاهش عملکرد آنها ناچیز باشد یک هدف اساسی اصلاحی است (۹). همچنین مجموعه‌ای از صفات فنولوژیکی، مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی در تحمل به خشکی گندم دخالت داشته و اهمیت این

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
(Email: smnazeri56@yahoo.com)
(*) - نویسنده مسئول

رشد و نمو گندم) ۲- قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم ۳- قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو گندم، در کرت‌های اصلی و تعداد ۱۰ لاین امید بخش گندم شامل: ۱- توس (شاهد)، ۲- C-81-10-3 C-84-5509-4 C-84-5 4 C-D-84-8-6 C-D-85-15-7 C-D-85-9-8 C-D-84-9 5502 C-D-85-5502-10 C-85-6-10 حاصل از آزمایش‌های سازگاری (الیت) در شرایط خشکی انتهای فصل، در کرت‌های فرعی مورد مطالعه قرار گرفت. به‌منظور جلوگیری از بارندگی در تیمارهای تنش رطوبتی، از باران‌گیر متحرک^۳ استفاده شد. این باران‌گیرها متحرک و همچنین از نظر ارتفاع چتر قابل تنظیم بودند. با پیشرفت مراحل رشد ارتفاع چتر تنظیم شده و چتر فقط در زمان بارندگی گسترده و بلافاصله پس از خاتمه بارندگی جمع‌آوری شد. هر کرت فرعی شامل ۱۲ ردیف کاشت به فواصل ۲۰ سانتی‌متر و طول پنج متر بود. سه ردیف کاشت از هر طرف به‌منظور اثرات حاشیه‌ای، حذف شدند و شش ردیف باقیمانده پس از حذف یک متر از ابتدا و انتهای هر کرت برداشت شد. بنابراین مساحت کاشت هر کرت فرعی $12 \times 5 = 60$ متر مربع و مساحت برداشت $60 \times \frac{3}{6} = 30$ متر مربع بود. رطوبت موجود در حد فاصل ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی آب قابل استفاده گیاه می‌باشد که به‌منظور عدم مواجهه گیاه با تنش، آبیاری با تخلیه ۵۰ درصد این میزان رطوبت انجام می‌شود (۱۰، ۱۴ و ۲۶)، بنابراین به منظور تعیین این میزان رطوبت در تیمار آبیاری کامل نمونه‌هایی از خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متری اخذ شد و پس از خشک کردن کامل در آون آزمایشگاهی و سنجش درصد رطوبت وزنی، آبیاری در زمان مناسب انجام شد (۱۸). میزان بذر مصرفی لاین‌ها و ارقام گندم براساس تراکم ۴۵۰ بذر در مترمربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه آنها تعیین شد. برای کنترل علف‌های هرز از توفوردی و پوماسوپر با غلظت یک و نیم لیتر در هکتار استفاده شد. مرحله ظهور بساک نیز با مشاهده پرچم‌ها در قسمت میانی ۵۰ درصد سنبله‌ها و مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی با زرد شدن ۵۰ درصد میانگره‌های انتهایی تعیین و تعداد روز لازم تا هر یک از این مراحل محاسبه گردید (۱۳). با برش بوته‌های هر کرت از سطح زمین و توزین آنها از سطح $\frac{3}{6}$ مترمربع، عملکرد بیولوژیک در هر کرت محاسبه شد، پس از جداسازی کاه و دانه و توزین دانه، عملکرد دانه به‌دست آمد. پس از برداشت براساس موازین طرح تجزیه واریانس ساده سالیانه و سپس تجزیه مرکب دوساله انجام و شاخص‌های حساسیت و تحمل به خشکی (شاخص حساسیت به تنش SSI، شاخص تحمل به تنش STI) و شاخص تحمل (TOL) و کارایی مصرف آب آبیاری (WUE) محاسبه و نهایتاً مشخصات فوق برای لاین‌های گندم در حال نام‌گذاری مشخص و با یکدیگر مقایسه شد.

مواد فتوسنتزی و انتقال مجدد آنها مرتبط با مرحله‌ای است که تنش خشکی اتفاق افتاده است. کالدرینی و همکاران (۴) معتقدند که افزایش عملکرد دانه عمدتاً مرهون افزایش تعداد دانه بوده و این جزء عملکرد اهمیت بیشتری از وزن دانه داشته است. اگرچه هر دو عامل منبع^۱ و مخزن^۲ باعث محدودیت عملکرد می‌شوند، اما شواهد نشان می‌دهد حتی در مورد لاین‌های جدید گندم نیز مخزن بیشتر محدودکننده است (۱۷). در شرایط قطع آبیاری عملکرد به مقدار آب تبخیر و تعرق یافته، راندمان مصرف آب و شاخص برداشت بستگی دارد. راندمان مصرف آب هنگامی که آب قابل دسترس در انتهای فصل رشد (دوره پر شدن دانه) زیاد باشد، افزایش می‌یابد. بنابراین یکی از صفات مهم برای افزایش عملکرد دانه تحت شرایط محدودیت رطوبتی تطابق مراحل فنولوژی و الگوی بارندگی فصلی است (۲ و ۱۰). در حقیقت تطابق مراحل فنولوژی با الگوی بارندگی فصلی در شرایط قطع آبیاری هم آب تبخیر و تعرق یافته و هم راندمان مصرف آب را بهبود می‌بخشد (۲). ولی برخی از صفات عموماً در افزایش کارایی مصرف آب مهم هستند، مثلاً زمان مناسب گلدهی مهمترین صفت زراعی در مناطق خشک است که می‌توان در همبستگی با افزایش کارایی مصرف آب به آن اشاره کرد، که البته برای ایجاد تنوع ژنتیکی بیشتر به کارهای به‌نژادی گسترده‌تری نیاز است. به‌عنوان مثال کاشت زودتر به منظور زمان مناسب گلدهی ممکن است با محدودیت‌های ژنتیکی از نظر حساسیت به طول روز و بهاره‌سازی مواجه شود و نیاز به ارقامی باشد که در مقایسه با ارقام رایج تفاوت‌هایی داشته باشند (۱۷ و ۱۸).

با توجه به اینکه مرحله بعد از ظهور بساک و پر شدن دانه‌ها یکی از مراحل بحرانی و حساس نمو گندم نسبت به تنش خشکی می‌باشد و از طرف دیگر معمولاً آبیاری‌های آخر گندم با آبیاری کشت محصولات تابستانه تلاقی می‌نماید و کشاورزان آبیاری‌های آخر گندم را حذف می‌نمایند، هدف از اجرای این آزمایش تعیین ارقام برتر و متحمل به تنش انتهای فصل جهت کشت ارقام با برتری نسبی نسبت به ارقام موجود می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۱۳۸۹-۱۳۸۷) در ایستگاه تحقیقاتی طرق مشهد اجرا شد. تیمار آبیاری در سه سطح شامل: ۱- آبیاری کامل (براساس نیاز گیاه در مراحل مختلف

1- Source

2- Sink

3- Mobile rain shelter

نتایج و بحث

عملکرد دانه

اثر محدودیت رطوبتی، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محدودیت رطوبتی بر عملکرد دانه در سطح ۱٪ معنی دار بود (جدول ۱). بیشترین عملکرد دانه در شرایط بهینه رطوبتی حاصل شد (۸/۴۷۶ تن در هکتار). قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو و قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو گندم به ترتیب سبب کاهش عملکرد دانه به میزان ۱۸/۶ درصد و ۴۵/۳ درصد شد (جدول ۲). در تحقیقات مختلف اعمال تنش به‌ویژه پس از مرحله ظهور بساک کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و بیولوژیک را به‌دنبال داشته است که با نتایج این تحقیق موافقت دارد (۱۲ و ۲۵). مقایسه ژنوتیپ‌های گندم از نظر عملکرد دانه نشان داد که ژنوتیپ‌های V5 و V4 بالاترین عملکرد را در متوسط شرایط محدودیت رطوبتی داشتند (به ترتیب ۷/۵۹۳ و ۷/۱۷۰ تن در هکتار) و کمترین عملکرد دانه نیز مربوط به ژنوتیپ V1 با عملکرد ۶/۱۲۵ تن در هکتار (جدول ۲) بود. نتایج نشان داد که در شرایط بهینه رطوبتی (L1) ژنوتیپ‌های V5 و V4 به ترتیب با عملکرد دانه ۹/۷۱۲ و ۹/۴۷۵ تن در هکتار برترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه بودند (جدول ۴). با اعمال قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) ژنوتیپ‌های V5، V10، V4، V9 و V7 به ترتیب با عملکرد دانه ۷/۲۱۶، ۷/۱۷۹ و ۷/۰۴۴ تن در هکتار بالاترین عملکرد را دارا بودند (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات تعداد روز تا ظهور بساک و رسیدگی فیزیولوژیک نشان داد اثر محدودیت رطوبتی در ارتباط با تعداد روز تا ظهور بساک غیر معنی‌دار ولی در ارتباط با تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر ژنوتیپ نیز در ارتباط با تعداد روز تا ظهور بساک (در سطح ۱٪) و رسیدگی فیزیولوژیک (در سطح ۵٪) معنی‌دار معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج نشان داد، بین شرایط بهینه رطوبتی (L1)، اعمال قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) و قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو (L3) هیچ تفاوتی از نظر تعداد روز تا ظهور بساک وجود نداشت (جدول ۵). به دلیل شرایط بهینه رطوبتی در تیمارهای L1، L2 و L3 تا مرحله ظهور بساک تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد روز تا ظهور بساک مشاهده نشد اما تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک تحت تأثیر محدودیت رطوبتی قرار گرفت.

ژنوتیپ‌های V5، V8 و V9 به ترتیب با عملکرد دانه ۵/۳۹۸، ۵/۰۷۶ و ۴/۹۰۹ تن در هکتار و بدون اختلاف معنی‌داری با یکدیگر، بالاترین عملکرد دانه را به‌خود اختصاص دادند (جدول ۴).

به‌منظور تعیین شاخص حساسیت به تنش رطوبتی ابتدا شدت سختی محیط (D) و سپس شاخص حساسیت به تنش از معادلات زیر محاسبه شد (۱۰).

$$D = 1 - (Y_d/Y_p) \quad (1)$$

در این معادله D شدت سختی محیط، Y_d متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش، Y_p متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش می‌باشد.

$$SSI = (1 - (Y_{di}/Y_{pi})) / D \quad (2)$$

در معادله فوق، SSI شاخص حساسیت به تنش رطوبتی، Y_{di} عملکرد ژنوتیپ i در شرایط تنش، Y_{pi} عملکرد ژنوتیپ i در شرایط بدون تنش است.

مقدار SSI کمتر نشان‌دهنده حساسیت کمتر یک ژنوتیپ به تنش است و SSI کمتر همچنین نشان‌دهنده تغییرات کمتر عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش است. در نتیجه پایداری آن ژنوتیپ بیشتر است. شاخص تحمل به تنش (STI) از معادله زیر محاسبه شد (۸):

$$STI = (Y_{pi} \times Y_{si}) / (Y_p)^2 \quad (3)$$

Y_{pi} عملکرد ژنوتیپ i در محیط بدون تنش، Y_{si} عملکرد ژنوتیپ i در محیط تنش و Y_p متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش است.

ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به تنش براساس این شاخص دارای مقادیر بالاتر STI خواهد بود. با استفاده از این شاخص امکان تشخیص ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش از نظر عملکرد برتری نسبی داشته و عملکرد بالاتری تولید می‌کنند، وجود دارد.

شاخص تحمل (TOL) به روش زیر محاسبه شد (۲۰):

$$TOL = Y_{pi} - Y_{si} \quad (4)$$

در این معادله Y_{pi} و Y_{si} عملکرد ژنوتیپ i به ترتیب در محیط بدون تنش و با تنش می‌باشد.

با استفاده از شاخص TOL امکان تفکیک ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش‌دار هم عملکرد نسبی بالاتری دارند نسبت به ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط بدون تنش عملکرد بالایی دارند، وجود دارد.

با اندازه‌گیری میزان آب ورودی در هر بار آبیاری در هر کرت میزان آب مصرفی در هر بار آبیاری به‌دست آمد و کارایی مصرف آب در هر کدام از تیمارها با تقسیم میزان آب مصرفی بر عملکرد هر رقم محاسبه شد. به منظور تجزیه مرکب داده‌ها ابتدا آزمون بارتلت جهت اطمینان از متجانس بودن خطای آزمایشات انجام شد (۲۴). محاسبات F و مقایسات میانگین با فرض تصادفی بودن سال و ثابت بودن تیمار انجام شد (۵). جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از نرم افزارهای SAS و Excel استفاده شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب (دو ساله) عملکرد دانه، روز تا ظهور بساک، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، راندمان مصرف آب عملکرد دانه (WUEG) و راندمان مصرف آب عملکرد بیولوژیک (WUEB)

Table 1- Combined analysis of variance (over two years) for grain yield (GY), biological yield (BY), days to anthesis (DA), days to physiological maturity (DPM), water use efficiency for grain (WUE_G) and biological (WUE_B) yield

منابع تغییرات S.O.V	df آزادی	میانگین مربعات (MS)				
		عملکرد دانه (GY)	روز تا ظهور بساک (DA)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DPM)	راندمان مصرف آبیاری (WUE _G)	راندمان مصرف آبیاری (WUE _B)
Year (Y) سال	1	42.529*	1383.3**	1805**	1.1 ns	6.59 ns
Replication/Year سال/تکرار	4	3.861	4.8	10.0	0.3	3.93
محدودیت رطوبتی (L) Water limitation	2	203.4**	40.0 ns	17182**	12.4**	128.8**
سال × محدودیت رطوبتی L × Y	2	0.556 ns	17.7 ns	6.0 ns	0.5*	5.62*
خطای Ea a	8	0.586	9.7	51.5	0.1	1.12
ژنوتیپ (G) Genotype (G)	9	3.517**	74.9 **	23.5**	0.2**	8.58**
سال × ژنوتیپ Y × G	9	0.537 ns	13.5 **	2.1 ns	0.04 ns	0.39 ns
محدودیت رطوبتی × ژنوتیپ L × G	18	1.273**	19.1 ns	17.7**	0.07	0.60*
سال × محدودیت رطوبتی × ژنوتیپ L × G × Y	18	0.156 ns	14.1**	2.6 ns	0.02 ns	0.27 ns
خطای Eb b	108	0.425	1.2	2.8	0.06	0.353
%CV		9.96	8.2	6.0	14.6	15.4

***، * و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی دار.

***, * and ns are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level and non-significant, respectively.

ژنوتیپهای V5، V10، V4، V9 و V7 در صورت مواجهه با شرایط تنش خشکی در مرحله شیری دانه و ژنوتیپهای V5، V8 و V9 در شرایط تنش خشکی از مرحله ظهور بساک تا انتهای فصل رشد واکنش مناسبی از نظر عملکرد دانه نشان می دهند و بنابراین برای شرایط مشابه قابل توصیه می باشند. دانشمندان معتقدند از نظر تحمل به خشکی بین ارقام گندم واریانس ژنوتیپی وجود دارد و معمولاً ارقامی که در شرایط معمولی از عملکرد زیادی برخوردارند، شرایط تنش را نیز بهتر تحمل نموده و عملکرد قابل قبولی تولید می کنند (۱۶، ۲۱ و ۲۲) که با نتایج این تحقیق موافقت دارد.

تعداد روز تا ظهور بساک و رسیدگی فیزیولوژیک

با قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک به ۱۴۸ روز و با قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو (L3) تعداد روز تا رسیدگی

برای مقایسه ژنوتیپهای گندم تحت تنش رطوبتی، عملکرد دانه مهمترین معیار می باشد. البته عملکرد صفتی است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می شود و متأثر از شرایط محیطی می باشد. هرچند جمع آوری کلیه ژنهای مطلوب و مؤثر در تحمل به خشکی در یک رقم امکان پذیر نیست، لیکن این امر مانع استفاده از قابلیت صفت عملکرد دانه به عنوان یک معیار مهم برای مطالعه تحمل به خشکی نشده است (۹).

در طی دوره رشد و نمو گندم مراحل گل دهی و پر شدن دانه جزء حساس ترین مراحل رشد و نمو گندم بوده و در صورت وقوع تنش خشکی عملکرد کاهش خواهد یافت. بنابراین ارقامی که در صورت مواجهه با شرایط محدودیت رطوبتی انتهای فصل کاهش کمتر عملکرد دانه داشته باشند می توانند در جلوگیری از کاهش عملکرد دانه در مناطقی با تنش انتهای فصل که از تنش های معمول آب و هوای مدیترانه ای می باشد نقش مهم ایفا نماید. نتایج این مطالعه نشان داد

فیزیولوژیک به ۱۴۴ روز نسبت به شرایط بهینه رطوبتی (L1) ۱۵۵ (روز) کاهش یافت (جدول ۲). کاهش تعداد روز تا ظهور بساک تحت شرایط محدودیت رطوبتی قبل از ظهور بساک و کاهش تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و کاهش دوره پر شدن دانه معمولاً در محدودیت رطوبتی پس از مرحله ظهور بساک اتفاق می‌افتد (۱۷، ۲۰ و ۲۲). کمترین تعداد روز تا ظهور بساک متعلق به ژنوتیپ V4 (۱۱۸ روز) و کمترین تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک متعلق به ژنوتیپ V9 (۱۴۲ روز) بود (جدول ۲). معمولاً افزایش نسبی دوره پر شدن دانه‌ها در شرایط معمولی باعث انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شده و در نتیجه وزن دانه افزایش می‌یابد.

جدول ۲- میانگین‌های (دو ساله) اثرات اصلی ژنوتیپ و محدودیت رطوبتی صفات عملکرد دانه، روز تا ظهور بساک و رسیدگی فیزیولوژیک، راندمان مصرف آب عملکرد دانه (WUE_G) و عملکرد بیولوژیک (WUE_B)

Table 2- Means comparison (over two years) of main effects of genotypes and water deficits for grain yield (GY), biological yield (BY), days to anthesis (DA), days to physiological maturity (DPM), water use efficiency for grain (WUE_G) and biological (WUE_B) yield

تیمار Treatment	عملکرد دانه GY (ton ha ⁻¹)	روز تا ظهور بساک (DA)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DPM)	راندمان مصرف آب عملکرد دانه (WUE_G) kg m ⁻³	راندمان مصرف آب عملکرد بیولوژیک (WUE_B) kg m ⁻³
محدودیت رطوبتی Water Deficit					
L1	8.48 a	121.0 a	154.7 a	1.28 c	3.14 b
L2	6.90 b	119.9 a	148.8 b	1.60 b	4.23 b
L3	4.81 c	119.4 a	144.0 c	2.18 a	6.046 a
ژنوتیپ Genotypes					
V1	6.60 cde	119.8 abc	149.3 ab	1.65 cde	4.59 abc
V2	6.13 e	121.8 ab	149.3 ab	1.52 e	4.19 c
V3	6.68 cd	119.6 bc	149.3 ab	1.63 cde	4.17 c
V4	7.17 ab	117.9 c	149.1 b	1.76 abc	4.41 bc
V5	7.59 a	122.2 ab	149.2 ab	1.89 a	4.06 a
V6	6.19 de	118.2 c	150.4 a	1.58 de	4.26 c
V7	6.59 cde	122.6 a	150.2 a	1.65 cde	4.21 c
V8	6.67 cd	119.7 abc	149.3 ab	1.70 bcd	4.35 bc
V9	6.60 cde	119.8 abc	146.2/۲ c	1.68 bcde	4.63 abc
V10	7.06 bc	119.8 abc	149.1 b	1.83 ab	8.04 ab

در هر ستون و برای هر تیمار، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشند
Means followed by the same letters in each column are not significantly different at 5% level, according to Duncan's Multiple Range Test.

*: شرایط بهینه رطوبتی (L1)، اعمال قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) و قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو (L3)

* L1: Optimum condition, L2: removal irrigation and using rainshelter from milky grain stage to maturity L3: removal irrigation and using rainshelter from anthesis to maturity.

جدول ۳- میانگین‌های سالانه اثرات اصلی ژنوتیپ و محدودیت رطوبتی صفات عملکرد دانه، روز تا ظهور بساک و رسیدگی فیزیولوژیک
 Table 3- Means comparison (Annuval) of main effects of genotypes and water limitations for grain yield (GY), biological yield (BY), days to anthesis (DA), days to physiological maturity (DPM)

Yield (GY), days to anthesis (DA), days to physiological maturity (DPM)						
تیمار Treatment	عملکرد دانه GY (ton ha ⁻¹)		روز تا ظهور بساک (DA) (Days)		روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DPM) (Days)	
	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
محدودیت رطوبتی*						
Water deficit*						
L ₁	8.10 a	8.85 a	118.0 a	123.4 a	151.2 a	158.2 a
L ₂	6.36 b	7.44 b	117.6 a	122.4 a	145.7 b	151.2 b
L ₃	4.26 c	5.35 c	117.5 a	121.9 a	141.1 c	146.2 c
ژنوتیپ						
Genotypes						
V ₁	6.04 cde	7.17 bc	117.2 b	122.3 c	146.4 a	152.1 b
V ₂	5.59 e	6.66 cd	119.3 a	124.3 b	146.0 a	152.6 b
V ₃	6.24 cd	7.11 bc	117.3 b	121.8 c	146.2 a	152.4 b
V ₄	6.84 ab	7.50 b	115.6 c	120.3 d	145.8 a	152.4 b
V ₅	7.01 a	8.17 a	119.3 a	125.0 b	145.9 a	152.6 b
V ₆	5.98 de	6.42 d	115.8 c	120.7 d	147.3 a	153.4 ab
V ₇	5.92 cde	7.26 bc	117.4 b	127.8 a	146.6 a	154.2 a
V ₈	6.02 cd	7.31 bc	117.0 b	122.4 c	146.4 a	152.1 b
V ₉	6.16 cde	7.04 bcd	117.6 b	122.0 c	142.6 b	148.9 c
V ₁₀	6.63 bc	7.49 b	117.1 b	122.4 c	145.7 a	152.4 b

در هر ستون و برای هر تیمار، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشند
 Means followed by the same letters in each column are not significantly different at 5% level, according to Duncan's Multiple Range Test.

*: شرایط بهینه رطوبتی (L1)، اعمال قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) و قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو (L3)
 * L1: Optimum condition, L2: removal irrigation and using rainshelter from milky grain stage to maturity L3: removal irrigation and using rainshelter from anthesis to maturity.

تعداد روز تا ظهور بساک و درجه روز رشد تا رسیدگی فیزیولوژیک شد (جداول ۲ و ۳). افزایش تعداد روز تا ظهور بساک باعث می‌شود که دوره رشد سنبله جوان (سنبله انتهایی تا ظهور بساک) نیز طولانی‌تر شود. با توجه به اینکه دوره رشد سنبله از مراحل مهم تعیین‌کننده پتانسیل عملکرد دانه است و تعداد دانه که از محدودکننده‌ترین اجزاء عملکرد است در این مرحله شکل می‌گیرد و

البته به نظر می‌رسد در شرایط تنش رطوبتی سرعت انتقال از اهمیت بیشتری برخوردار است و در این شرایط زودرسی نسبی صفاتی مطلوب تلقی می‌شود (۱۳، ۱۵ و ۱۷). دستفال و رمضان پور (۶) و قدسی و همکاران (۱۰) در آزمایشات خود دلایل تحمل به خشکی رقم چمران را زودرسی نسبی آن در شرایط تنش رطوبتی عنوان نموده‌اند. نتایج نشان داد شرایط بهینه رطوبتی (L1) باعث افزایش با

(جدول ۲ و ۳).

راندمان مصرف آب (WUE)

نتایج نشان داد که اثر محدودیت رطوبتی بر راندمان مصرف آب محاسبه شده براساس عملکرد دانه (WUEG) و عملکرد بیولوژیک (WUEB) و اثر ژنوتیپ بر راندمان مصرف آب محاسبه شده براساس عملکرد دانه (WUEG) در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). اعمال قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) و قطع آبیاری از مرحله ظهور بسات تا انتهای رشد و نمو (L3) موجب شد عملکرد دانه و بیولوژیک به‌ازای هر واحد آب مصرفی در مقایسه با شرایط بهینه رطوبتی (L1) افزایش یابد و به‌ترتیب به ۰/۳۱۷ و ۰/۸۹۶ کیلوگرم بر مترمکعب (برای عملکرد دانه) و به ۱/۰۹۵ و ۲/۹۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب (برای عملکرد بیولوژیک) برسد (جدول ۲). ریچاردز و همکاران (۱۸) گزارش کردند که زودرسی در شرایط قطع آبیاری یک صفت کارآمد برای بهبود کارایی مصرف آب است. قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) موجب کاهش درجه روز رشد تا رسیدگی فیزیولوژیک در مقایسه با شرایط بهینه رطوبتی (L1) شد، بنابراین کاهش روز تا رسیدگی فیزیولوژیک تیمار L2 و L3 نسبت به L1 که موجب شد دوره پر شدن دانه در زمان مناسب‌تری واقع شود، دلیل دیگری برای افزایش کارایی مصرف آب (WUE) در تنش رطوبتی (تیمار L2 و L3) می‌تواند باشد.

مقایسه ژنوتیپ‌های گندم از نظر عملکرد دانه تولیدی به‌ازای هر واحد آب مصرفی نشان داد که ژنوتیپ‌های V5، V4 و V10 به‌ترتیب با ۱/۸۸۵، ۱/۱۷۵۶ و ۱/۸۳۳ کیلوگرم در متر مکعب آب مصرفی بیشترین کارایی مصرف آب را دارا بود و پس از آن ژنوتیپ‌های V8 و V9 به‌ترتیب با ۱/۶۹۸ و ۱/۶۷۷ کیلوگرم در متر مکعب آب مصرفی قرار داشتند (جدول ۲). اختلاف ژنوتیپ‌ها از نظر کارایی مصرف آب به توانایی آنها از نظر جذب رطوبت خاک و گسترش سیستم ریشه و توانایی آنها در اختصاص بیشتر ماده خشک به دانه مربوط می‌شود (۱ و ۲۳). گزارش‌های متعددی تنوع ژنتیکی را در بین ارقام گندم از نظر کارایی مصرف آب مورد تأکید قرار داده است (۳، ۱۰، ۱۳، ۱۸ و ۱۹). این گزارش‌ها در موافقت با نتایج حاصل از این بررسی است.

ارزیابی حساسیت یا تحمل ارقام گندم به تنش رطوبتی با استفاده از شاخص‌های مختلف

شاخص حساسیت به تنش (SSI)

مقایسه ژنوتیپ‌های گندم از نظر شاخص حساسیت به تنش (SSI) نشان داد که ژنوتیپ‌های V9، V8 و V7 به‌ترتیب با ۰/۵۹، ۰/۷۱ و ۰/۷۵ کمترین میانگین شاخص حساسیت به تنش را داشت

همچنین تقاضا برای مواد فتوسنتزی (مواد پرورده) به دلیل رقابت شدید بین سنبله و ساقه در حال رشد افزایش می‌یابد، بنابراین محدودیت رطوبتی در این مرحله رقابت را تشدید خواهد کرد (۵). شرایط مناسب رطوبتی در تیمارهای L3 و L2 در قبل از ظهور بسات باعث شد تعداد روز تا ظهور بسات در حد شرایط بهینه رطوبتی باشد حال آنکه قطع آبیاری در مرحله پس از ظهور بسات تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک را در تیمار L3 به پایین‌ترین سطح تنزل داد (جدول ۲ و ۳). در صورتی که گیاه با قطع آبیاری مواجه نشود دوره پر شدن دانه تابعی از درجه حرارت خواهد بود. بنابراین کاهش درجه حرارت در طول دوره پر شدن دانه در شرایط بهینه رطوبتی باعث افزایش زمان دوره پر شدن دانه خواهد شد. در مراحل اولیه دوره پر شدن دانه (پس از ظهور بسات) ابتدا سلول‌های آندوسپرم شکل می‌گیرند که مخزن واقعی برای تجمع مواد پرورده در مرحله فعال بعدی دوره پر شدن دانه هستند، تجمع مواد پرورده تا رسیدگی فیزیولوژیک ادامه می‌یابد بنابراین در شرایط بهینه رطوبتی، دوره پر شدن دانه طولانی از دلایل افزایش عملکرد است (۴، ۷ و ۲۲). در شرایط قطع آبیاری تعداد روز کمتر تا ظهور بسات به مفهوم استفاده بیشتر از ذخیره آب خاک در طی مرحله پر شدن دانه خواهد بود. در یک بررسی فقط چند روز گلدهی زودتر باعث شد که ۱۰ تا ۱۵ میلی‌متر آب بیشتر در مرحله پر شدن دانه در اختیار گیاه قرار گیرد که یک مکانیزم فرار از خشکی تلقی می‌شود (۱). کاهش دوره پر شدن دانه در این شرایط نیز باعث می‌شود که گیاه کمتر در معرض شرایط نامساعد (رطوبتی، حرارتی) قرار گیرد و بنابراین در شرایط تنش از کاهش بیشتر عملکرد جلوگیری خواهد کرد. تعداد روز کمتر تا ظهور بسات در شرایط خشکی انتهای فصل رشد علاوه بر استفاده بیشتر از ذخیره رطوبت خاک در طول مرحله پر شدن دانه، باعث می‌شود که دوره پر شدن دانه در زمانی واقع شود که کاهش فشار بخار و درجه حرارت (نسبت به ظهور سنبله دیرتر) کمتر است و بنابراین در افزایش عملکرد در شرایط محدودیت رطوبتی انتهای فصل رشد (آب و هوای مدیترانه‌ای) مؤثر است (۲۰).

به نظر می‌رسد که در شرایط قطع آبیاری ژنوتیپ‌هایی که دوره پر شدن دانه را زودتر شروع کنند و با رسیدگی زودتر و در نتیجه کاهش درجه روز رشد در دوره پر شدن دانه کمتر در معرض عوامل نامساعد انتهای فصل (تنش رطوبت، درجه حرارت و حتی تنش‌های زنده مثل بیماری‌ها) قرار بگیرند از عملکرد بالاتری در شرایط قطع آبیاری برخوردار خواهند بود. دوره پر شدن دانه در شرایط قطع آبیاری انتهایی در زمانی واقع می‌شود که درجه حرارت بالا و قطع آبیاری فتوسنتز را مختل می‌کند بنابراین ژنوتیپ‌هایی که با تنظیم مراحل فنولوژیک کمتر در معرض این شرایط قرار بگیرند از عملکرد بالاتری در شرایط تنش برخوردار می‌باشند (۱۱). این ویژگی‌ها در ژنوتیپ‌های V9 و V4 تا حدودی ژنوتیپ V5 در این بررسی قابل توجه بود

شاخص تحمل به تنش (TOL)

با توجه به اینکه این شاخص افت عملکرد را در شرایط تنش نسبت به شرایط بهینه نشان می‌دهد بنابراین براساس این شاخص امکان تفکیک ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش نیز عملکرد نسبی بالاتری دارند، نسبت به ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط تنش عملکرد بالاتری دارند، فراهم می‌شود (۲۳). با توجه به اینکه مقدار کمتر این شاخص (افت کمتر عملکرد در شرایط تنش) نشان‌دهنده تحمل بیشتر به تنش می‌باشد، ژنوتیپ V9 با میانگین شاخص TOL، ۱/۶۱۲ و ژنوتیپ V8 با میانگین شاخص TOL، ۱/۸۱۹ و ژنوتیپ V7 با میانگین شاخص TOL، ۲/۰۵۴ به‌ترتیب متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۴).

روابط بین شاخص‌های حساسیت و تحمل تنش با عملکرد دانه

روابط بین شاخص‌های تحمل و حساسیت با عملکرد دانه در شرایط بهینه و قطع آبیاری نشان داد که شاخص SSI با اطمینان ۹۵٪ ($r = 0.43^*$) توانست عملکرد دانه را در شرایط قطع آبیاری تخمین بزند حال آنکه شاخص STI با اطمینان ۹۹٪ ($r = 0.93^{**}$) و شاخص TOL با اطمینان ۹۹٪ ($r = 0.83^{**}$) روابط نزدیکتری با عملکرد دانه در شرایط قطع آبیاری نشان دادند (جدول ۵). ضرایب همبستگی بین عملکرد در شرایط بهینه رطوبتی و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش نشان داد که فقط شاخص STI توانست همبستگی بسیار نزدیکی ($r = 0.50^{**}$) با عملکرد دانه در شرایط بهینه داشت و روابط دیگر شاخص‌ها با عملکرد در شرایط بهینه غیر معنی‌دار بود (جدول ۵).

بنابراین گرچه تمام شاخص‌ها با عملکرد دانه در شرایط قطع آبیاری همبستگی معنی‌داری را نشان دادند ولی همبستگی شاخص STI با عملکرد در شرایط تنش نزدیک‌تر بود ($r = 0.93^{**}$). در شرایط بهینه رطوبتی که دیگر شاخص‌ها نتوانستند همبستگی معنی‌داری با عملکرد دانه نشان دهند، شاخص فرناندز (STI) همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با عملکرد دانه نشان داد ($r = 0.50^{**}$). بنابراین شاخص STI برآورد نزدیکتری از عملکرد دانه هم در شرایط تنش و هم در شرایط بهینه رطوبتی ارائه کرد که نشان از کارایی بیشتر این شاخص در تعیین ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط بهینه رطوبتی و کاهش کمتر عملکرد در شرایط تنش داشت. گزارشات متعددی در زمینه قابلیت بیشتر شاخص STI وجود دارد که مؤید نتایج این آزمایش است (۲، ۳، ۱۰ و ۲۴).

(جدول ۴). مقدار کمتر SSI نشان‌دهنده تغییرات کمتر عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط بهینه و در نتیجه پایداری بیشتر عملکرد آن ژنوتیپ است (۱۵). بنابراین شاخص SSI ژنوتیپ‌هایی را که در هر دو محیط (تنش و بدون تنش) از نظر عملکرد برتری نسبی دارند، مشخص نمی‌کند بلکه تغییرات کمتر عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط بهینه و در نتیجه پایداری بیشتر را نشان می‌دهد. شاخص SSI کمتر ژنوتیپ‌های V9، V8 و V7 نشان‌دهنده تغییرات کمتر و در نتیجه پایداری بیشتر عملکرد این ژنوتیپ‌ها در محیط‌های بدون تنش و دارای تنش بود در صورتی که نتایج نشان داد که هم در شرایط بهینه و هم در شرایط تنش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بیشتر وجود داشتند (جدول ۴). در مجموع براساس شاخص حساسیت به تنش (SSI) ژنوتیپ‌های V9، V8 و V7 بهترین واکنش را دارا بودند (جدول ۴).

شاخص تحمل به تنش (STI)

براساس شاخص تحمل (STI) ژنوتیپ‌های V5، V4 و V10 به‌ترتیب با ۰/۸۹، ۰/۷۹ و ۰/۷۷ بالاترین میانگین شاخص تحمل به تنش محدودیت رطوبتی را دارا بودند (جدول ۴). ژنوتیپ‌هایی که مقدار بیشتر این شاخص را دارا باشند انتظار می‌رود که هم در شرایط بهینه و هم در شرایط تنش عملکرد بالاتری داشته باشند (۸). با توجه به اهمیت این شاخص و به‌منظور حصول نتایج کاربردی نتایج را در شرایط محدودیت رطوبت متفاوت مورد بررسی قرار می‌دهیم.

در شرایط قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) که تقریباً معادل حذف آخرین آبیاری گندم است براساس شاخص تحمل (STI) ژنوتیپ‌های V5، V4، V7، V8، V9 و V10 به‌ترتیب با ۰/۰۴، ۰/۹۵، ۰/۹۲، ۰/۷۹، ۰/۷۷ و ۰/۷۷ بالاترین میانگین شاخص تحمل به تنش رطوبتی را دارا بودند (جدول ۴).

در شرایط قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو (L3) که تقریباً معادل حذف ۲ آبیاری انتهایی گندم است براساس شاخص تحمل (STI) ژنوتیپ‌های V5، V4، V8 و V10 به‌ترتیب با ۰/۷۲، ۰/۶۳، ۰/۶۱ و ۰/۵۵ بالاترین میانگین شاخص تحمل به تنش رطوبتی را دارا بودند (جدول ۳). ملاحظه می‌شود که ژنوتیپ‌های V4، V10، V7، V8 و V9 در شرایط بدون تنش بالاترین عملکردها را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارا بودند (جدول ۴) و همین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش نیز عملکرد بالاتری نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها دارا بودند (جدول ۴) بنابراین به نظر می‌رسد که شاخص تحمل (STI) برآورد بهتری از عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بهینه ارائه کرد.

جدول ۴- شاخص‌های حساسیت و تحمل تنش ژنوتیپ‌های گندم

Table 4- Stress tolerance and sensitivity indices of wheat genotypes

ژنوتیپ Genotypes (V)	محدودیت رطوبتی* Water deficit * (L)	عملکرد دانه GY (ton ha ⁻¹)	درصد نسبت به شرایط بهینه (L1) %	شاخص حساسیت به تنش (SSI)	شاخص تحمل تنش (STI)	شاخص تحمل تنش (TOL)
V1	L2	7.066	88	0.63	0.80	1.20
	L3	4.693	58	0.98	0.53	3.393
Average میانگین		5.675	73	0.81	0.66	2.206
V2	L2	5.916	73	1.42	0.67	2.153
	L3	4.389	54	1.07	0.49	3.680
Average میانگین		5.153	64	1.24	0.58	2.916
V3	L2	6.451	71	1.53	0.81	2.629
	L3	4.489	49	1.19	0.56	4.591
Average میانگین		5.470	60	1.36	0.69	3.610
V4	L2	7.217	76	1.26	0.95	2.258
	L3	4.818	51	1.14	0.63	4.657
Average میانگین		6.018	63	1.20	0.79	3.458
V5	L2	7.668	79	1.11	1.04	2.044
	L3	5.396	56	1.02	0.72	4.314
Average میانگین		6.533	67	1.07	0.89	3.179
V6	L2	6.010	77	1.21	0.65	1.769
	L3	4.790	62	0.88	0.52	2.989
Average میانگین		5.400	69	1.04	0.58	2.379
V7	L2	7.179	90	0.52	0.79	0.784
	L3	4.638	58	0.98	0.51	3.325
Average میانگین		5.909	77	0.75	0.61	2.054
V8	L2	7.044	89	0.58	0.77	0.835
	L3	5.076	64	0.84	0.55	2.803
Average میانگین		6.060	77	0.71	0.66	1.819
V9	L2	7.216	94	0.32	0.77	0.459
	L3	4.909	63	0.86	0.53	2.766
Average میانگین		6.060	79	0.59	0.65	1.612
V10	L2	7.250	80	1.05	0.92	1.823
	L3	4.850	53	1.09	0.61	4.233
Average میانگین		6.050	67	1.07	0.77	3.028

*: شرایط بهینه رطوبتی (L1)، اعمال قطع آبیاری از مرحله شیریه دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) و قطع آبیاری از مرحله ظهور بوسه تا انتهای رشد و نمو (L3)

* L1: Optimum condition, L2: removal irrigation and using rainshelter from milky grain stage to maturity L3: removal irrigation and using rainshelter from anthesis to maturity.

جدول ۵- ماتریس ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط بهینه (Ypi) و شرایط تنش (Ysi) با شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش محدودیت رطوبتی

Table 5- Correlation coefficients matrix between grain yield in optimum (Yp) and water limited conditions (Ys) with stress tolerance and sensitivity indices

	عملکرد دانه در شرایط بهینه Ypi	شاخص حساسیت تنش SSI	شاخص تحمل تنش STI	شاخص تحمل تنش TOL
شاخص حساسیت تنش SSI	- 0.20 ^{ns}			
شاخص تحمل تنش STI	0.50**	-0.46*		
شاخص تحمل تنش TOL	0.012 ^{ns}	0.39*	-0.71**	
عملکرد دانه در شرایط تنش Ysi	0.39*	-0.43*	0.93**	0.85**

***، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌دار

***, * and ns are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level and non-significant, respectively.

نتیجه گیری

چشمگیر خواهد بود. به طور کلی در ارقامی که توأم با افزایش نسبی کارایی مصرف آب، عملکرد دانه نیز افزایش یافته یا حداقل ثابت باقی بماند می توان آن رقم را توصیه نمود. براساس نتایج این بررسی در شرایط بهینه رطوبتی به ترتیب ارقام V5 (C-84-8) و V4 (C-84-4) و V10 (C-85-6)، که از لاین های امیدبخش گندم و در دست معرفی می باشند در مقایسه با ارقام توس (V1) و پیشگام (V3) برتری عملکرد معنی داری را دارا بودند. با توجه به برتری همین ارقام در شرایط قطع آبیاری و افت کمتر عملکرد دانه این ارقام در شرایط تنش، بنابر این این ارقام می توانند برای شرایط مشابه قابل توصیه باشند.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی شماره ۸۷۰۵۶-۸۳۰۲-۰۳-۴۳ می باشد. بدینوسیله از مدیریت محترم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی که زمینه اجرای تحقیق را فراهم نمودند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

در شرایط آب و هوایی مشهد (همانند سایر مناطق مدیترانه ای) بخش عمده ای از نزولات جوی در طی پاییز و زمستان نازل می شود، و معمولاً در کشت پاییزه گندم بخش عمده ای از دوره زندگی گیاه (عمدتاً مرحله پنجه زنی) منطبق بر این فصول بوده و گیاه می تواند با استفاده از نزولات جوی نیاز آبی خود را تأمین نماید. مرحله پر شدن دانه در گندم از این نظر اهمیت دارد که معمولاً به دلیل عدم بارندگی مؤثر در این مرحله، تأمین آب کافی از طریق آبیاری را ضروری می سازد، در حالی که آبیاری های آخر گندم (مرحله پر شدن دانه ها) با کاشت صیفی جات همزمان می گردد و لذا گندم در این مرحله با تنش رطوبتی و گرمای انتهای فصل رشد مواجه شده و عملکرد آن شدیداً کاهش می یابد.

نتایج این آزمایش نشان داد حذف آبیاری در مراحل انتهایی رشد و نمو (پس از ظهور بساک) موجب کاهش عملکرد دانه کلیه ارقام مورد بررسی شد. بنابرین، اعمال آبیاری کامل برای دسترسی به عملکرد مورد انتظار ضروری است. در این زمینه شرایط آب و هوایی نیز بسیار مؤثر است و چنانچه بارندگی در طی دروه پر شدن دانه ها نازل نشود اثر سوء ناشی از حذف آبیاری در طی این مرحله بر عملکرد

References

- Angus, J. F., and Van Herwarden, A. F. 2001. Increasing water use and water use efficiency in dryland wheat. *Agronomy Journal* 93: 290-298.
- Araus, J. L., Bort J., Steduto, P., Villegas, D., and Royo, C. 2003. Breeding cereals for Mediterranean conditions: ecophysiological clues for biotechnology application. *Annals of Applied Biology* 142: 129-141.
- Araus, J. L., Salfer, G. A., Reynolds, M. P., and Royo, C. 2002. Plant breeding and drought in C3 cereals: What Should we breed for? *Annals of Botany* 89: 925-240.
- Calderini, D. F., Abeledo, L. G., Savin L., and Slafer, G. A. 1999. Effect of temperature and carpel size during pre-anthesis on potential grain weight in wheat. *Journal of Agricultural Science* 132: 453-459.
- Carmer, S. G., Nyquist, W. E., and Walker, W. M. 1989. Least significant differences for combined analysis of experiments with two or three factor treatment design. *Agronomy Journal* 81: 665-672.
- Dastfall, M., and Ramazanpoor, M. 2000. Evaluation for drought tolerance in wheat under weather Darab conditions. p. 250-250. 6th Iranian Crop Science, Babolsar, Iran.
- Ehdaee, B. 1993. Selection for drought tolerance in wheat. p. 43-62. 1st Iranian Crop Science, Karaj, Iran.
- Fernandez, G. C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetable and other Food Crops in Temperature and Water Stress*. Taiwan. pp: 257-270.
- Fischer, R. A. 2001. Selection traits for improving yield potential. In: Reynolds M. P., Ortiz- Monasterio J. I., and McNab A. (eds). *Application physiology in wheat breeding*. Mexico, D. F, CIMMYT, pp: 148-159.
- Ghodsi, M. 2004. Ecophysiological aspects of water deficit on growth and development of wheat cultivars, Ph. D Thesis. Tehran University.
- Hobbs, P. R., and Sayre, K. D. 2001. Managing experimental breeding trials. In: Reynoldss, M.P., Oritz-Monascio, J.I., and McNab, A. (eds). *Application of physiology in wheat breeding*. Mexico, D.F. CIMMYT: 48-58.
- Khazaei, H. R. 2002. Effect of drought stress on physiological traits of wheat resistant and susceptible cultivars and identification of the best suitable drought tolerance Indices, Ph. D Thesis. Ferdowsi University of Mashhad.
- Kringwi, F. M., Van Ginkel, M., Terthowan, R., Sears, R. G., Rajaram, S., and Paulsen, G. M. 2004. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. *Euphytica* 135: 361-371.

14. Martyniak, L. 2002. Grain yield and yield component of spring triticale as affected by simulated drought stress applied in different growth stages. Proceeding of the 5th International Triticale Symposium, Jun 30 – July 5, 2002, Radzikow, Poland. pp: 143-147.
15. Naderi, A., Hashemi Dezfooli, A., Majidi Heravan, E., Rezaee, A., and Noormohammadi, G. H. 1990. Study on corrolation of characteristics effect on grain weight and determination of some physiological traits on grain yield in some spring wheat genotypes in optimum and drought stress conditions. Seed and Plant 16 (2): 374-386.
16. Nasserri, A., and Fallahi, H. A. 2007. Water use efficiency of winter wheat under deficit irrigation. J. Biol. Sci. 7 (1): 19-26.
17. Reynolds, M. P., Skovmand, B., Trethowan, R. M., Singh, R. P., and Van Ginkel, M. 2000. Applying physiological strategies to wheat breeding. Anonymous: Research Highlights of the CIMMYT Wheat Program. 1999-2000. pp: 49-56. International Wheat Improvement Center.
18. Richards, R. A., Condon, A. G., and Robetzke, G. J. 2001. Trait to improve yield in dry environments. In: Reynolds M. P., Ortiz- Monasterio J. I., and McNab A. (eds). Application physiology in wheat breeding. Mexico, D. F, CIMMYT. pp: 88-100.
19. Richards, R. A., Robetzke, G. J., Condon, A. G., and Van Herwarden, A. F. 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. Crop Science 42: 111-121.
20. Rosielle, A. A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspect of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science 21: 943-946.
21. Shahryari, R., Gurbanov, E., Gadimov, A., and Hassanpanah, D. 2008. Tolerance of 42 bread wheat genotypes to drought stress after anthesis. Pakistan Journal of Biological Sciences 11 (10): 1330-1335.
22. Siddique, M. R. B., Hamid, A., and Islam, M. S. 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. Butanical Bullecine of Academia Sinica 41: 35-38.
23. Slafer, G. A., and Whitechurch, E. M. 2001. Manipulation wheat development to improve adaptation. In: Reynolds M. P., Ortiz- Monasterio J. I., and McNab A.(eds). Application physiology in wheat breeding. Mexico, D. F, CIMMYT. pp: 160-170.
24. Yazdi samadi, B., Rezaee, A., and Valizade, M. 1998. Statistical Designs in Agricultural Research. Tehran University Publication. (in Persian).
25. Zarea Faiz abadi, A., and Ghodsi, M. 2002. Study on drought tolerance of wheat lines and cultivares in cold regions. Agricultural Sciences and Technology Journal 16 (2): 181-189. (in Persian with English abstract).



Water Use Efficiency and Water Deficit Tolerance Indices in Terminal Growth Stages in Promising Bread Wheat genotypes

M. Nazeri^{1*}

Received: 16-02-2014

Accepted: 06-12-2014

Introduction

During growth stages of wheat, anthesis and grain filling periods are the most susceptible to drought. Wheat cultivars that are more tolerant to terminal drought are more suitable to Mediterranean conditions. To increase water use efficiency, the target environment should be taken into account, because one trait might be effective in an environment but ineffective in another environment. In general, some traits like early vigour and root absorption capacity are so important in water deficient conditions. In recent years, increasing grain yield was due to increasing grain numbers. Although both the source and sink is considered as the limitation factors in increasing grain yield in old cultivars, even in the new cultivars sink seems to be more important. In fact, phenological adjustment adapted with seasonal precipitation pattern can improve water use efficiency in drought conditions. Suitable flowering time is the most important trait that is correlated with increasing water use efficiency in drought conditions.

Materials and Methods

In order to evaluate the level of drought tolerance in promising bread wheat lines, a split plot arrangements using randomized complete block design with three replications was carried out in 2008-09 and 2009-10 growing seasons at Torogh Agricultural Research Field Station, Mashhad. In water limited conditions at three levels Optimum moisture conditions (L1), removal irrigation and using rain shelter from milky grain stage to maturity (L2), removal irrigation and using rainshelter from anthesis to maturity (L3) were assigned to main plots. Ten bread wheat lines include suitable for cold and dry regions (V1: (Toos), V2: (C-81-10), V3: (pishgam), V4: (C-84-4), V5: (C-84-8), V6: (C-D-85-15), V7: (C-D-85-9), V8: (C-D-84-5502), V9: (C-D-85-5502) and V10: (C-85-6) were randomized in sub-plots. Stress susceptibility index (SSI), stress tolerance index (STI) and tolerance (TOL) were calculated using following equations:

$$D = 1 - (Y_d/Y_p), SSI = (1 - (Y_{di}/Y_{pi})) / D, STI = (Y_{pi} \times Y_{si}) / (Y_p)^2, TOL = Y_{pi} - Y_{si}$$

In which D is environment stress intensity; Y_p, average of grain yield for all genotypes in optimum; Y_s, in water limited conditions; Y_{pi}, grain yield of one genotype in optimum; and Y_{si}, grain yield of one genotype in water limited conditions.

Anthesis and physiological maturity were determined by observing of anthers in %50 spikes and changing color of %50 peduncles to yellow, respectively.

Results and Discussions

The results revealed that water stress (L2 and L3 treatments) reduced grain yield (18.6% and 45.3%, respectively). Genotypes V5, V4 and V10 showed maximum water use efficiency (WUE) (1.885, 1.756 and 1.833 kg.m⁻³ respectively). A highly significant relationship was found between grain yield under moisture limited conditions and STI ($r = 0.93^{**}$) and TOL ($r = 0.85^{**}$). Grain yield under optimum irrigation condition was significantly ($r = 0.50^{**}$) correlated with STI.

Therefore, stress tolerance index (STI) was more efficient index for estimation the grain yield under either conditions as well as grouping the genotypes with higher grain yield and tolerant to water limited condition. So, stress tolerance index (STI) was suitable for classifying the higher yielding genotypes adapted to drought prone environment. Since stress tolerance index (STI) was highly and significantly associated with grain yield in both optimum ($r = 0.50^{**}$) and limited moisture ($r = 0.93^{**}$) conditions, it can be used an efficient index for evaluation in the field.

1- Assistant Professor of Crop Ecology, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Mashhad

(* - Corresponding Author Email: smnazeri56@yahoo.com)

Conclusions

Our results indicated that genotypes V5, V4 and V10 with high stress tolerance index (STI) values and the greatest WUE, had the best performance among the other genotypes, respectively. These cultivars had higher grain yield in both optimum and stress conditions than other genotypes. So, these cultivars could be recommended to cultivate for similar conditions.

Keywords: Anthesis, Developmental stages, Drought stress

اثر محلول‌پاشی کیتوزان بر خصوصیات فیزیولوژیکی کمای بینالودی (*Ferula flabelliloba*) تحت تنش خشکی

قدیر طاهری*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۶

چکیده

یکی از روش‌های سازگار با محیط زیست برای کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی در گیاهان محلول‌پاشی با ترکیبات کیتوزانی است. به منظور بررسی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی کیتوزان بر صفات فیزیولوژیکی کمای بینالودی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و در شرایط آزمایشگاه اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش خشکی (آبیاری در حد ظرفیت زراعی، تخلیه ۳۵ و ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) و محلول‌پاشی کیتوزان (صفر، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ گرم در لیتر) بودند. نتایج نشان داد که تخلیه رطوبت بستر تا ۶۵ درصد حد ظرفیت زراعی باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی شد ولی مقدار فنل کل و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و غلظت مالون‌دی‌آلدئید را افزایش داد. بالاترین وزن خشک اندام هوایی در گیاهان محلول‌پاشی شده با ۰/۴ میلی گرم در لیتر کیتوزان به دست آمد. بیشترین مقدار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و بیشترین مقدار فنل کل در گیاهان آبیاری شده پس از تخلیه ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی شده با غلظت‌های ۰/۱۶ و ۰/۸ میلی گرم در لیتر کیتوزان اندازه‌گیری شد. نتایج این آزمایش نشان داد که محلول‌پاشی کیتوزان در شرایط بروز تنش خشکی قادر است با تحریک سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه از شدت بروز خسارت در گیاه کمای بینالودی بکاهد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، آنتی‌اکسیدان، آنزیم، رشد رویشی، فنل

مقدمه

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتایون‌ردوکتاز و یا تولید بیشتر این آنزیم‌ها نسبت به خنثی کردن اکسیژن‌های فعال اقدام می‌کنند (۳۹)، به طوری که افزایش غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش‌های طبیعی توسط محققان گزارش شده است (۱۴ و ۱۸).

کیتوزان‌ها در شرایط صنعتی از استیل‌زدایی جزئی کیتین حاصل از پوسته خارجی سخت‌پوستانی نظیر میگو و خرچنگ دریایی در محیط قلیایی تولید می‌شوند و خواص آنها به شرایط فرآوری آنها وابسته است (۲۲). به دلیل تأثیر کیتوزان‌ها بر بیان ژن‌های گیاهی، گزارش شده که این مواد قادرند مقاومت به برخی عوامل نامساعد محیطی را تحت تأثیر قرار دهند (۱۰ و ۱۶). برای این گروه از مواد ویژگی‌های ضدقارچی، ضدباکتریایی، ضدویروسی، اصلاح و تقویت خاک، بهبود رشد و عملکرد، افزایش مقدار متابولیت‌های ثانویه و فعال‌سازی مکانیسم‌های دفاعی در گیاهان گزارش شده است (۶ و ۲۷). نتایج تحقیقات بیانگر آن است که کیتوزان‌ها به طور قابل توجهی پایداری غشاهای سلولی گیاهان را افزایش داده و باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شوند (۳۰). این مواد به دلیل افزایش هدایت روزنه‌ای و کاهش مقدار تعرق باعث افزایش مقدار

تنش خشکی از مهمترین عوامل کاهنده رشد و عملکرد گیاهان در بین تنش‌های غیرزنده است. این نوع تنش از توسعه سلول‌ها و به دنبال آن رشد رویشی و افزایش ارتفاع گیاه ممانعت می‌کند، حال آنکه بر تقسیم سلولی تأثیر کمی دارد. کاهش بیان ژن‌های دخیل در توسعه دیواره سلولی توانایی سلول‌ها را برای نمو می‌کاهد که این خود با کاهش توان رشد گیاه در شرایط تنش مطابقت دارد (۴). در شرایط تنش خشکی عدم توازن بین فرایندهای جذب انرژی و مصرف آن توسط اندام فتوسنتزی منجر به تشکیل رادیکال‌های فعال اکسیژن در کلروپلاست می‌شود (۳۰). گونه‌های اکسیژن فعال به دلیل میل ترکیبی بالا قادرند تا با مولکول‌های مختلف زیستی در دسترس واکنش دهند و سبب بروز آسیب‌های اکسیداسیونی متعددی نظیر اکسیده شدن لیپیدها و تغییر ساختار غشاهای، تغییر ساختمان پروتئین‌ها و غیرفعال شدن آنزیم‌ها شوند (۳). گیاهان با افزایش فعالیت

۱- استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور

(*)- نویسنده مسئول: Email: Ghadirtaheri@gmail.com

تیمارهای رطوبتی پس از استقرار کامل گیاهچه‌های بذری (۲۰ روز پس از کاشت) اعمال شد و همزمان محلول پاشی با حجم مساوی از محلول‌های کیتوزانی انجام شد به طوری که تمامی سطح اندام هوایی گیاهان به صورت یکنواخت اسپری شدند. این عمل یک ماه بعد مجدداً تکرار شد تا برگ‌های رویش یافته جدید نیز با محلول آغشته شوند. کلیه گلدان‌ها ۶۰ روز پس از شروع آزمایش برداشت و برای سنجش‌های مورد نظر استفاده شدند. اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی با قرار دادن نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت انجام شد و سپس توزین شدند.

برای اندازه‌گیری مقدار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، ابتدا عصاره آنزیمی به روش سایرام و ساکسنا (۲۳) استخراج گردید. فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز به روش وایدر و کالن (۲۸) و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به روش باچمپ و فریدویچ (۴) اندازه‌گیری شد. مقدار پراکسیداسیون لیپیدها به روش ژیانگ و هانگ (۱۶) و بر مبنای تشکیل کمپلکس مالون‌دی‌آلدئید حاصل از پراکسیداسیون لیپیدهای غشای سلولی با اسید تیوباربیتوریک انجام شد. اندازه‌گیری فنل کل به روش ابراهیم‌زاده و همکاران (۱۱) انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SPSS ver. 17 و MSTAT-C انجام شد، مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی

اثر تیمار تنش خشکی و محلول پاشی با کیتوزان بر وزن خشک اندام هوایی کمای بینالودی معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۱). میانگین وزن خشک اندام هوایی ۹/۸۶ گرم در بوته به دست آمد. بالاترین مقدار وزن خشک اندام هوایی در گیاهان آبیاری شده در حد ظرفیت زراعی اندازه‌گیری شد که حدود ۳۰ درصد بیشتر از گیاهان تیمار آبیاری پس از تخلیه ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی بود. دامنه تغییرات وزن خشک اندام هوایی در گیاهان تیمار شده با کیتوزان بین ۷/۳۵ تا ۱۳/۲ گرم در بوته متغیر بود، گیاهان محلول پاشی شده با ۰/۴ درصد کیتوزان و تیمار شاهد به ترتیب دارای بیشترین و کمترین وزن خشک اندام هوایی بودند (جدول ۲). هرچند اثر متقابل تنش رطوبتی و محلول پاشی کیتوزان بر وزن خشک اندام هوایی در سطح ۵٪ غیرمعنی‌دار بود ولی گیاهان تیمار شده با ۰/۴ درصد کیتوزان و آبیاری شده در حد ظرفیت زراعی دارای وزن خشک بیشتری نسبت به سایر تیمارها بودند (جدول ۳).

کاهش تولید ماده تر و خشک گیاهی و کاهش رشد اندام هوایی در شرایط کم‌آبی در گیاهان لوپن (*Lupinus albus* L.) (۲)، بادام‌زمینی (*Vigna subterranean* (L.) Verde) (۲۶) و

فتوستنتر شده، بر ارتفاع گیاه، طول ریشه‌ها و مقدار زیست‌توده گیاهی تأثیر گذارند (۷). محلول پاشی با ترکیبات کیتوزانی باعث کاهش مقدار تولید مالون‌دی‌آلدئید در سلول‌های گیاهی شد که به عنوان کاهش مقدار خسارت در شرایط تنش خشکی تلقی می‌شود (۱). افزایش کارایی مصرف آب (۷)، کاهش صدمه ناشی از استرس خشکی (۲۱)، افزایش مدت ماندگاری میوه‌ها (۱۵) و گلها (۲۵) و تغییر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (۳۲) با مصرف ترکیبات کیتوزانی گزارش شده‌است.

با توجه به خشکسالی‌های اخیر، گیاهان در زیستگاه‌های طبیعی در معرض انواعی از تنش‌های محیطی و به ویژه کم‌آبی هستند. کمای بینالودی (*Ferula flabelliloba* Rech. F. & Aell.) گیاهی چندساله، مونوکارپیک و از گیاهان دارویی و بومزاد ایران است (۹). این گیاه در تثبیت خاک دامنه‌ها نقش مهمی دارد و در سال‌های اخیر تحت تأثیر برداشت بی‌رویه، افزایش تردد و فشار دام و کاهش مقدار بارش قرار گرفته است. به منظور حمایت از گیاهان و جلوگیری از نابودی آنها، شناخت پاسخ‌های فیزیولوژیکی آنها به متغیرهای محیطی و ارائه راهکارهایی برای بهبود وضعیت رشدی آنها ضروری به نظر می‌رسد، بنابراین در این تحقیق به بررسی تأثیر تنش خشکی و نیز اثر کیتوزان بر ویژگی‌های رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی کمای بینالودی پرداخته شده‌است.

مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه پاسخ گیاه کمای بینالودی به تنش خشکی و محلول پاشی کیتوزان در شرایط آزمایشگاه، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۱ انجام شد. در این آزمایش تنش خشکی (آبیاری در حد ظرفیت زراعی، تخلیه ۳۵ و ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) به عنوان عامل اول و محلول پاشی کیتوزان (در غلظت‌های صفر، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ گرم در لیتر) به عنوان عامل دوم در نظر گرفته شد. بذور گیاه در طی فصل رویش (خرداد- تیر سال ۱۳۹۲) از زیستگاه طبیعی آن در رشته‌کوه بینالود جمع‌آوری و تا زمان آزمایش درون کیسه‌های نخی در دمای ۱۸ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۲۵ درصد نگهداری شدند. از خاک محل رویش گیاه نمونه‌ای همگن تهیه شده و برای پرکردن گلدان‌هایی به حجم ۳/۵ لیتر مورد استفاده قرار گرفت. به طور کلی بافت خاک شنی- سیلتی با $pH = 7.2$ بود (به خاک گلدان‌ها هیچ نوع کود یا ماده دیگری افزوده نشد). کلیه مراحل آزمایش در اطاقک رشد (ساخت شرکت نور صنعت) با دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی، دمای ۱۶ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۴۵ تا ۵۰ درصد و شدت نور ۱۵۰۰۰ لوکس انجام شد. پس از جوانه‌زنی بذور، تعداد نه گیاهچه سالم و یکنواخت در هر گلدان باقی ماند.

همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) (۲۷) نیز گزارش شده است. در تنش خشکی به علت بسته شدن نسبی روزنه‌ها، فراهمی دی‌اکسید کربن برای انجام فتوسنتز تحت تأثیر قرار می‌گیرد و مقدار تثبیت دی‌اکسید کربن و ساخت قندها کاهش می‌یابد (۱۰). علاوه بر این به دلیل تشکیل انواعی از اکسیژن‌های واکنشگر، صدمه به غشاهای سلولی افزایش می‌یابد. وجود همبستگی منفی بین مقدار وزن خشک اندام هوایی و مقدار مالون‌دی‌آلدئید (جدول ۴) بیانگر بروز خسارت به غشاهای سلولی و کاهش مقدار واکنش‌های متابولیکی گیاه کمای بینالودی است که با نتایج محققان فوق مطابقت دارد.

تأثیر افزایش محلول‌پاشی کیتوزان بر رشد اندام‌هوائی گیاهان بامیه (*Hibiscus esculentus*) (۲۰)، سیر (*Allium sativum* L.) (۱۳)، گندم (*Triticum aestivum* L.) (۳۱) و برنج (*Oryza sativa* L.) (۸) در غلظت‌های ۰/۱ تا ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر کیتوزان گزارش شده است. غلظت‌های بالاتر کیتوزان به دلیل ایجاد لایه‌ای براق و چسبنده در سطح برگ‌ها باعث کاهش نفوذ نور به داخل مزوفیل، کاهش فتوسنتز و مقدار رشد گیاه می‌شود (۱۷). کاهش رشد کمای بینالودی در محلول‌پاشی با غلظت‌های بالاتر کیتوزان نیز ممکن است به دلیل کاهش اندازه روزنه‌ها، افزایش مقدار انعکاس نور خورشید و کاهش مقدار فتوسنتز باشد. به نظر می‌رسد که تأثیر غیرمعنی‌دار کیتوزان بر وزن خشک اندام هوایی کمای بینالودی در شرایط متفاوت آبیاری در این آزمایش (جدول ۱) به دلیل کاهش مقدار تعرق و تقلیل اثرات منفی تنش خشکی و یا تحریک سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی در گیاهان باشد. تأثیر غیر معنی‌دار محلول‌پاشی کیتوزان تحت تنش خشکی در گیاه گلرنگ (۱) نیز گزارش شده است.

فنل کل

اثر سطوح مختلف تنش خشکی، محلول‌پاشی کیتوزان و اثر متقابل تنش خشکی در کیتوزان بر مقدار فنل کل بخش هوایی گیاه

معنی دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۱). بیشترین مقدار فنل از تیمار آبیاری تخلیه ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی و کمترین آن در گیاهان تیمار شده در حد ظرفیت زراعی به‌دست آمد. براساس داده‌های تحقیق در بین سطوح مختلف محلول‌پاشی کیتوزان بیشترین و کمترین مقدار فنل به ترتیب در گیاهان محلول‌پاشی شده با ۰/۶ گرم در لیتر و تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۲). بالاترین مقدار فنل کل اندام هوایی در گیاهان تیمار شده با ۰/۶ گرم در لیتر کیتوزان و آبیاری شده پس از تخلیه ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی به‌دست آمد ولی اختلاف آن با گیاهان تیمار شده با ۰/۴ و ۰/۶ گرم در لیتر کیتوزان و آبیاری شده پس از تخلیه ۳۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی در سطح ۵٪ غیر معنی‌دار بود. کمترین مقدار این ماده نیز در گیاهان محلول‌پاشی شده با آب مقطر (شاهد) و آبیاری شده در حد ظرفیت زراعی اندازه‌گیری شد (جدول ۳).

با افزایش تنش خشکی مقدار فنل گیاهان افزایش یافت. مواد فنل‌دار به‌عنوان گیرنده‌های رادیکال‌های آزاد عمل کرده و سبب افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های اکسیدانی می‌شوند (۱۹) و (۲۴). افزایش تجمع فنل‌ها در حین تنش خشکی می‌تواند به دلیل تحریک سنتز آنها از مسیر شیکیمیک اسید یا مالونیک اسید باشد (۲۱) که با مصرف بخشی از فتواسیمیلات‌های گیاهی و اختصاص کمتر آنها به مسیرهای رشدی و کاهش وزن گیاه همراه است. محلول‌پاشی با کیتوزان‌ها توانسته است به‌طور قابل توجهی باعث افزایش فعالیت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و کاهش مقدار پراکسیداسیون‌لیپیدها گردد. همبستگی منفی بین مقدار ترکیبات فنلی با مقدار تولید مالون‌دی‌آلدئید و وزن خشک اندام هوایی گیاه کمای بینالودی در این تحقیق بیانگر آن است که افزایش تولید این مواد در شرایط تنشی برای گیاهان هزینه‌بر است و از رشد گیاه می‌کاهد، ولی فنل‌ها به‌عنوان سد دفاعی در برابر تنش‌های محیطی عمل می‌کنند.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس خصوصیات مورد بررسی گیاه کمای بینالودی تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی کیتوزان
Table 1- Analysis of variance of characters investigated in *F. flabelliloba* under irrigation and chitosan treatments

منابع تغییرات S. O. V.	درجه آزادی DF	وزن اندام هوایی Shoot D.W.	فنل کل Phenol	کاتالاز CAT	سوپراکسید دیسموتاز SOD	آسکوربات پراکسیداز APX	پراکسیداسیون لیپیدها MAD
آبیاری Irrigation	2	66.5**	548498**	4.39**	0.209**	0.112**	0.169**
کیتوزان Chitosan	4	40.6**	43464**	0.283**	0.064**	0.032**	0.02**
آبیاری × کیتوزان Irrigation × Chitosan	8	1.11 ^{ns}	80765**	0.057**	0.22**	0.003**	0.005**
خطا Error	30	2.21	559	0.002	0.031	0.018	0.006

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و ns در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشد.

* and ** are significantly different in 5% and 1% respectively, and ns is not significantly different

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر آن است که تنش خشکی، محلول پاشی کیتوزان و اثر متقابل تنش خشکی و کیتوزان تأثیر معنی‌داری ($P \leq 0.01$) بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز داشت (جدول ۱). با کاهش مقدار آب در دسترس، مقدار فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز افزایش یافت ولی از مقدار فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز کاسته شد (جدول ۲). محلول پاشی با غلظت‌های بالاتر کیتوزان (0.6 و 0.8 میلی گرم در لیتر) بیشترین مقدار فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز را نشان داد و کمترین مقدار فعالیت این آنزیم‌ها در گیاهان شاهد مشاهده شد. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در گیاهان تیمار شده با 0.4 میلی گرم در لیتر کیتوزان بیشترین مقدار را نشان داد و گیاهان تیمار شده با غلظت‌های 0.2 و 0.6 میلی گرم در لیتر و تیمارهای 0.8 میلی گرم در لیتر و شاهد از نظر مقدار فعالیت این آنزیم در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۲). بیشترین مقدار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در گیاهان محلول پاشی شده با 0.6 میلی گرم در لیتر کیتوزان و آبیاری پس از تخلیه 65 درصد رطوبت ظرفیت زراعی اندازه‌گیری شد. به‌طور کلی در گیاهان

محلول پاشی شده با غلظت‌های 0.2 و 0.4 میلی گرم در لیتر کیتوزان در کلیه سطوح آبیاری مقدار فعالیت این آنزیم‌ها کمتر از گیاهان تیمار شده با 0.6 و 0.8 میلی گرم در لیتر کیتوزان بود (جدول ۳). بیشترین مقدار فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در گیاهان تیمار شده با 0.4 میلی گرم در لیتر کیتوزان و آبیاری شده در حد ظرفیت زراعی اندازه‌گیری شد و با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان داد. کمترین مقدار فعالیت این آنزیم در گیاهان تیمار شاهد و آبیاری شده پس از تخلیه 35 درصد وزنی رطوبت ظرفیت زراعی به‌دست آمد ولی اختلاف آن با گیاهان محلول پاشی شده با 0.2 و 0.6 و 0.8 میلی گرم در لیتر کیتوزان آبیاری شده پس از تخلیه 65 درصد رطوبت ظرفیت زراعی غیرمعنی‌دار بود (جدول ۳). افزایش مقدار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز بیانگر بروز تنش اکسیدانی در شرایط کم آبی در گیاه کمای بینالودی است. در تنش خشکی انواعی از اکسیژن‌های فعال در گیاهان تجمع می‌یابند (۳۱). گونه‌های فعال اکسیژن به‌عنوان سیگنال‌های سلولی عمل کرده و باعث تحریک ساخت و یا افزایش مقدار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه کمای بینالودی شده است و گیاه به این روش از خود محافظت کرده است.

جدول ۲- مقایسه میانگین وزن خشک، فنل کل و مقدار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کمای بینالودی تحت تأثیر تیمارهای محلول پاشی کیتوزان (میلی گرم در لیتر) و آبیاری

Table 2- Compare mean of irrigation and chitosan (mg L^{-1}) on shoot dry weight, phenolic content and antioxidative enzyme activity in *F. flabelliloba*

تیمارها Treatment	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (g.plant^{-1})	فنل کل Phenolic content mg. g^{-1} dry) (weight	کاتالاز CAT (unit mg^{-1} fw)	سوپراکسید دیسموتاز SOD (unit mg^{-1} fw)	آسکوربات پراکسیداز APX (unit mg^{-1} fw)	مالون دی آلدئید MAD (mM cm^{-1})
آبیاری (Irrigation)						
ظرفیت زراعی (Field Capacity)	12.1 ^a	403 ^c	0.495 ^c	0.148 ^c	0.373 ^a	0.032 ^c
تخلیه ۳۵٪ ظرفیت زراعی (35% FC)	9.47 ^b	671 ^b	1.24 ^b	0.28 ^b	0.286 ^b	0.04 ^b
تخلیه ۶۵٪ ظرفیت زراعی (65% FC)	7.97 ^c	773 ^a	1.55 ^a	0.384 ^a	0.202 ^c	0.052 ^a
کیتوزان (mg L^{-1}) (Chitosan)						
0	7.35 ^c	511 ^c	0.845 ^d	0.171 ^d	0.234 ^c	0.048 ^a
0.2	9.2 ^b	593 ^d	0.994 ^c	0.222 ^c	0.282 ^b	0.042 ^{ab}
0.4	13.1 ^a	664 ^b	1.12 ^b	0.245 ^b	0.376 ^a	0.037 ^b
0.6	10.3 ^b	691 ^a	1.26 ^a	0.351 ^a	0.285 ^b	0.038 ^b
0.8	9.3 ^b	619 ^c	1.25 ^a	0.364 ^a	0.229 ^c	0.038 ^b

حروف مشابه در هر ستون بیانگر تفاوت غیرمعنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشد.
Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$)

آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز باعث رفع مسمومیت پراکسید هیدروژن و کاهش خسارت ناشی از حضور این ماده در سلول‌های گیاهان می‌شوند و بسته به گونه گیاهی و مرحله رشدی آن مقدار فعالیت آنها متفاوت است (۱۷).

جدول ۳- مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی، فنل کل و مقدار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کمای بینالودی تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی کیتوزان (میلی گرم بر لیتر) و آبیاری

Table 3- Compare mean of irrigation * chitosan (mg L^{-1}) on Shoot dry weight, Phenolic content and antioxidative enzyme activity in *F. flabelliloba*

تیمار (Treatment)	کیتوزان (Chitosan) (mg L ⁻¹)	وزن خشک اندام هوایی (Shoot dry weight (g plant ⁻¹)	فنل کل (Phenol) (mg g ⁻¹) dry (weight	کاتالاز (CAT) (unit mg ⁻¹ fw)	سوپراکسید دیسموتاز (SOD) (unit mg ⁻¹ fw)	آسکوربات پراکسیداز (APX) (unit mg ⁻¹ fw)
آبیاری (Irrigation)						
طرفیت زراعی (FC)	0	8.89 ^{ab}	522 ^d	0.468 ^g	0.14 ^h	0.305 ^c
تخلیه ۳۵٪ ظرفیت زراعی (35% FC)		7.57 ^b	346 ^e	0.952 ^f	0.184 ^{fg}	0.219 ^f
تخلیه ۶۵٪ ظرفیت زراعی (65% FC)		5.59 ^b	667 ^c	1.11 ^e	0.189 ^f	0.178 ^g
طرفیت زراعی (FC)	0.2	11.85 ^a	489 ^d	0.465 ^g	0.143 ^{gh}	0.376 ^b
تخلیه ۳۵٪ ظرفیت زراعی (35% FC)		8.76 ^{ab}	524 ^d	1.096 ^e	0.248 ^e	0.27 ^{de}
تخلیه ۶۵٪ ظرفیت زراعی (65% FC)		7.1 ^b	768 ^b	1.42 ^c	0.274 ^e	0.201 ^{fg}
طرفیت زراعی (FC)	0.4	13.17 ^a	369 ^e	0.489 ^g	0.141 ^{gh}	0.513 ^a
تخلیه ۳۵٪ ظرفیت زراعی (35% FC)		12.11 ^a	871 ^a	1.25 ^d	0.278 ^{de}	0.365 ^b
تخلیه ۶۵٪ ظرفیت زراعی (65% FC)		11.18 ^a	752 ^b	1.64 ^b	0.317 ^{cd}	0.251 ^e
طرفیت زراعی (FC)	0.6	12.72 ^a	322 ^e	0.511 ^g	0.157 ^{fgh}	0.382 ^b
تخلیه ۳۵٪ ظرفیت زراعی (35% FC)		9.50 ^{ab}	856 ^a	1.46 ^c	0.323 ^c	0.272 ^{de}
تخلیه ۶۵٪ ظرفیت زراعی (65% FC)		8.66 ^{ab}	894 ^a	1.82 ^a	0.574 ^a	0.2 ^{fg}
طرفیت زراعی (FC)	0.8	11.03 ^a	313 ^e	0.541 ^g	0.16 ^{fgh}	0.291 ^{cd}
تخلیه ۳۵٪ ظرفیت زراعی (35% FC)		9.43 ^{ab}	760 ^b	1.47 ^c	0.367 ^b	0.216 ^f
تخلیه ۶۵٪ ظرفیت زراعی (65% FC)		7.42 ^b	785 ^b	1.74 ^{ab}	0.565 ^a	0.179 ^g

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت غیرمعنی‌دار بین آنهاست.

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$)

کیتوزان‌ها بر مقدار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت تنش خشکی در گیاه گلرنگ گزارش شده است (۱) و با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. به نظر می‌رسد که افزایش مقدار فعالیت آنزیم‌های

مقایسه مقدار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز (جدول ۲) نشان‌دهنده آن است که حذف پراکسید هیدروژن در کمای بینالودی با کمک آنزیم کاتالاز انجام شده است. اثر تحریک‌کنندگی

واکنشگر باعث افزایش فعالیت آنزیم لیپوکسیژناز و بالا رفتن غلظت مالون دی آلدئید در بافت های گیاهی می شود (۳۹).

کاهش مقدار مالون دی آلدئید در گیاهان محلول پاشی شده با کیتوزان در این تحقیق بیانگر کاهش صدمه به غشاهای سلولی و افزایش مقدار پایداری غشاهای سلول های گیاه است. به نظر می رسد که کیتوزان ها به عنوان سیگنالی سلولی برای وادار کردن بیان ژن های پاسخ دهنده به تنش عمل کرده (۱۱) و باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش های محیطی شده اند (۱۶).

نتیجه گیری

بر اساس نتایج حاصل از تحقیق می توان نتیجه گیری کرد که محلول پاشی کیتوزان به دلیل فعال کردن سیستم دفاع آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی کمای بینالودی توانسته است تا اثرات مضر ناشی از تنش خشکی را در این گیاه کاهش داده و سبب بهبود رشد گیاه در شرایط تنش خشکی گردد. بنابراین می توان اظهار کرد که محلول پاشی کیتوزان می تواند باعث کاهش اثرات سوء تنش خشکی شده و به افزایش رشد گیاه منجر گردد.

آنتی اکسیدانی در گیاه کمای بینالودی به دلیل اثر تحریک کنندگی کیتوزان ها بر ژن های درگیر در بیوسنتز آنزیم های دفاع آنتی اکسیدانی باشد.

مقدار مالون دی آلدئید

اثر تیمار آبیاری و کیتوزان بر مقدار مالون دی آلدئید موجود در اندام هوایی گیاه کمای بینالودی معنی دار ($P \leq 0.01$) شد (جدول ۱). با افزایش تنش رطوبتی مقدار مالون دی آلدئید افزایش یافت و بالاترین مقدار این ماده در گیاهان آبیاری شده پس از تخلیه ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی و کمترین مقدار آن در گیاهان آبیاری شده در حد ظرفیت زراعی به دست آمد (جدول ۲). در گیاهان محلول پاشی شده با کیتوزان بالاترین مقدار این ماده در تیمار شاهد و کمترین مقدار آن در گیاهان محلول پاشی شده با ۰/۴ گرم در لیتر کیتوزان اندازه گیری شد. هر چند که مقدار مالون دی آلدئید موجود در گیاهان تیمار شده با ۰/۶ و ۰/۸ گرم در لیتر کیتوزان کمتر از مقدار آن نسبت به سطح ۰/۴ گرم در لیتر آن بود ولی اختلاف آنها از نظر آماری در سطح ۵ درصد غیر معنی دار بود (جدول ۲). افزایش مقدار مالون دی آلدئید با افزایش شدت تنش های محیطی در گیاهان سیب زمینی (۳۱) و گلرنگ (۱) گزارش شده است. تنش خشکی با افزایش مقدار اکسیژن های

جدول ۴- ضرایب همبستگی مقادیر فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی، فنل کل، پراکسیداسیون لیپیدها و وزن خشک اندام هوایی گیاه کمای بینالودی
Table 4- Correlation index of antioxidative enzyme activity, phenolic content, lipid peroxidation and shoot dry weight in *F. flabelliloba*

مالون دی آلدئید (MAD)	آسکوربات پراکسیداز (APX)	سوپراکسید دیسموتاز (SOD)	کاتالاز (CAT)	فنل (Phenol)	وزن خشک اندام هوایی (Shoot D. W.)
1	-0.63**	0.28*	0.51**	0.37*	-0.58**
	1	-0.56**	-0.69**	-0.49**	0.84**
		1	0.87**	0.74**	-0.33*
			1	0.86**	-0.43**
				1	-0.32*
					1

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد می باشد

* and ** are significantly different in 5% and 1% respectively

References

1. Abdalla, M. M. 2011. Beneficial effects of diatomite on the growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress. Agriculture & Biology Journal of North America 2: 207-220.
2. Agarwal, S., Sairam, R. K., Srivatava, G. C., and Meena, R. C. 2005. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. Biologia Plantarum 49 (4): 541- 550.
3. Amudha, J., and Balasubramani, G. 2010. Recent molecular advances to combat abiotic stress tolerance in crop

- plants. *Biotechnology and Molecular Biology Review* 6 (2): 31-58.
4. Beauchamp, C., and Fridovich, I. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Annual Journal of Biochemistry* 44: 276-287.
5. Ben-Shalom, N., Ardi, R., Pinto, R., Aki, C., and Fallik, E. 2003. Controlling gray mold caused by *Botrytis cinerea* in cucumber plants by means of chitosan. *Crop Protection* 22: 285-290.
6. Bittelli, M., Flury, M., Campbell, G. S., and Nichols, E. J. 2001. Reduction of transpiration through foliar application of chitosan. *Agricultural Forest Meteorology* 107: 167-175.
7. Boonlertinirun, S., Chaweewan, B., and Suvanasara, R. 2008. Application of chitosan in rice production. *Journal of Metals, Materials and Minerals* 18 (2): 47-52.
8. Chamberlain, D. F., and Rechinger, K. H. 1987. *Ferula* L. In: *Flora Iranica, Umbelliferae*. (eds.) Hedg I. C., Lamond J. M. and Rechinger, K. H.) 162: 387-426. Akademische Druck- und Verlagsanstalt, Graz.
9. Chen, H. P., and Xu, L. L. 2005. Progress of study on chitosan in regulating plant's growth and eliciting plant's defense responses. *Acta Botanica Yunnanica* 27 (6): 613-619.
10. Demirevska, K., Zasheva, D., Dimitrov, R., Simova-Stoilova, L., Stamenova, M., and Feller, U. 2009. Drought stress effects on Rubisco in wheat: changes in the Rubisco large subunit. *Acta Physiologica Plantarum* 31: 1129-1138.
11. Ebrahimzadeh, M. A., and Bahramian, F. 2009. Antioxidant activity of *Crataegus pentagyna* subsp. *elbursis* fruits extracts used in traditional medicine in Iran. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 12 (5): 413- 419.
12. Fawzy, Z. F., El-Shal, Z. S., Yunsheng, L., Ouyang, Z., and Omaina, M. S. 2012. Response of garlic (*Allium Sativum* L.) plants to foliar spraying of some bio-stimulants under sandy soil condition. *Journal of Applied Sciences Research* 8 (2): 770-776.
13. Gupta, A., and Kaur, N. 2005. Sugar signaling and gene expression in relation to carbohydrate metabolism under abiotic stress in plant. *Journal of Bioscience* 30: 761-776.
14. Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Del Valle, V., Velez, D., and Gavara, R. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragari X ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry* 110: 428-435.
15. Iriti, M., and Faoro, F. 2009. Chitosan as a MAMP, searching for a PRR. *Plant Signal Behaviors* 4 (1): 66-68.
16. Jiang, Y., and Hung, B. 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turf grasses in relation to antioxidant metabolism lipid peroxidation. *Crop Science* 41: 436-442.
17. Kiddle, G. 2004. The role of ascorbate in plant defense and development. Bristol, UK: University of Bristol.
18. Mahdavi, B., Modarres Sanavy, S. A. M., Aghaalkhani, M., Sharifi, M., and Alavi Asl, S. A. 2014. Effect of Foliar Application of chitosan on growth and biochemical characteristics of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crops Research* 12 (2): 229-236. (in Persian with English summary).
19. Makkar, H. P. S., Singh, B., and Dawra, R. K. 1988. Effect of tannin-rich leaves of oak (*Quercus incana*) on various microbial enzyme activities of the bovine rumen. *British Journal of Nutrition* 60 (2): 287-296.
20. Mondal, M. M., Malek, M. A., Puteh, A. B., Ismail, M. R., and Ashrafuzzaman, M. 2012. Effect of foliar application of chitosan on growth and yield in okra. *Australian Journal of Crop Science* 6 (5): 918-921.
21. Morello, J. R., Romero, M. P., Ramo, T., and Motilva, M. J. 2005. Evaluation of L-phenylalanine ammonialyase activity and phenolic profile in olive drupe (*Olea europaea* L.) from fruit setting period to harvesting time. *Plant Science* 168: 65-72.
22. Rinaudo, M. 2006. Chitin and chitosan: properties and applications. *Progress in Polymer Science* 31 (7): 603-632.
23. Sairam, R. K., and Saxena, D. C. 2000. Oxidative stress and antioxidants in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science* 184: 55-61.
24. Thomas, F. M., and Schafellner, C. 1999. Effects of excess nitrogen and drought on the foliar concentrations of allelochemicals in young oaks (*Quercus robur* L. and *Q. petraea* [Matt.]. Liebl. *Journal of Applied Botany* 73: 222-227.
25. Uthairatanakij, A., Teixeira, J. A., and Obsuwan, K. 2007. Chitosan for improving *Orchid* production and quality. *Science* 1: 1- 5.
26. Vurayai, R., Emongor, V., and Moseki, B. 2011. Effect of water stress imposed at different growth and development stages on morphological traits and yield of bambara groundnuts (*Vigna subterranean* (L.) Verde). *American Journal of Plant Physiology* 6 (1): 17- 27.
27. Waseem, S., Hamid, M., Ishrat, N., Waqas, K. K., Haroon, A., Saqib, H., and Atif, K. 2010. Pharmacognostical study of the medicinal plant *Calendula officinalis* L. (Family Compositae). *International Journal of Cell & Molecular Biology* 1 (2): 108-116.
28. Weydert, C. J., and Cullen, J. J. 2010. Measurement of superoxide dismutase, catalase, and glutathione peroxidase in cultured cells and tissue. *Natural Protocol* 5 (1): 51-66.
29. Wojdyla, A. T. 2004. Chitosan (biochikol 020 PC) in the control of some ornamental foliage diseases. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences* 69: 705-715.
30. Yang Feng, H., Li, J., Wu, J., and Yurong, X. Q. 2009. Chitosan enhances leaf membrane stability and antioxidant

- enzyme activities in apple seedlings under drought stress. *Plant Growth Regulation* 58: 131-136.
31. Zeng, D., and Luo, X. 2012. Physiological effects of chitosan coating on wheat growth and activities of protective enzyme with drought tolerance. *Journal of Soil Science* 2 (3): 282-288.
32. Zhili, J., Yong, L., Juanjuan, L., Xu, X., Li, H., Lu, D., and Jingying, W. 2012. Effects of exogenous chitosan on physiological characteristics of potato seedlings under drought stress and rehydration. *Potato Research* 55: 293-301.



Effects of Chitosan Spraying on Physiological Characteristics of *Ferula flabelliloba* (Apiaceae) Under Drought Stress

Gh. Taheri^{1*}

Received: 15-02-2014

Accepted: 06-01-2015

Introduction

Ferula flabelliloba Rech. F. & Aell., (Apiaceae), a perennial plant with medicinal value, is one of important soil protective grown in Binalood mountains. Decreased precipitation in the previous years caused plants subjected to drought stress condition. Drought stress limits the growth and productivity of plants more than any other environmental factors. Drought stress can alter plant light absorption and consumption processes and increases production of reactive oxygen species (ROS). ROS is responsible for lipid peroxidation and associated injury to membranes, nucleic acids, proteins and enzymes. To detoxify ROS, plants develop different types of antioxidants to reduce oxidative damage and confer drought tolerance. ROS scavengers are either non-enzymatic (ascorbate, glutathione, flavonoids, alkaloids, carotenoids and phenolic compound) or enzymatic containing superoxide dismutase, catalase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase. The activity of these antioxidants and enzymes allows short-term acclimation to temporary water deficit, but these biochemicals cannot overcome the effects of extreme or prolonged drought.

Chitosan is a natural biopolymer formed by low alkaline deacetylation of chitin, an important component of the exoskeletons of crustaceans such as crab, crawfish and shrimp. Chitosan can affect plant physiology and gene expression, hence these materials can increase the plant resistant to many unfavorable environmental condition. The biological properties of chitosan have led to use it for various purposes. Chitosan has been used as plant protectant against fungi, bacteria and viruses, to improve soil fertility and to stimulate plant defense system. Thus, it seems that chitosan is a promising material for improving plant growth, especially under drought stress conditions where water deficit limits plant growth and establishment. In the present study, the effects of chitosan as foliar spraying of *F. flabelliloba* with different concentrations were investigated. The main objective of this study was to examine the potential benefits of chitosan by reducing damage to *F. flabelliloba* at the seedling stages under water-deficit conditions.

Materials and Methods

In order to evaluate the effects of chitosan spraying and drought stress on physiological characteristics of *F. flabelliloba*, a factorial experiment in a completely randomized design with three replications was conducted in laboratory. The experimental treatments included drought stress (irrigated in Field capacity, depletion of soil water content up to 35% and 65% of FC condition) and foliar chitosan spray (Zero, 0.2, 0.4, 0.6 and 0.8 mg l⁻¹).

Seeds of *F. flabelliloba* were harvested in June-July of 2012 from natural habitat in Binalood mountain and kept in laboratory condition until the study started. *F. flabelliloba* seeds were germinated and grown in soils at light/dark temperature cycle of 20-16 degree centigrade and photoperiod of 16-8 h. Irrigation treatments were performed after 20 days, when seedling established and chitosan sprayed simultaneous and repeated one month later.

The shoot from 60-day-old plants were taken and used for analysis the physiological parameters. Shoot dry weight was measured in oven at 70 °C for 24 hours. Enzyme activity was determined from the extract prepared according to the method of Sairam and Saxena (2000). Catalase and Peroxidase activities were determined according to Weydert and Cullen (2010) and Superoxide dismutase activity assayed as described by Beauchamp and Fridovich (1971). Lipid peroxidation was estimated by measuring spectrophotometrically malondialdehyde (MDA) content of plant based on Jiang and Hung (2001). Total phenolic content was determined according to Ebrahimzadeh and Bahramian (2009). Data from the experiment was analyzed using SPSS ver. 17 and MSTAT-C software and mean comparison was carried out using Duncan's multiple range test at the 95% of probability.

1- Assistant Professor, Department of Plant Biology, Neyshabur Branch, Islamic Azad University, Neyshabur, Iran
(*- Corresponding Author Email: Ghadirtaheri@gmail.com)

Results and Discussion

Results showed that shoot dry weight of the plants maintained under depletion of soil water content up to 65% of FC decreased and total phenolic content, Malondialdehyde (MDA) concentration, the activity of Superoxide Dismutase (SOD) and Catalase (CAT) increased. The highest shoot dry weight was obtained in plants treated with 0.4 mg l⁻¹ chitosan. The highest phenolic content, CAT and SOD activity were obtained in plants subtended in depletion of soil water content up to 65% of FC and sprayed with 0.6 and 0.8 mg l⁻¹ chitosan.

Defensive mechanisms against oxidative damage related with drought stress, including production of antioxidative enzymes can be increased by exogenous application of chitosan. Chitosan may have had the beneficial effects on plant growth under water deficit stress condition, often by anti-transparent and causing the closure of stomata which conserves water. The lower amount of MDA in plants sprayed with chitosan, whether under well-watered or drought conditions, suggests that chitosan protects against oxidative damage. Moreover, our study demonstrates that application of chitosan to 0.6 mg l⁻¹ increased total phenolic content in *F. flabelliloba* leaf tissue, and decreased the lipid peroxidation. The decrease in shoot dry weight against drought stress in the *F. flabelliloba* plants sprayed with 0.8 mg l⁻¹ of chitosan, might be result of factors that occurred alone or in combination. High rates of chitosan can reduce plant growth by decreasing photosynthesis and the rates of some biochemical processes.

Conclusions

The Results of this study indicated that chitosan sprayed under drought condition could stimulate enzymatic and non-enzymatic anti-oxidative defence system of *F. flabelliloba* and decreased oxidative damage in water stress condition. According to the result, it can be concluded that chitosan foliar spraying can decrease harmful effects of drought stress and can be used as a plant growth enhancer for *F. Flabelliloba*.

Keywords: Anti-oxidant, Enzyme, Irrigation, Phenol, Vegetative growth

تأثیر نانواکسید روی و تلقیح بذر با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد بر عملکرد، اجزای عملکرد و پر شدن دانه سویا (*Glycine max* L.)

رئوف سید شریفی^{۱*} - سرور خرم دل^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۲۹

چکیده

به منظور بررسی تأثیر نانواکسید روی و تلقیح بذر با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد بر عملکرد، اجزای عملکرد و دوره پر شدن دانه سویا، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل در سال ۱۳۹۲ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل محلول‌پاشی با نانواکسید روی در چهار سطح (صفر، ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم بر لیتر) و پنج سطح تلقیح (عدم تلقیح بذر به عنوان شاهد، تلقیح بذر با برادی رایزوبیوم جاپونیکوم، تلقیح توأم بذر با برادی رایزوبیوم و آزوسپریلیوم لیوفروم استرین OF، تلقیح توأم بذر با برادی رایزوبیوم و سودوموناس پوتیدا استرین ۹، تلقیح بذر با رایزوبیوم + سودوموناس + آزوسپریلیوم) بودند. نتایج نشان داد که با افزایش مصرف نانواکسید روی، وزن خشک گره، تعداد دانه در نیام و تعداد نیام در بوته افزایش یافت. بالاترین وزن خشک گره (۹/۰۵ میلی‌گرم)، تعداد نیام در بوته (۲۳/۲۳) و دانه در نیام (۳/۰۸) در محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانواکسید روی به دست آمد. بالاترین ارتفاع بوته (۷۹/۶۵ سانتی‌متر)، تعداد گره در بوته (۱۶/۵۵)، عملکرد دانه (۱۸۷۵ کیلوگرم در هکتار)، طول دوره پر شدن دانه (۶۶/۷۶ روز)، دوره مؤثر پر شدن دانه (۵۴/۶۵ روز) و سرعت پر شدن دانه (۰/۰۴۷۶ گرم در روز) در محلول‌پاشی با نانواکسید روی به میزان ۰/۹ گرم در لیتر و تلقیح توأم بذر با باکتری‌های محرک رشد و رایزوبیومی به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های PGPR، تلقیح بذر، سویا، نانواکسید روی

مقدمه

از جمله وجود مقادیر زیاد کربنات کلسیم، pH قلیایی و عدم مصرف کودهای حاوی عناصر ریز مغذی و کودهای آلی موجب کاهش ذخیره این عنصر در خاک و در نتیجه کاهش عملکرد شده است (۲۴). یکی از راه‌های تأمین روی مورد نیاز گیاهان محلول‌پاشی است. از ویژگی‌های این روش می‌توان به برطرف کردن سریع کمبود، جلوگیری از تثبیت عنصر در خاک، آسان‌تر بودن اجرای آن، کاهش سمیت ناشی از تجمع این عناصر در خاک، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و خطرات زیست محیطی ناشی از آن‌ها اشاره کرد (۲۱) و در این راستا عرضه کودهای شیمیایی به شکل نانو ذرات در مقایسه با شکل متداول و مرسوم آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. در نانو کودها عناصر غذایی به تدریج و به صورت کنترل شده در خاک آزاد می‌شوند و در حقیقت با استفاده از نانو کودها فرصت جدیدی به منظور افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و به حداقل رساندن هزینه‌های حفاظت از محیط زیست پیش روی انسان گشوده شده است (۳۱).

گزارش‌های محدودی مبنی بر تأثیر مثبت مواد غذایی نانو بر رشد برخی از گیاهان از جمله بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) (۳۴)، نخود (*Cicer arietinum* L.) (۳۶) و اسفناج (*Ieracea*

Glycine max L.) یکی از منابع مهم تأمین پروتئین و روغن به دلیل سازگاری وسیع با شرایط اقلیمی، قابلیت هضم بالای روغن، مرغوبیت کنجاله، تثبیت بیولوژیک نیتروژن و افزایش حاصلخیزی خاک از اهمیت خاصی در بین دانه‌های روغنی برخوردار است (۴۵).

روی یکی از عناصر مهم ریز مغذی است که در سنتز ترپیتوفان، پروتئین و ایندول استیک اسید، متابولیسم کربوهیدرات‌ها و بخشی از ساختمان آنزیم‌ها مشارکت دارد (۲۶). کمبود این عنصر در مناطق خشک و نیمه خشک، خاک‌های شنی، فرسایش یافته و به خصوص در خاک‌های آهکی (۵۷)، خاک‌های سدیمی و غرقابی بدون تهویه (۵۰) شیوع بیشتری دارد. کشت مداوم، مصرف همه ساله و بیش از نیاز کودهای فسفره، آبشویی و سایر شرایط حاکم بر خاک‌های آهکی

۱- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی

*- نویسنده مسئول: (Email: Raouf_ssharifi@Yahoo.com)

۲- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

و عملکرد دانه در تیمارهای تلقیح شده سویا بیشتر بود. وزن نهایی دانه به عنوان یکی از اجزاء تعیین کننده عملکرد دانه به دو عامل سرعت و طول دوره‌ی پر شدن دانه از مواد پرورده که نتیجه آن افزایش وزن خشک دانه است بستگی دارد (۹). در واقع رسیدگی فیزیولوژیکی دانه مرحله‌ای است که دانه به بالاترین وزن خود می‌رسد و مشارکت دو عامل سرعت و مدت پر شدن دانه در این وزن نهایی تعیین کننده می‌باشد (۴). دوره پر شدن دانه یک جزء تعیین کننده‌ی زمان رسیدگی و مرحله اصلی تشکیل عملکرد است. طولانی بودن این دوره امکان انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر از مبدأ به مقصد و در نتیجه افزایش عملکرد دانه را فراهم می‌سازد. راعی و همکاران (۳۷) در بررسی اثر تلقیح برادی ریزوبیوم بر طول دوره پر شدن دانه سویا، حداکثر وزن خشک دانه و دوام پر شدن دانه را در حالت تلقیح بذر با ریزوبیوم گزارش نمودند. سیوی رود و همکاران (۴۹) نشان دادند که محلول پاشی در طول دوره پر شدن دانه، موجب افزایش طول دوره مؤثر پر شدن دانه، عملکرد و درصد پروتئین دانه سویا شد. سوقوط (۴۷) در بررسی تأثیر تلقیح بذر با ریزوبیوم بر ارقام مختلف سویا گزارش کرد که تلقیح در افزایش ماده خشک دانه و عملکرد سویا در مقایسه با کاربرد ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مؤثرتر بود.

به دلیل اهمیت زراعت سویا به عنوان یکی از مهمترین دانه‌های روغنی در منطقه و نقش ریز مغذی روی و باکتری‌های محرک رشد در بهبود عملکرد، کمی بررسی‌هایی انجام شده درخصوص بر هم کنش توأم باکتری‌های محرک رشد و ریز مغذی روی بر گره‌زایی و سرعت پر شدن دانه موجب شد تا تأثیر تلقیح بذر با باکتری‌های ریزوبیومی و محرک رشدی بر عملکرد، سرعت و طول دوره پر شدن دانه سویا مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۲ در مزرعه پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل با مختصات جغرافیایی ۴۸° و ۲۰° طول شرقی و ۳۸° و ۱۵° عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل چهار سطح نانو اکسید روی (صفر، ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم بر لیتر) و پنج سطح تلقیح (عدم تلقیح بذر با باکتری به عنوان شاهد، تلقیح بذر با برادی ریزوبیوم جاپانی‌کوم، تلقیح بذر با برادی ریزوبیوم جاپانی‌کوم و آژوسپریلیوم لیپوفروم استرین OF، تلقیح بذر با برادی ریزوبیوم جاپانی‌کوم و سودوموناس پوتیدا استرین ۹، تلقیح بذر با ریزوبیوم جاپانی‌کوم + سودوموناس پوتیدا + آژوسپریلیوم لیپوفروم) بودند. نانو اکسید روی تولید کشور چین بود که از شرکت نوترینو تهیه شد و مشخصات آن در جدول ۱ و خصوصیات فیزیکی

(*Spinacia L.*) (۵۹) وجود دارد. در آزمایش پیوندی و همکاران (۳۵) مصرف یک کیلوگرم در هکتار کلات آهن به شکل نانو در مقایسه با شکل معمول آن، به نسبت بیشتری وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه ریحان (*Ocimum basilicum L.*) را افزایش داد. در آزمایش پراساد و همکاران (۳۶) محلول پاشی نانو اکسید روی به مقدار ۲ گرم در ۱۵ لیتر آب موجب افزایش ارتفاع، تعداد نیام در بوته، وزن هزار دانه و غلظت روی در برگ و دانه بادام زمینی در مقایسه با محلول پاشی این کود به فرم معمول و با غلظت ۳۰ گرم در ۱۵ لیتر شد. پاندی و همکاران (۳۴) اظهار داشتند که مصرف نانو اکسید روی از طریق افزایش سطح ایندول استیک اسید در ریشه خود، موجب افزایش رشد این گیاه گردید. مظاهری نیا و همکاران (۲۷) در مقایسه کارایی نانو اکسید آهن و آهن معمولی گزارش کردند که نانو اکسید آهن در مقایسه با آهن معمولی، از تأثیر معنی داری در افزایش آهن گیاه برخوردار بود. با توجه به قطر نانو ذرات، انتظار می‌رود سرعت جذب، انتقال و تجمع ذرات نانو بسیار بیشتر از ذرات معمول باشد و بالا بودن کارایی جذب و سطح مخصوص نانو ذرات در مقایسه با ذرات معمول، می‌تواند اثرگذاری بیشتر این ذرات را توجیه نماید (۲۹). صالحی و طهماسبی (۴۳) برتری ذرات نانو را به حلالیت بیشتر، سبک و کوچک بودن و شانس برخورد بیشتر این ذرات با گیاه نسبت دادند.

تثبیت بیولوژیک نیتروژن به وسیله لگوم‌ها، به عنوان یک صفت مهم تلقی می‌شود (۲۳) و وارکو (۵۵) معتقد است که ۲۵ تا ۷۵ درصد نیتروژن مورد نیاز سویا از طریق تثبیت تأمین می‌شود ولی برای افزایش کارایی تثبیت بیولوژیک، تلقیح بذر با استفاده از میکروارگانیزم‌های مفید خاکی از جمله باکتری‌های محرک رشد گیاه لازم است (۵۸). این باکتری‌ها به طور طبیعی در خاک وجود دارند ولی تعداد و تراکم آن‌ها در خاک پایین است، بنابراین تلقیح بذر گیاهان با این باکتری‌ها می‌تواند جمعیت آن‌ها را به حد مطلوب رسانده و منجر به بروز اثر مفید آن‌ها در خاک گردند (۱۲). رادرش و همکاران (۴۲) اظهار داشتند که افزایش میزان رشد و عملکرد تحت تأثیر تلقیح با باکتری ریزوبیوم می‌تواند منجر به افزایش بازده استفاده از نیتروژن به دلیل تأمین آن در طی دوره رشد گیاه باشد. شریواستاوا و همکاران (۴۶) افزایش ۸/۶ درصدی عملکرد سویا را به واسطه تلقیح بذر با باکتری ریزوبیوم گزارش کردند. تاگوی و همکاران (۵۲)؛ احمد و همکاران (۲) بیشترین تعداد نیام در بوته، دانه در نیام، وزن هزار دانه و عملکرد دانه را در تیمارهای تلقیح شده و کمترین میزان این صفات را در حالت عدم تلقیح گزارش کردند. استانچوا و همکاران (۴۸)؛ اقوتچو و همکاران (۳۲) نشان دادند که تیمارهای تلقیح شده با باکتری ریزوبیوم از بالاترین تعداد و وزن خشک گره، وزن خشک اندام هوایی و نیتروژن تثبیتی نسبت به عدم تلقیح برخوردار بودند. دشتی و همکاران (۱۵) بیان کردند که به دلیل اثر مثبت حضور باکتری ریزوبیوم بر تعداد و وزن گره‌های فعال، میزان تثبیت نیتروژن

شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۲ آورده شده است. میانگین دما و میزان بارندگی در طول دوره رشدی سویا در شکل ۱ ارائه شده است.

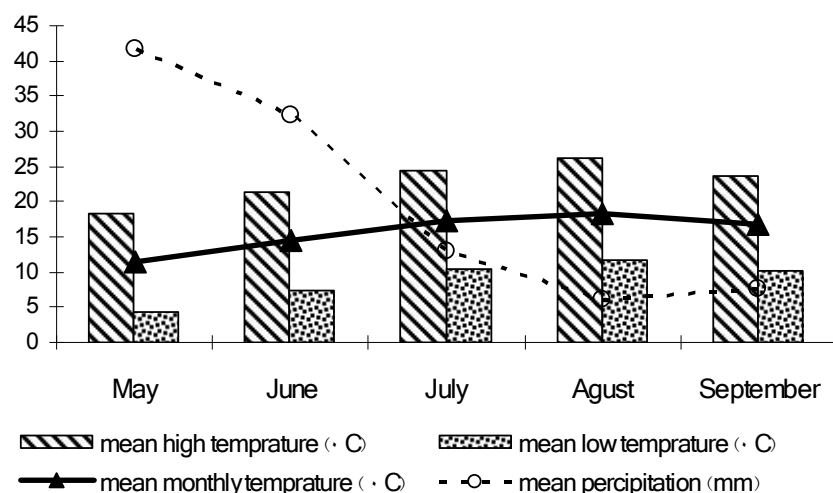
جدول ۱- مشخصات نانو اکسید روی مورد استفاده

Table 1- Nano-Zinc oxide properties used	
Weight	100 g
Purity	99 %
APS ¹	< 30 nm
SSA ²	> 30 m ² g ⁻¹
Appearance	Red powder
1- Average Particle Size	2- Specific Surface Area

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2- Soil physico-chemical properties at depth of 0-45 cm

بافت خاک (%) Texture			پتاسیم قابل جذب K Absorbable (ppm)	روی Zn (ppm)	فسفر قابل جذب P Absorbable (ppm)	نیتروژن کل N total %	کربن آلی O.C %	pH	هدایت الکتریکی (EC) EC×10 ³	عمق نمونه برداری Depth of sampling (cm)
رس	سیلت	شن								
Clay	Silt	Sand								
5	52	43	326.5	0.32	38.3	0.12	1.08	8.34	1.59	0-45



شکل ۱- دمای حداقل، حداکثر و میزان بارندگی در طول دوره رشدی سویا در فصل زراعی ۱۳۹۲
Figure 1- Minimum and maximum temperatures and rainfall recorded during the growth period of soybean in 2013 cropping season

محللول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. کلیه عملیات در محیط سایه و دور از نور آفتاب انجام شد. باکتری‌ها از موسسه تحقیقات آب و خاک تهیه شد. تراکم کاشت معادل تراکم توصیه شده برای سویا در منطقه (۳۵ بوته در متر مربع) در نظر گرفته شد. رقم مورد استفاده سویا رقم تلار بود. این رقم در مناطق گرم کشور به دلیل شرایط مناسب جوی و برخورداری از طول دوره رشد مناسب در تیر ماه به صورت کشت دوم تابستانه کشت می‌گردد ولی در مناطق سردسیری همچون دشت اردبیل به صورت

عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح بود. در مرحله بعدی تهیه جوی پشته‌ها توسط فاروئر انجام شد. کاشت در زمینی که به مدت دو سال در آیش بود انجام گردید و در سال‌های قبل نیز در زمین مذکور سویا کشت نشده بود. هر واحد آزمایشی شامل پنج ردیف چهار متری با فاصله بین ردیفی ۶۰ سانتی‌متر بود. کاشت بذر در عمق سه الی چهار سانتی‌متری و به صورت هیرم‌کاری و با دست انجام شد. برای تلقیح بذر میزان هفت گرم مایه تلقیح که هر گرم آن حاوی ۱۰^۷ عدد باکتری زنده و فعال در هر گرم بود، استفاده گردید. همچنین از

و GFR سرعت پر شدن دانه یا شیب خط برازش شده است. در این بررسی اجزای عملکرد و برخی صفات مرتبط با آن نظیر ارتفاع بوته، تعداد نیام در بوته و تعداد دانه در نیام و غیره از ۱۲ بوته انتخابی که به تصادف و از خطوط اصلی هر کرت برداشت شده بود اندازه‌گیری شد و میانگین داده‌های حاصل به عنوان ارزش آن صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها به کار گرفته شد. عملکرد دانه از خطوط اصلی هر کرت و از بین بوته‌های رقابت‌کننده از سطحی معادل ۰/۵ متر مربع به دست آمد. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم افزارهای SAS و Excel و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر نانو اکسید روی و تلقیح بذر با باکتری‌های PGPR و ریزوبیومی بر عملکرد و برخی از ویژگی‌های زراعی سویا در جدول ۳ آورده شده است. براساس این جدول اثر محلول‌پاشی با نانو اکسید روی، تلقیح بذر با باکتری‌های PGPR و ریزوبیومی بر تمامی صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد و اثر ترکیب تیماری این دو عامل بر ارتفاع بوته، تعداد گره، عملکرد دانه و وزن صد دانه در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار گردید.

ارتفاع بوته: مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری محلول‌پاشی با نانو اکسید روی در تلقیح بذر با باکتری‌های ریزوبیومی و محرک رشدی نشان داد که حداکثر ارتفاع بوته (۷۹/۶۵ سانتی‌متر) در محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید روی در حالت تلقیح توأم بذر با ریزوبیوم و سودوموناس و حداقل آن (۵۲/۱۱ سانتی‌متر) در عدم تلقیح و عدم مصرف نانو اکسید روی به دست آمد. البته بین ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید روی در تلقیح بذر با ریزوبیوم، تلقیح توأم با ریزوبیوم و آزوسپریلیوم، تلقیح بذر با ریزوبیوم + سودوموناس + آزوسپریلیوم با ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۰/۶ گرم در لیتر نانو اکسید روی در حالت تلقیح توأم بذر با ریزوبیوم و سودوموناس اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۵). تاکرو والکر (۵۰) اظهار داشتند عناصر غذایی کم مصرف برای سویا به عنوان عامل محدودکننده عملکرد مطرح می‌باشند و در این راستا عنصر روی اگرچه یک ریز مغذی است ولی به دلیل اهمیتی که در گیاه دارد، می‌تواند تأثیر مهمی در افزایش عملکرد و ارتفاع بوته سویا داشته باشد (۳۸). رز و همکاران (۴۱) گزارش کردند که دو بار محلول‌پاشی سولفات روی به مقدار چهار کیلوگرم در هکتار، ضمن افزایش عملکرد دانه سویا، منجر به افزایش ارتفاع گیاه و غلظت روی در دانه گردید. تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشدی نیز منجر به افزایش ارتفاع بوته گردید. دلیپ کومار و همکاران (۱۶) افزایش ارتفاع بوته را به واسطه تلقیح بذر نخود با سودوموناس فلورسنس گزارش

کشت اصلی و در فصل بهار به محض مساعد شدن شرایط اقلیمی کشت می‌گردد. مقدار ۲۵-۳۰ کیلوگرم کود نیتروژنه استاترتر از منبع اوره در اوایل دوره رشد در تمامی واحدهای آزمایشی به‌طور یکنواخت مصرف گردید. محلول‌پاشی نانو اکسید روی در دو مرحله از دوره رشد رویشی (مرحله ۴-۶ برگ یا V₄ و مرحله قبل از دانه‌بندی یا R₂) انجام شد. آبیاری در طول دوره رشد براساس شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی انجام شد. کنترل علف‌های هرز در طول دوره رشد به روش دستی انجام گرفت. به منظور تعیین اثر تیمارها بر گره‌زایی و وزن خشک گره، در خطوط اصلی هر کرت تعداد سه الی چهار گلدان در نظر گرفته شد. تراکم کاشت در هر گلدان همانند تراکم دیگر خطوط کاشت در نظر گرفته شد. در مرحله گلدهی، ریشه‌ها به‌طور کامل جدا شده و پس از شستشوی آنها، تعداد و وزن خشک گره‌ها تعیین شد (۴۴).

به‌منظور بررسی پارامترهای مربوط به پر شدن دانه نظیر سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه، تقریباً از ۲۰ روز بعد از گلدهی در فواصل زمانی هر چهار روز یک بار از خطوط اصلی هر کرت سه بوته به تصادف انتخاب و دانه‌ها از نیام جدا شدند. در مرحله بعدی وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد گردید (۴۰). به منظور برآورد، تجزیه و تحلیل و تفسیر عوامل مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی (دو تکه‌ای) با استفاده از رویه DUD و دستورالعمل Proc NLIN نرم‌افزار SAS به‌صورت زیر استفاده گردید.

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < t_0 \\ a + bt & t > t_0 \end{cases} \quad (1)$$

در این رابطه GW وزن دانه، t زمان، b شیب خط تا مرحله رسیدگی وزنی که بیانگر سرعت پر شدن دانه است، t₀ پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدأ است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند: مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t₀ که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به‌صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله (t < t₀) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد (۱۸). با برازش این مدل بر کلیه داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t₀) به دست آمده و سپس مقدار عددی t₀ در قسمت دوم رابطه قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه گردید. برای تعیین دوره مؤثر پر شدن دانه از رابطه (۲) استفاده شد (۱۸).

$$EFP = MGW / GFR \quad (2)$$

در این رابطه EFP دوره مؤثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه

کردند. به نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشدی با افزایش قابلیت دسترسی به آب و عناصر غذایی ضروری گیاه از طریق افزایش طول میانگره‌ها، ارتفاع گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اولگر و همکاران (۲۳) معتقدند باکتری‌های محرک رشد می‌توانند ارتفاع بوته و قابلیت تولید را از طریق سنتز فیتوهورمون‌ها، افزایش فراهمی مواد غذایی در یک محل، آسان کردن جذب مواد غذایی، کاهش سمیت فلزات سنگین در گیاهان، جلوگیری از عوامل بیماری‌زا و القا مقاومت سیستماتیک با عوامل بیماری‌زا افزایش دهند (۱۰). لیو و همکاران (۲۳) دلیل اصلی افزایش عملکرد، اجزای عملکرد و برخی دیگر از صفات مرتبط نظیر ارتفاع بوته را در کاربرد ترکیبی نانواکسید سیلیس و نانواکسید تیتانیوم، به افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز و افزایش توانایی در جذب و استفاده از آب و کود نسبت دادند.

تعداد و وزن گره در بوته: تعداد و وزن خشک گره‌ها در هر بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه قرار گرفت (جدول ۳). با افزایش مصرف نانواکسید روی وزن خشک گره افزایش یافت. روند مشابهی نیز در حالت تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد به‌دست آمد (جدول ۴). بیشترین تعداد گره در هر بوته (۱۶/۵۵ عدد) در محلول‌پاشی با مقادیر بالای نانواکسید روی در تلقیح بذر با باکتری‌های ریزوبیومی و محرک رشدی و کمترین آن (۷/۹۴ عدد) در حالت عدم مصرف کود و عدم تلقیح بذر برآورد گردید (جدول ۴). حفیظ و شاه (۲۰) در بررسی میزان گره‌بندی ارقام عدس (*Lens culinaris*) توسط سویه‌های مختلف باکتری ریزوبیوم لگومینوزاروم نشان دادند که سویه‌های باکتری اثر معنی‌داری بر تعداد و وزن خشک گره نشان دادند. وسی و باس (۵۶) معتقدند تأثیر مواد تنظیم‌کننده رشد تولید شده به‌وسیله PGPR بر رشد ریشه لگوم‌ها از طریق پارامترهایی بروز می‌کند که مهم‌ترین آن‌ها افزایش وزن و انشعابات ریشه و افزایش تعداد گره می‌باشند. اکامبردیوا (۱۷) در آزمایشی بر روی نخود گزارش کرد که رشد ریشه و بخش هوایی و نیز میزان گره‌بندی نخود در حضور باکتری ریزوبیوم مناسب افزایش می‌یابد. بگوم و همکاران (۸)، آگو و شولز (۱) نیز نتایج مشابهی را در مورد تعداد و وزن خشک گره‌ها تحت تأثیر تلقیح با باکتری ریزوبیوم در نخود گزارش کردند. در آزمایش پیوندی و همکاران (۳۵) مصرف یک کیلوگرم در هکتار کلات آهن به شکل نانو در مقایسه با شکل معمول آن، به نسبت بیشتری وزن خشک اندام هوایی و طول ریشه گیاه ریحان را افزایش داد.

وزن صد دانه: وزن صد دانه تحت تأثیر محلول‌پاشی و باکتری‌های محرک رشد قرار گرفت (جدول ۳). بیش‌ترین وزن صد دانه در محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانواکسید روی و تلقیح بذر با ریزوبیوم + سودوموناس + آزوسپریلیوم (۱۸/۳ گرم) و کمترین آن (۱۲/۷ گرم) در حالت عدم محلول‌پاشی و عدم تلقیح بذر به‌دست آمد.

البته بین ترکیب‌های تیماری محلول‌پاشی با مقادیر بالای نانواکسید روی در تلقیح بذر با ریزوبیوم + سودوموناس + آزوسپریلیوم و همچنین در تلقیح بذر با ریزوبیوم و سودوموناس اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد مشاهده نگردید (جدول ۵). مرشدی (۳۰) گزارش کرد که محلول‌پاشی آهن و روی منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد می‌شود. اسدی کنکر شاهی و ملکوتی (۷) مشاهده کردند که مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، عملکرد دانه سویا را تا ۱۹ درصد، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته و درصد پروتئین دانه را به‌ترتیب ۸/۲، ۵/۷ و ۱۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. زهیر و همکاران (۶۰) اظهار داشتند که در اثر تلقیح بذرهای ذرت (*Zea mays* L.) با اتوباکتر و سودوموناس، وزن هزار دانه به میزان ۹/۶ درصد افزایش یافت. مظاهری نیا و همکاران (۲۷) در آزمایش گلخانه‌ای گزارش نمودند که کاربرد نانواکسید آهن نسبت به آهن معمولی، از افزایش معنی‌داری بر وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله گندم (*Triticum aestivum* L.) برخوردار بود و علت را به سرعت جذب و انتقال ذرات نانو آهن در مقایسه با فرم معمولی آن نسبت دادند.

تعداد دانه در نیام: نتایج نشان داد که تعداد دانه در نیام تحت تأثیر فاکتورهای مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳). گرچه به نظر می‌رسد این صفت بیشتر تابع عوامل ژنتیکی بوده و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد ولی نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر تعداد دانه در نیام (۳/۰۸) در مقادیر بالای نانواکسید روی و کمترین آن (۲/۴۰۷) در حالت عدم مصرف روی به‌دست آمد. همچنین مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد دانه در نیام (۳/۲۸) در تلقیح توأم بذر با ریزوبیوم و باکتری‌های محرک رشدی و کمترین آن (۲/۲۹) در حالت عدم تلقیح بذر به‌دست آمد (جدول ۴). این نتایج با نتایج برخی از محققان مبنی بر تأثیرپذیری تعداد دانه در نیام از میزان کود مصرفی (۵) و تلقیح بذر با باکتری (۲) همخوانی داشت.

تعداد نیام در بوته: همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است تیمارهای مورد بررسی اثر معنی‌داری بر تعداد کل نیام در هر بوته داشتند. بالاترین تعداد نیام در هر بوته (۲۳/۲۳ نیام در بوته) در بالاترین سطح از مصرف نانواکسید روی و کمترین آن (۱۷/۹۶ نیام در بوته) در حالت عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد (جدول ۴). مرشدی (۳۰) گزارش کرد که محلول‌پاشی آهن و روی (در دو مرحله یکی قبل از مرحله ساقه روی و دوم دو هفته بعد از محلول‌پاشی نوبت اول و قبل از گلدهی) موجب افزایش تعداد دانه در نیام، تعداد نیام در بوته و افزایش عملکرد دانه گردید. اسدی کنکر شاهی و ملکوتی (۷) مشاهده کردند که مصرف ۴۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار، عملکرد دانه و تعداد نیام در بوته سویا را نسبت به شاهد افزایش داد.

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر نانو اکسید روی و تلقیح بذر با باکتری‌های PGPR و Rhizobium on yield and some agronomic traits of soybean
Table 3- Analysis of variance effects of Nano-Zinc oxide and Seed inoculation with PGPR and Rhizobium on yield and some agronomic traits of soybean

میانگین مربعات														
		M.S												
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد گره	تعداد بذر در	وزن خشک	گره	بوته	دانه در نیام	seed100	وزن صد دانه	عملکرد دانه	طول دوره پر شدن دانه	سرعت پر شدن دانه	دوره موثر پر شدن دانه
S.O.V	Df	Plant height	The number of nodule	The number of pod per plant	Dry weight of nodule		The number of pod per plant	The number of grain per pod	weight		Grain yield	Grain filling period	Grain filling rate	Effective grain filling period
تکرار نانواکسید روی نانواکسید روی × باکتری‌های PGPR و رازینوبیومی Seed inoculation with PGPR and Rhizobium نانواکسید روی × تلقیح بذر با باکتری‌های PGPR و رازینوبیومی Nano-Zinc oxide × Seed inoculation with PGPR and Rhizobium	2	5019.95**	366.84**	5605.65**	79.26**		7.24**	246.64**	434694.9**	291.606**	0.00000019**	17.303**		
	3	1232.1**	100.36**	78.21**	13.68**		1.23**	25.67**	533993.3**	142.174**	0.00000035**	1763.64**		
	4	137.77**	23.23**	98.52**	20.49**		1.67**	17.17**	238861.5**	14.11**	0.00000018**	208.84**		
	12	8.94*	1.52*	0.827 ^{ns}	0.267 ^{ns}		0.0046 ^{ns}	0.337**	1029.3*	16**	0.00000042**	21.19**		
خطای آزمایشی	38	4.01	0.85	7.59	0.421		0.009	0.129	450.83	2.15	0.000000023	3.005		
Error														

ns غیر معنی دار، * و ** پدیده‌های معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
ns, * and ** show no significant and significant differences at 0.05, 0.01 probability level, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر نانو اکسید روی و تلقیح بذر با باکتری‌های PGPR و ریزوبیومی بر وزن خشک گره، تعداد نیام و تعداد دانه در نیام سویا

Table 4- Mean comparison of effects of nano zinc oxide and seed inoculation with PGPR and rhizobium on dry weight of nodule, the number of pod and the number of grain per pod of soybean

فاکتورهای مورد بررسی Treatment studied	وزن خشک گره (mg) Dry weight of nodule	تعداد نیام در بوته The number of pod per plant	تعداد دانه در نیام The number of grain per pod
سطوح نانو اکسید روی (گرم در لیتر) Nano-Zinc oxide ($g\ l^{-1}$)			
Without Nano-Zinc oxide	6.07	17.96	2.407
0.3	7.93	19.23	2.59
0.6	9.03	20.91	2.76
0.9	9.05	23.23	3.08
LSD 5%	0.48	3.03	0.0702
تلقیح بذر با باکتری‌های PGPR و ریزوبیومی Seed inoculation with PGPR and Rhizobium			
Without seed inoculation	6.47	16.304	2.29
تلقیح با ریزوبیوم Seed inoculation with rhizobium	7.62	19.27	2.52
تلقیح توأم با ریزوبیوم و آزوسپریلیوم Seed inoculation with azospirillum and rhizobium	8.33	20.52	2.65
تلقیح توأم بذر با ریزوبیوم و سودوموناس Seed inoculation with psedomonas and rhizobium	9.09	21.94	2.8
تلقیح بذر با ریزوبیوم + سودوموناس + آزوسپریلیوم Seed inoculation with rhizobium, psedomonas and rhizobium	9.85	23.92	3.28
LSD 5%	0.536	2.27	0.0784

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند
Means with similar letters in each column are not significantly different

نسبت دادند که در نهایت منجر به بهبود عملکرد و اجزای عملکرد می‌شود.

عملکرد دانه: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد دانه از ۱۱۱۰ کیلوگرم در هکتار در حالت عدم تلقیح و عدم مصرف کود تا ۱۸۷۵ کیلوگرم در هکتار در بالاترین سطح از محلول‌پاشی با نانو اکسید روی در تلقیح توأم بذر با باکتری‌های محرک رشدی و ریزوبیومی در نوسان بود (جدول ۵). تاندون (۵۱) افزایش عملکرد گندم بر اثر مصرف روی، آهن و منگنز را به ترتیب ۸۶۰، ۷۸۰ و ۵۴۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کرد. چاک ماک و همکاران (۱۱) با مصرف ۲۳ کیلوگرم کود حاوی روی، افزایش معنی‌داری را در عملکرد دانه گندم گزارش کردند. روئستی و همکاران (۳۹) اظهار داشتند که باکتری‌های افزاینده رشد به وسیله ایجاد چرخه مواد غذایی و قابل دسترس ساختن آن‌ها، افزایش حفظ سلامتی ریشه در طول دوره رشد در رقابت با پاتوژن‌های ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی موجب افزایش رشد گیاه می‌شوند. عرب و همکاران (۶) تولید فیتوهورمون‌ها از جمله اکسین توسط باکتری آزوسپریلیوم را، یکی از دلایل افزایش عملکرد گیاهان تلقیح شده با باکتری آزوسپریلیوم عنوان کردند.

تلقیح سبب افزایش معنی‌داری در تعداد نیام در هر بوته شد، به‌طوری‌که بالاترین تعداد نیام در بوته (۲۳/۹۲ عدد) از تلقیح بذر با باکتری‌های ریزوبیوم، آزوسپریلیوم و سودوموناس و کمترین آن (۱۶/۳۴ عدد) در حالت عدم تلقیح بذر با باکتری برآورد گردید (جدول ۴). افزایش تعداد نیام در شرایط تلقیح با باکتری ریزوبیوم می‌تواند به دلیل تأمین مواد غذایی بیشتر و در نتیجه رشد بهتر گیاهان تلقیح شده در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده باشد (۵۸). آلبایراک و همکاران (۳) در مطالعه‌ای بر روی ماشک (*Vicia sativa* L.) بیان کردند که تلقیح بذر با باکتری‌ها سبب افزایش تعداد نیام در بوته در مقایسه با عدم تلقیح با باکتری می‌شود. احمد و همکاران (۲) گزارش کردند که تعداد نیام در بوته‌های تلقیح شده به‌طور معنی‌داری بالاتر از بوته‌های تلقیح نشده بود. در آزمایش پراساد و همکاران (۳۶) محلول‌پاشی نانو اکسید روی به مقدار دو گرم در ۱۵ لیتر آب موجب افزایش تعداد نیام در بوته، وزن هزار دانه و غلظت روی در برگ و دانه بادام زمینی در مقایسه با محلول‌پاشی این کود به فرم معمول و با غلظت ۳۰ گرم در ۱۵ لیتر شد. صالحی و طهماسبی (۴۳) برتری ذرات نانو را به حالالیت بیشتر، سبک و کوچک بودن و شانس برخورد بیشتر این ذرات با گیاه

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر نانو اکسید روی × تلقیح بذر با باکتری های PGPR و ریزوبیومی بر عملکرد، ارتفاع بوته، تعداد گره در بوته و وزن صد دانه سویا
Table 5- Mean comparison of effects of nano zinc oxide and seed inoculation with PGPR and rhizobium on grain yield, plant height, the number of nodule per plant and grain 100 weight of soybean

سطوح نانو اکسید روی (گرم در لیتر) nano zinc oxide (g.lit ⁻¹)	باکتری های محرک رشد PGPR	ارتفاع بوته (cm) Plant height	تعداد گره The number of nodule	وزن صد دانه (g) Grain 100 weight	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)
عدم مصرف کود Without fertilizer	No inoculation	52.11 i	7.42 k	12.7 k	1110 m
	Inoculation by rhizobium	54.93 hi	8.32 kj	13.21 k	1210 l
	Inoculation by rhizobium+Azospirillum	57.03 gh	9.9 i	13.91 j	1290 k
	Inoculation by rhizobium+Pseudomonas	61.06 ef	10.53 hi	15.12 i	1350 j
0.3 گرم در لیتر 0.3 g.lit ⁻¹	Inoculation by rhizobium+Pseudomonas+Azospirillum	63.22 e	11.73 gh	15.75 gh	1410 i
	No inoculation	59 fg	9.03 ij	14.23 j	1185 l
	Inoculation by rhizobium	63.42 e	10.03 i	14.94 i	1300 k
	Inoculation by rhizobium+Azospirillum	67.55 d	10.03 i	15.75 gh	1390.6 i
0.6 گرم در لیتر 0.6 g.lit ⁻¹	Inoculation by rhizobium+Pseudomonas	69.81 d	12.24 fg	16.47 def	1478 h
	Inoculation by rhizobium+Pseudomonas+Azospirillum	70.6 d	14.34 cde	17.05 cd	1560 fg
	No inoculation	70.8 d	12.84 efg	14.23 j	1320 jk
	Inoculation by rhizobium	74.35 c	13.24 defg	15.25 hi	1452 h
0.9 گرم در لیتر 0.9 g.lit ⁻¹	Inoculation by rhizobium+Azospirillum	75.61 bc	13.29 def	16.01 fg	1574 ef
	Inoculation by rhizobium+Pseudomonas	77.68 abc	14.61 bcd	17.39 bc	1610 d
	Inoculation by rhizobium+Pseudomonas+Azospirillum	77.19 abc	14.64 bcd	18.12 a	1725 c
	No inoculation	74.73 c	14.04 cde	16.26 efg	1525 g
0.9 گرم در لیتر 0.9 g.lit ⁻¹	Inoculation by rhizobium	76.602 abc	14.82 bc	16.74 de	1607 de
	Inoculation by rhizobium+Azospirillum	78.66 ab	15.35 abc	17.38 bc	1720 c
	Inoculation by rhizobium+Pseudomonas	79.65 a	16.05 ab	17.78 ab	1800 b
	Inoculation by rhizobium+Pseudomonas+Azospirillum	77.68 abc	16.55 a	18.3 a	1875 a

میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری با هم ندارند

Means with similar letters in each column are not significantly different

جدول ۶- تأثیر نانواکسید روی و تلفیق بذر با باکتری های PGPR و رازوبیومی بر سرعت و طول دوره پر شدن دانه سویا
Table 6- Effects of nano zinc oxide and seed inoculation with PGPR and rhizobium on rate and grain filling period of soybean

ت ترکیب تیماری Treatment compound	دانه Grain filling period (day)	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate (g day ⁻¹)	دانه Effective grain filling period (day)	معادله برازش شده Estimated equation
Without nano zinc oxide × No seed inoculation	57.99 i	0.00314 k	36.97 j	$Y = -0.0582 + 0.00314x$
Without nano zinc oxide × Inoculation by rhizo	59.55 h	0.00333 J	39.32 i	$Y = -0.0597 + 0.00333x$
عدم مصرف نانواکسید روی × تلفیق بذر با رازوبیوم + آزوسیرلیوم by rhizo+Azo without nano zinc oxide × Inoculation	60 h	0.00339 Ji	41.39 h	$Y = -0.754 + 0.00339x$
عدم مصرف نانواکسید روی × تلفیق بذر با رازوبیوم + سودوموناس by rhizo+Pseido without nano zinc oxide × Inoculation	60.15 gh	0.00352 hi	42.35 gh	$Y = -0.068 + 0.00352x$
عدم مصرف نانواکسید روی × تلفیق بذر با رازوبیوم + سودوموناس + آزوسیرلیوم Without zinc × Inoculation by rhizo+Pseido+Azos	60.87 g	0.00352 hi	42.74 gh	$Y = -0.064 + 0.00352x$
0.3 g.lit ⁻¹ × No seed inoculation	63.66	0.00359 h	43.04 g	$Y = -0.0634 + 0.00359x$
0.3 g.lit ⁻¹ × Inoculation by rhizo	63.87 ef	0.00384 g	45.18 f	$Y = -0.743 + 0.00384x$
0.3 g.lit ⁻¹ × Inoculation by rhizo+Azos	63.97 ef	0.00383 g	46.13 ef	$Y = -0.01718 + 0.00383x$
Inoculation by rhizo+Azos × 0.3 g.lit ⁻¹	64.11 def	0.00407 ef	46.26 ef	$Y = -0.0725 + 0.00407x$
مصرف ۱/۳ گرم در لیتر نانواکسید روی × تلفیق بذر با رازوبیوم + سودوموناس مصرف ۱/۳ گرم در لیتر نانواکسید روی × تلفیق بذر با رازوبیوم + سودوموناس + آزوسیرلیوم مصرف ۱/۳ گرم در لیتر نانواکسید روی × تلفیق بذر با رازوبیوم + سودوموناس + آزوسیرلیوم 0.3 g.lit ⁻¹ × Inoculation by rhizo+Pseido+Azos	64.49 cde	0.00408 ef	46.78 de	$Y = -0.0743 + 0.00408x$
0.6 g.lit ⁻¹ × No seed inoculation	64 def	0.00403 f	46.79 de	$Y = -0.0736 + 0.00403x$
Inoculation by rhizo × 0.6 g.lit ⁻¹	64.07 def	0.00411 ef	47.13 de	$Y = -0.0723 + 0.00411x$
مصرف ۱/۶ گرم در لیتر نانواکسید روی × تلفیق بذر با رازوبیوم + آزوسیرلیوم مصرف ۱/۶ گرم در لیتر نانواکسید روی × تلفیق بذر با رازوبیوم + آزوسیرلیوم 0.6 g.lit ⁻¹ × Inoculation by rhizo+Azos	64.407 cde	0.00426 cd	47.25 de	$Y = -0.0757 + 0.00426x$
by rhizo+psedo 0.6 g.lit ⁻¹ × Inoculation	64.52 cde	0.00437 bc	47.69 cd	$Y = -0.0787 + 0.00437x$
مصرف ۱/۹ گرم در لیتر نانواکسید روی × تلفیق بذر با رازوبیوم + سودوموناس + آزوسیرلیوم مصرف ۱/۹ گرم در لیتر نانواکسید روی × تلفیق بذر با رازوبیوم + سودوموناس + آزوسیرلیوم 0.6 g.lit ⁻¹ × Inoculation by rhizo+Pseido+Azo	64.58 cde	0.00439 bc	47.78 cd	$Y = -0.0701 + 0.00439x$
0.9 g.lit ⁻¹ × No seed inoculation	64.72 cd	0.00418 de	47.9 cd	$Y = -0.0714 + 0.00418x$
Inoculation by rhizo × 0.9 g.lit ⁻¹	65.07 bc	0.00441 b	48.71 c	$Y = -0.0845 + 0.00441x$
مصرف ۱/۹ گرم در لیتر نانواکسید روی × تلفیق بذر با رازوبیوم + آزوسیرلیوم مصرف ۱/۹ گرم در لیتر نانواکسید روی × تلفیق بذر با رازوبیوم + آزوسیرلیوم 0.9 g.lit ⁻¹ × Inoculation by rhizo+Azos	65.65 b	0.00444 b	48.74 c	$Y = -0.0787 + 0.00444x$
مصرف ۱/۹ گرم در لیتر نانواکسید روی × تلفیق بذر با رازوبیوم + سودوموناس مصرف ۱/۹ گرم در لیتر نانواکسید روی × تلفیق بذر با رازوبیوم + سودوموناس 0.9 g.lit ⁻¹ × Inoculation by rhizo+Pseido	66.94 a	0.00449 b	52.11 b	$Y = -0.0792 + 0.00449x$
مصرف ۱/۹ گرم در لیتر نانواکسید روی × تلفیق بذر با رازوبیوم + سودوموناس + آزوسیرلیوم مصرف ۱/۹ گرم در لیتر نانواکسید روی × تلفیق بذر با رازوبیوم + سودوموناس + آزوسیرلیوم 0.9 g.lit ⁻¹ × Inoculation by rhizo+Pseido+Azos	66.76 a	0.00476 a	54.65 a	$Y = -0.081 + 0.00476x$

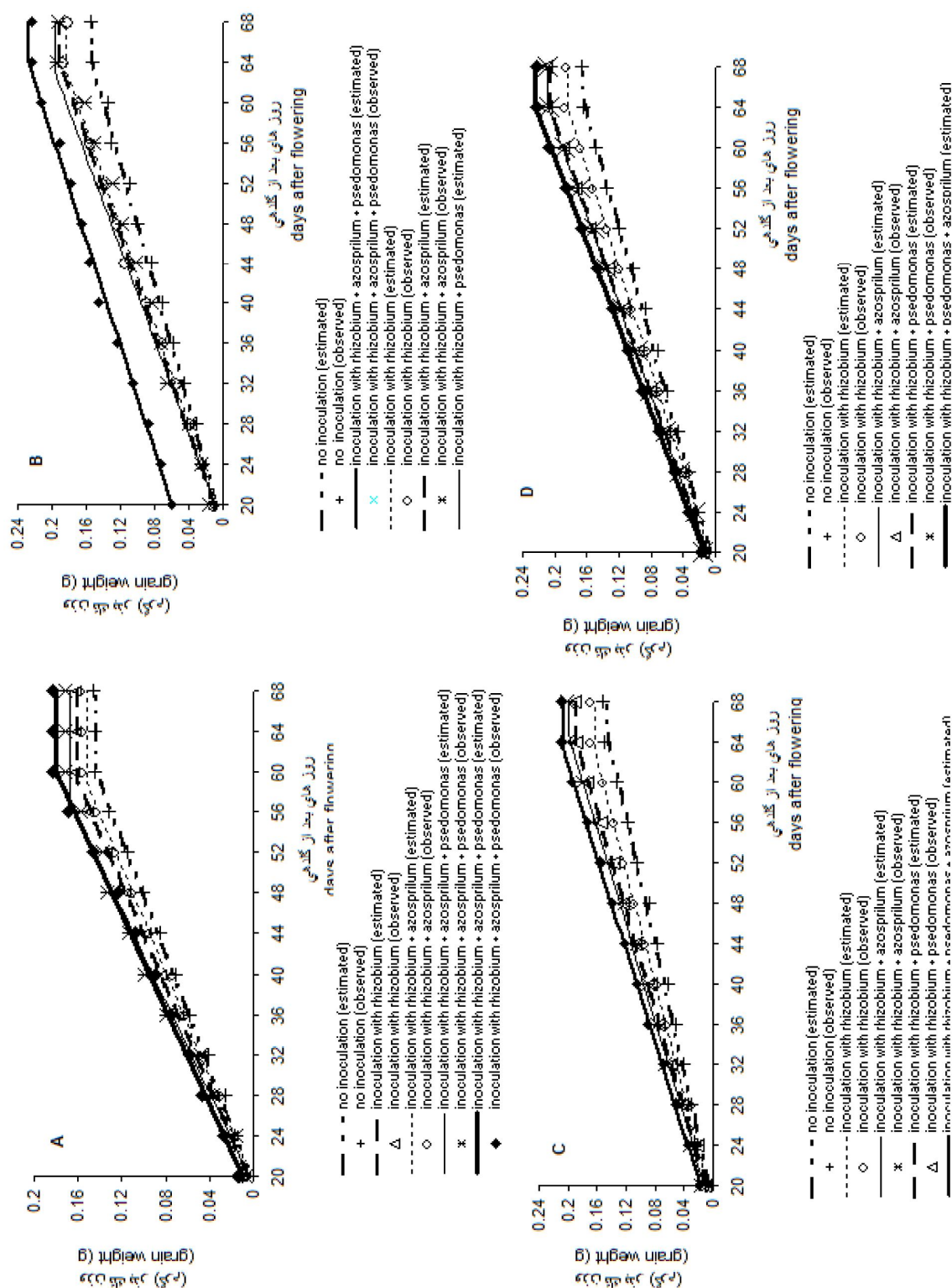
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند

Means with similar letters in each column are not significantly different

شریواستوا و همکاران (۴۶) گزارش کردند که تلقیح با رایزوبیوم سبب افزایش ۸/۶ درصدی در عملکرد سویا در مقایسه با کاربرد معمول کود شد. دشتی و همکاران (۱۵) بیان کردند که میزان تثبیت نیتروژن به دلیل اثر مثبت حضور باکتری رایزوبیوم جاپونیکوم بر تعداد و وزن گره‌های فعال تثبیت کننده نیتروژن در تیمارهای تلقیح شده سویا، افزایش معنی داری نشان داد. آلبایراک و همکاران (۳) در مطالعه‌ای بر روی ماشک به این نتیجه رسیدند که تلقیح سبب افزایش ۸/۵ درصدی عملکرد بیولوژیکی و ۷/۶ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با عدم تلقیح با باکتری شد. نتایج مشابهی توسط مالیک و همکاران (۲۵) در سویا گزارش شده است. این محققان افزایش در میزان رشد و عملکرد را به افزایش تأمین عناصر غذایی در طی دوره رشد به واسطه تلقیح بذر با رایزوبیوم نسبت دادند. پاندى و همکاران (۳۴) علت اصلی افزایش عملکرد نخود را به واسطه مصرف نانو اکسید روی، به افزایش سطح ایندول استیک اسید در ریشه نسبت دادند. مونیکا و کریمونیلینی (۲۹) اثرگذاری بیشتر ذرات نانو را در مقایسه با فرم متداول آن، به سطح مخصوص، سرعت بالای جذب و انتقال نسبت دادند. لیو و همکاران (۲۳) دلیل اصلی افزایش عملکرد در کاربرد ترکیبی نانو اکسید سیلیس و نانو اکسید تیتانیوم را به افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز و افزایش توانایی گیاه در جذب و استفاده از آب و کود نسبت دادند.

طول دوره پر شدن دانه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر نانو اکسید روی و تلقیح بذر با باکتری‌های PGPR و رایزوبیومی بر سرعت و طول دوره پر شدن دانه سویا نشان داد که اثر نانو اکسید روی، تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشدی و رایزوبیومی و اثر ترکیب تیماری این دو عامل بر سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار گردید (جدول ۳). روند پر شدن دانه سویا متأثر از نانو اکسید روی و تلقیح بذر با باکتری‌های PGPR و رایزوبیومی در شکل ۲ نشان داد که در سطح ثابت از محلول پاشی با نانو اکسید روی و در سطوح مختلف تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و رایزوبیومی، الگوی نمو بذر در ابتدا در حالت عدم تلقیح و تلقیح بذر با کلیه باکتری‌های محرک رشد و رایزوبیومی مشابه است. بدین ترتیب که ابتدا وزن دانه به صورت خطی افزایش یافته و به حداکثر خود رسید. پس از این مرحله وزن دانه تغییرات محسوسی نداشته و به صورت یک خط افقی درآمد. در واقع رشد دانه شامل سه مرحله متمایز کند، خطی و کند ثانویه یا رسیدگی می‌باشد (۵۴). از آنجایی که قسمت اعظم رشد دانه در مرحله رشد خطی تشکیل می‌گردد، مطالعه روند رشد دانه معمولاً به بررسی سرعت و مدت رشد دانه در این مرحله اختصاص پیدا می‌کند. براساس نتایج به دست آمده مشخص گردید که در تمامی ترکیب‌های تیماری، بین باکتری‌های محرک رشد در سطوح ثابت از مصرف نانو اکسید

روی، از نظر دوره‌ی مؤثر پر شدن، سرعت و طول دوره‌ی پر شدن دانه تفاوت‌هایی وجود دارد. به عبارت دیگر شیب خط برازش شده یا سرعت پر شدن دانه در تلقیح بذر با باکتری‌ها یکسان نبود که حاکی از تفاوت در سرعت پر شدن دانه در تیمارهای مختلف از مصرف نانو اکسید روی می‌باشد. به طوری که در حالت عدم مصرف کود، وزن تک بذر کمترین و در بالاترین سطح کودی بیشترین مقدار آن برآورد گردید (شکل ۲). به نظر می‌رسد با افزایش کود مصرفی، به دلیل افزایش میزان اسیمیلایون و نقل و انتقال مواد به دانه، پر شدن دانه افزایش می‌یابد. وزن نهایی دانه نتیجه‌ی رشد دانه در طول دوره‌ی خطی یا دوره‌ی مؤثر پر شدن دانه است و فراهمی اسیمیلات‌ها یک عامل مهم برای دوره‌ی مؤثر پر شدن دانه محسوب می‌شود (۱۴). طول دوره‌ی مؤثر پر شدن دانه نیز در مقادیر مختلف از مصرف نانو اکسید روی و در تلقیح با باکتری‌های محرک رشد متفاوت بود، به طوری که با افزایش مصرف کود، طول دوره‌ی مؤثر پر شدن دانه نیز افزایش یافت. همچنین تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد نسبت به عدم تلقیح بذر موجب افزایش طول دوره‌ی مؤثر پر شدن دانه گردید. حداکثر طول دوره‌ی پر شدن دانه (۶۶/۹۴ روز) در ترکیب تیماری مصرف ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید روی و در تلقیح توأم بذر با باکتری‌های محرک رشدی و رایزوبیومی و حداقل طول این دوره (۵۷/۹۹ روز) در عدم مصرف نانو اکسید روی و عدم تلقیح بذر برآورد گردید (جدول ۶). چو و همکاران (۱۳) بالا بودن سرعت پر شدن دانه را در بوته‌هایی گزارش کردند که کود را به صورت سرک دریافت کرده بودند. تسونو و همکاران (۵۳) اظهار داشتند که مصرف کود در طول دوره‌ی رشد به‌ویژه دوره‌ی پر شدن دانه موجب بالا نگه داشتن میزان کلروفیل برگ‌های بالایی و تأخیر در پیری برگ می‌گردد و نانو کودها می‌توانند با کمک به قابلیت تنظیم و رهاسازی آهسته و مداوم عناصر غذایی (۲۲)، موجب افزایش میزان مواد فتوسنتزی و سرعت فتوسنتز در اندام‌های فتوسنتز کننده و افزایش وزن دانه می‌گردد. مظاهری نیا و همکاران (۲۷) اظهار داشتند که نانو اکسید آهن در مقایسه با آهن معمولی، در افزایش وزن دانه در سنبله گندم از برتری قابل توجهی برخوردار بود. نتایج نشان داد که طول دوره‌ی مؤثر پر شدن دانه با افزایش کود مصرفی و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و رایزوبیومی افزایش یافت (جدول ۶). حداکثر طول این دوره (۵۴/۶۵ روز) به ترکیب تیماری مصرف ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید روی و در تلقیح بذر با رایزوبیوم و آزوسپریلیوم و حداقل طول این دوره (۳۶/۹۷ روز) به عدم مصرف کود و عدم تلقیح بذر تعلق داشت. نتیجه اینکه، ترکیب تیماری ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید روی در تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشدی و رایزوبیومی از حداکثر شیب (۰/۰۴۷۶) و ترکیب تیماری عدم مصرف کود و عدم تلقیح بذر از حداقل شیب (۰/۰۳۱۴) برخوردار بود. گی و همکاران (۱۹) نیز حداکثر وزن دانه را به رابطه بین سرعت و طول دوره پر شدن دانه نسبت دادند.



شکل ۲- روند تغییرات سرعت پر شدن دانه سویا در سطوح مختلف تلقیح بذر با باکتری‌های رایزوبیومی و محرک رشدی در حالت عدم مصرف (A)، مصرف ۰/۳ (B)، ۰/۶ (C) و ۰/۹ گرم در لیتر (D) نانواکسید روی

Figure 2- variation trend of grain filling rate of soybean at various levels of seed inoculation with rhizobium and PGPR, without nano zinc oxide (A), application of 0.3 (B), 0.6 (C) and 0.9 g.lit⁻¹ of nano zinc oxide (D)

نتیجه‌گیری

محلول‌پاشی با نانو اکسید روی روشی مناسب برای افزایش عملکرد سویا است. از این رو به منظور افزایش عملکرد دانه، شاخص‌های رشدی، تعداد و وزن گره در بوته می‌توان پیشنهاد نمود که ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید روی در تلقیح توأم بذر سویا با باکتری‌های محرک رشد و ریزوبیومی به کار برده شود.

در این بررسی عملکرد و اجزای عملکرد سویا تحت تأثیر مقادیر نانو اکسید روی و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشدی و ریزوبیومی قرار گرفتند، به‌طوری‌که بالاترین عملکرد، تعداد و وزن خشک گره در هر بوته در سطوح بالای مصرف نانو اکسید روی و تلقیح با باکتری‌ها به‌دست آمد. به نظر می‌رسد استفاده از کودهای بیولوژیک و

References

- Adgo, E., and Schulze, J. 2002. Nitrogen fixation and assimilation efficiency in Ethiopian and German pea varieties. *Plant and Soil* 239: 291-299.
- Ahmed, R., Solaiman, M. A., Halder, M., Siddiky, N. K., and Islam, M. S. 2007. Effect of inoculation methods of *Rhizobium* on yield attributes, yield and protein content in seed of pea. *Journal of Soil Science* 1 (3): 30-35.
- Albayrak, S., Sevimey, C. S., and Tongel, O. 2006. Effect of inoculation with rhizobium on seed yield and yield components of common vetch (*Vicia sativa* L.). *Turkish Journal of Agricultural Forestry* 30: 31-37.
- Alvaro, F., Isidro, J., Villegas, D., Corcia del mora, L. F., and Royo, C. 2008. Effect of breeding on grain filling, biomass partitionning, and remobilization in mediterranean durum (*Triticum turgidum* L. Var. Durum). *Central European Journal of Biology* 3 (1): 75-82.
- Amany, A. B. 2007. Effect of plant density and urea foliar application on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Research Journal of Agriculture and Biological Science* 3 (4): 220-223.
- Arab, S. M., Akbari, G. A., Alikhani, H. A., Arzanesh, M., and Dady, A. 2007. Study of the ability of auxin production by bacteria isolated genus *Azospirillum* and evaluation of the effects of growth promoting of top strain on sweet corn. *Iranian Journal of Field Crops Research* 6 (2): 217-225.
- Asadi Kangar, A., and Malakoti, M. J. 2002. Determine the critical level of zinc by method of Kate Nelson and Mitscherlich for soybean under field conditions. *Eighth Congress of Soil Science*. Rasht, Iran.
- Begum, A. A., Leibovitch, S., Migner, P., and Zhang, F. 2001. Inoculation of pea (*Pisum sativum* L.) by *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae pre incubated with naringenin and hesperetin or application of naringenin and hesperetin directly into soil increased pea nodulation under short season conditions. *Plant and Soil* 237: 71-80.
- Brdar, M. D., Kraljevic-Balalic Marija, M., and Borislav, D. 2008. The parameters of grain filling and yield components in common wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*Triticum turgidum* L. Var. Durum). *Central European Journal of Biology* 3 (1): 75-82.
- Burd, G. I., Dixon, D. G., and Glick, B. R. 2000. Plant Growth Promoting Rhizobacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. *Canadian Journal of Microbiology* 33: 237-245.
- Cakmak, I., Yilmaz, A. M., Kalayci, H., Ekiz, B., Torun, B. H., Erenoglu, J., and Braun, L. 1996. Zinc deficiency as a critical problem in wheat production in central Anatolia. *Plant and Soil* 180: 165-172.
- Cakmakci, R. I., Donmez, M. F., and Erdogan, U. 2007a. The effect of Plant Growth Promoting rhizobacteria on barely seedling growth, nutrient uptake, some soil properties, and bacterial counts. *Turkish Journal of Agricultural* 31: 189-199.
- Cho, D. S., Jong, S. K., Park, Y. K., and Son, S. Y. 1987. Studies on the duration and rate of grain filling in rice (*Oryza sativa* L.). I. Varietal difference and effects of nitrogen. *Korean Journal of Crop Science* 32 (1): 103-111.
- Cirilo, A. G., and Andrade, F. H. 1996. Sowing date and kernel weight in maize. *Crop Science* 36: 325-331.
- Dashti, N., Zhang, F., Rynes, H., and Smith, D. L. 1998. Plant growth promoting rhizobacteria accelerate nodulation and increase nitrogen fixation activity by field grown soybean (*Glycine max* L.) under short season conditions. *Plant and Soil* 200: 205-213.
- Dileep Kumar, S. B., Berggren, I., and Martensson, A. M. 2001. Potential for improving pea production by coinoculation with Fluorescent *Pseudomonas* and *Rhizobium*. *Plant and Soil* 229 (1): 25-34.
- Egamberdiyeva, D. 2007. The effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils. *Applied Soil and Ecology* 36: 184.
- Ellis, R. H., and Pieta-Filho, C. 1992. The development of seed quality in spring and winter cultivars of barley and wheat. *Seed Science Research* 2: 19-25.
- Gay, S. D., Egli, B., and Reicosky, D. A. 1980. Physiological aspects of yield components in soybeans. *Agron Journal* 72: 387-391.
- Hafeez, F. Y., Shah, H., and Malik, K. A. 2000. Field evaluation of lentil cultivars inoculated with rhizobium leguminosarum bv.viciae strains for nitrogen fixation using nitrogen-15-isotope dilution. *Biology and Fertility of Soils* 31: 65-69.

21. Khoshgoftarmanesh, A. H. 2002. Principles of Plant Nutrition. Isfahan University of Technology Press. 462 pp. (in Persian).
22. Liu, X., Feng, Z., Zhang, S., Zhang, J., Xiao, Q., and Wang, Y. 2006. Preparation and testing of cementing nano-subnano composites of slower controlled release of fertilizers. *Agriculture Sciences* 39: 1598-1604.
23. Lu, C. M., Zhang, C. Y., Wu, J. Q., and Tao, M. X. 2002. Research of the effect of nanometer on germination and growth enhancement of *Glycine max* and its mechanism. *Soybean Sciences* 21: 168-172.
24. Malakoti, M. H., and Tehrani, M. M. 2008. The role of microelements in increasing of yield and improve the quality of agricultural products. Agricultural Education press. 176 PP.
25. Malik, M. A., Cheema, M. A., and Khan, H. Z. 2006. Growth and yield response of soybean (*Glycine max* L.) to seed inoculation and varying phosphorus levels. *Journal of Agricultural Research* 44 (1): 47-53.
26. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press. New York. 890 PP.
27. Mazaherinia, S., Astarai, A. R., Fotovat, A., and Monshi, A. 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. *World Applied Sciences Journal* 7 (1): 36-40.
28. Mohamad, W., Iqbal, M., and Shal, S. M. 1990. Effect of mode of application of zinc and iron on yield of wheat. *Journal of Agriculture* 6 (6): 615-618.
29. Monica, R. C., and Cremonini, R. 2009. Nanoparticles and higher plants. *Caryologia* 62: 161-165.
30. Morshedi, A. 2000. Study of the effects of foliar application iron and zinc on yield and quality traits of canola (*Brassica napus* L.) seeds. Master Thesis of Soil Science, faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares. 89 pp.
31. Naderi, M. R., and Abedi, A. 2012. Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. *Nanotechnology Journal* 11 (1): 18-26. (in Persian with English abstract).
32. Ogutcu, H., Algur, O. F., Elkoca, E., and Kantar, F. 2008. The determination of symbiotic effectiveness of Rhizobium strains isolated from wild chickpea collected from high altitudes in Erzurum. *Turkish Journal of Agricultural Forestry* 32: 241-248.
33. Olger, R., Bergman, J., and Read, K. 1997. Safflower seed yield and oil content as affected by water and nitrogen. *Fertilizer facts* 4: 14-17.
34. Pandey, A. C., Sanjay, S. S., and Yadav, R. S. 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum* L. *Journal of Experimental Nanoscience* 5: 488-497.
35. Peyvandi, M., Parande, H. and Mirza, M. 2011. Comparison of nano Fe chelate with Fe chelate effect on growth parameters and antioxidant enzymes activity of *Ocimum Basilicum*. *New Cell Molecular Biotechnology* 4: 89-99.
36. Prasad, T. N., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., and Pradeep, T. 2012. Effect of nanoscales Zinc Oxide on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition* 35: 905-927.
37. Raei, Y., Sedghi, M., and Seyed Sharifi, R. 2008. Effects of rhizobial inoculation, urea application and weed on growth and seed filling rate in soybean. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science* 12 (43): 8-91.
38. Rehm, G., and Echmitt, M. 2002. Zinc for crop production. Regents of the response to early season foliar fertilization among and within fields. *Agronomy Journal* 93.
39. Roesti, D., Gaur, R., Johri, B. N., Imfeld, G., Sharma, S., Kawaljeet, K., and Aragno, M. 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bioinoculation of Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the Rhizobacterial community structure in rain-fed wheat fields. *Soil of Biology and Biochemistry* 38: 1111-1120.
40. Ronanini, D., Savin, U., and Hall, R. 2004. Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. *Field Crop Research* 83: 79-90.
41. Rose, I. A., Felton, W. L., and Banks, L. W. 2005. Responses of four soybean varieties to foliar zinc fertilizer. *Australian Journal of Experimental Agriculture and animal Husbandry* 3: 285-291.
42. Rudresh, D. L., Shivaprakash, M. K., and Prasad, R. D. 2005. Effect of combined application of Rhizobium, phosphate solubilizing bacterium and Trichoderma spp. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer aritenium* L.). *Applied Soil Ecological* 28: 139-146.
43. Salehi, M., and Tamaskoni, F. 2008. Effect nanocid at seed treatment on germination and seedling growth of wheat under salinity. *Seed Science and Technology* 2: 204-209.
44. Seiedi, M. N., and Seyed Sharifi, R. 2014. The effects of seed inoculation with rhizobium and nitrogen application on yield and some agronomic characteristics of soybean (*Glycine max* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 11 (4): 618-628. (in Persian with English abstract).
45. Seyed Sharifi, R. 2013. Industrial Plants. University of Mohaghegh Ardabili and Amidi press. Third edition. 107-133 pp. (in Persian).
46. Shrivastava, U. K., Rajput, R. L., and Dwivedi, M. L. 2000. Response of soybean-mustard cropping system to sulfur and bio-fertilizers on farmer's field. *Leguminose Research* 23: 277-278.
47. Sogut, T. 2006. Rhizobium inoculation improves yield and nitrogen accumulation in soybean (*Glycine max*) cultivars better than fertilizer. *New Zealand Journal of Crop and Horticulture Science* 34: 115-120.

48. Stancheva, I., Geneva, M., Zehirov, G., Tsvetkova, G., Hristozkova, M., and Georgiev, G. 2006. Effects of combined inoculation of pea plants with arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobium on nodule formation and nitrogen fixing activity. Genetic Applied and Plant Physiology. Special issue: 61-66.
49. Syverud, T. D., Walsh, L. M., Oplinger, E. S., and Kelling, K. A. 1980. Foliar fertilization of soybean (*Glycine max* L.). Communication Soil Science and Plant Nutrition 11: 637-651.
50. Takker, P. N., and Walker, C. D. 1993. The distribution and correction of zinc deficiency. pp. 151-165. In: Zinc in Soils and Plants. Ed: A.D. -Robson Kluwer Academic Publisher, Lordecht.
51. Tandon, H. L. S. 1995. Micronutrients in soils, crops and fertilizers. A sourcebook-cum- Directory. Fertilizers Development and Consultation Organization, New Dehli, India.
52. Togay, N., Togay, Y., Cimrin, K. M., and Turan, M. 2008. Effect of Rhizobium inoculation, sulfur and phosphorus application on yield, yield components and nutrient uptake in chick pea (*Cicer arietinum* L.). African Journal of Biotechnology 7 (6): 776-782.
53. Tsuno, Y., Yamaguchi, T., and Nakano, J. 1994. Potential dry matter production and grain filling process of rice plant from the viewpoint of source-sink relationships and the role of root respiration in its relationship. Crop Science 47: 1-10.
54. Vansan Ford, D. A. 1985. Variation in kernel growth characters among soft red winter wheat. American Society of Agronomy 25 (4): 626-630.
55. Varco, J. J. 1999. Nutrition and fertility requirements. Pp: 53-70. In: Heatherly, L.G., and Hodges, H.F. (Eds.) Soybean Production in the Mid-South. CRC Press, Boca Raton, FL.
56. Vessey, J. K., and Buss, T. J. 2002. Bacillus cereus UW85 inoculation effects on growth, nodulation, and N accumulation in grain legumes. Controlled-environment studies. Canadian Journal of Plant Science 82: 282-290.
57. Welch, R. M. 2001. Impact of mineral nutrients in plants on human nutrition on a worldwide scale. Developments in Plant and Soil Sciences 92 (5): 284-285.
58. Wheat. Agronomy Journal 100: 361-370.
59. Wheats. Crop Science 25: 625-630.
60. Wu, S. C., Cao, Z. H., Li, Z. G., and Cheung, K. C. 2005. Effect of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: agreen house trial. Geoderma 125: 155-166.
61. Yang, F., Hong, F. S., You, W. J., Liu, C., Wu, C., and Yang, P. 2006. Influences of nanoanatase TiO₂ on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biological Trace Element Research 110: 179-190.
62. Zahir, A. Z., Arshad, M., and Khalid, A. 1998. Improving maize yield by inoculation wit plant growth promoting rhizobacteria. Pakistan Journal of Soil Science 15: 7-11.



Effects of Nano-Zinc oxide and Seed Inoculation by Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Yield, Yield Components and Grain Filling Period of Soybean (*Glycine max* L.)

R. Seyed Sharifi^{1*} - S. Khoramdel²

Received: 19-02-2014

Accepted: 19-01-2015

Introduction

Utilizing biological fertilizer is a proper and cheap method for crop production. Potentially, soybean can be used as biological fertilizers and seed inoculation. Zinc is an essential element that have positive effects on plant growth and its development. Canola, sunflower, soybean and safflower are the main cultivated oilseeds in Iran. Soybean production in Iran is very low as compared to other countries. One of the most effective factor in increasing the soybean yield is seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and application of Zinc fertilizer. Some of the benefits provided by PGPR are the ability to produce gibberellic acid, cytokinins and ethylene, N₂ fixation, solubilization of mineral phosphates and other nutrients (56). Numerous studies have shown a substantial increase in dry matter accumulation and seed yield following inoculation with PGPR. Seyed Sharifi (45) reported that seed inoculation with *Azotobacter chroococcum* strain 5 increased all of the growth indices such as total dry matter, crop growth rate and relative growth rate. Increasing and extending the role of biofertilizers such as *Rhizobium* can reduce the need for chemical fertilizers and decrease adverse environmental effects. Therefore, in the development and implementation of sustainable agricultural techniques, biofertilization has great importance in alleviating environmental pollution and deterioration of the nature. As a legume, soybean can obtain a significant portion (4-85%) of its nitrogen requirement through symbiotic N₂ fixation when grown in association with effective and compatible *Rhizobium* strains. Since there is little available information on nano-zinc oxide and seed inoculation by plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield in the agro-ecological growing zones of Ardabil province of Iran. Therefore, this research was conducted to investigate the effects of nano-zinc oxide and seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria application on yield, yield components and grain filling period of soybean.

Materials and Methods

In order to study the effects of Nano-Zinc oxide and seed inoculation with Brady rhizobium and plant growth promoting rhizobacteria on yield and some agronomic characteristics of soybean, a factorial experiment based on randomized complete block design with three replications was conducted in 2013 at the research farm of the Islamic Azad University, Ardabil Branch. Factors were included foliar application of Nano-Zinc oxide at four levels (Zero as control, 0.3, 0.6 and 0.9 g l⁻¹) and seed inoculation with Brady rhizobium and plant growth promoting rhizobacteria at five levels (without inoculation as control, seed inoculation with Brady rhizobium japonicum, seed inoculation with Brady rhizobium japonicum+Azosprillum lipoferum strain OF, seed inoculation with Brady rhizobium japonicum+Pseudomonas putida, seed inoculation with Brady rhizobium japonicum+ Azosprillum lipoferum strain OF+ Pseudomonas putida).

Results and Discussion

The results of growth indices showed that the maximum total dry matter (530 g m⁻²), crop growth rate (9.48 g.m⁻².day⁻¹) and relative growth rate (0.1 g.g⁻¹.day⁻¹) were obtained at foliar application of 0.9 g l⁻¹ Nano-Zinc oxide×seed inoculation with rhizobium+Azosprillum+ Pseudomonas and the least of these indices were obtained without of foliar application Nano-Zinc oxide × seed inoculation. The results showed that plant height, the number of nodules per plant, the number of pod per plant, grain yield and grain 100 weight were significantly affected by Nano-Zinc oxide, seed inoculation and interaction of Nano-Zinc oxide×seed inoculation. Maximum of plant height, grain 100 weight, the number of nodules per plant and grain yield were obtained at foliar

1- Associate Professor of College of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Assistant Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(*- Corresponding Author Email: Raouf_ssharifi@Yahoo.com)

application of 0.9 g l^{-1} of Nano-Zinc oxide×seed inoculation with rhizobium and PGPR. Dry weight of nodules per plant, the number of pod per plant and the number of grains per plant increased by increasing of Nano-Zinc oxide application. Similar results were obtained in seed inoculation with rhizobium+PGPR. In order to increase the grain yield, growth indices and some agronomic characteristics of soybean, it is suggested to apply 0.9 g l^{-1} of Nano-Zinc oxide and at seed inoculation with rhizobium and PGPR.

Conclusions

Based on the results, it was concluded that application of 0.9 g l^{-1} of Nano-Zinc oxide and at seed inoculation with rhizobium and PGPR can be recommended for profitable soybean production in the study area.

Keywords: PGPR, Seed inoculation, Soybean, Zinc oxide nanoparticles

ارزیابی تحمل به یخزدگی اکوتیپ‌های بارهنگ سرنیزه‌ای (*Plantago lanceolata* L.) در شرایط کنترل شده

مریم جانعلی زاده^۱ - احمد نظامی^{۲*} - ابراهیم ایزدی دربندی^۳ - مهدی پارسا^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۲۰

چکیده

به منظور بررسی تحمل به یخزدگی بارهنگ سرنیزه‌ای، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. پنج اکوتیپ بارهنگ (بجنورد، کلات، مشهد، قاین و بیرجند) پس از سه ماه رشد و خوسرمایی در شرایط طبیعی در معرض هشت دمای یخزدگی (صفر، ۳-، ۶-، ۹-، ۱۲-، ۱۵-، ۱۸- و ۲۱- درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند. سپس گیاهان برای بازیافت به محیط گلخانه منتقل شدند. یک ماه بعد، بقاء و برخی از خصوصیات رشدی گیاهان با اندازه‌گیری صفاتی چون درصد بقاء، دمای پنجاه درصد کشندگی براساس درصد بقاء (LT_{50su})، تعداد برگ، سطح برگ، وزن خشک برگ و دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک ($RDMT_{50}$) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که درصد بقای اکوتیپ مشهد بیشتر از چهار اکوتیپ دیگر و LT_{50su} آن نیز ۵/۳ درجه سانتی‌گراد از اکوتیپ بیرجند کمتر بود. اثر متقابل اکوتیپ و دما بر درصد بقاء معنی‌دار بود و تنها اکوتیپ‌های مشهد و بجنورد در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد بقاء داشتند. با کاهش دما به کمتر از ۱۲- درجه سانتی‌گراد، تعداد و سطح برگ گیاهان کاهش یافت. همچنین کاهش دما به کمتر از ۶- درجه سانتی‌گراد وزن خشک گیاهان را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. براساس شاخص $RDMT_{50}$ اکوتیپ بجنورد متحمل‌ترین و اکوتیپ بیرجند حساس‌ترین اکوتیپ بودند. بین درصد بقاء، دمای پنجاه درصد کشندگی براساس درصد بقاء و $RDMT_{50}$ همبستگی منفی و معنی‌داری (به ترتیب $r = -0.97^{***}$ و $r = -0.53^*$) وجود داشت.

واژه‌های کلیدی: بازیافت، بقاء، دمای پنجاه درصد کشندگی، وزن خشک

مقدمه

(Ceres Tonic و Grasslands Lancelot) با عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی و ارزش غذایی زیاد برای دام‌ها در نیوزیلند، توجه سایر محققان را به اهلی‌سازی این گیاه، به‌عنوان گیاه علوفه‌ای و مرتعی جدید به خود جلب کرده است (۲۸ و ۳۲). براساس اطلاعات موجود، این گیاه می‌تواند زیست توده‌ای بیش از ۲۰ تن در هکتار در سال تولید کند، به‌طوری‌که نسبت به بسیاری از گیاهان علوفه‌ای برگ باریک متداول و شیدرها، عملکرد بیشتری داشته باشد (۳۳). همچنین ترکیبات ضد میکروبی موجود در این گیاه تخمیر شکمبه‌ای را متوقف و ترکیب اسیدهای چرب فرار شکمبه را تغییر می‌دهد. این تغییرات پتانسیل اثرگذاری بر کاهش نفخ، افزایش بازدهی دام و بهبود ترکیب شیر آن را دارا می‌باشند (۳۲).

هرچند بررسی‌ها نشان داده است که بارهنگ سرنیزه‌ای در دماهای پایین به‌خوبی رشد می‌کند (۸) و اساساً یکی از علل گرایش به کشت بارهنگ در نیوزیلند، سبز بمانی^۴ و دوام بالای برگ‌های این گیاه در طی زمستان بوده است (۳۲) اما در آزمایشی که توسط اسکینر

جنس بارهنگ (*Plantago*) متعلق به خانواده Plantaginaceae است. گونه‌های جنس *Plantago* برای مقاصد دارویی مختلف استفاده می‌شوند (۴). به‌عنوان مثال از قرن‌ها پیش، برگ و بذریه‌های بارهنگ کبیر (*Plantago major*) برای درمان بیماری‌های مرتبط با پوست، دستگاه تنفس، دستگاه تولید مثل، اندام‌های گوارشی و سیستم گردش خون استفاده می‌شده است (۲۹). بارهنگ سرنیزه‌ای (*Plantago lanceolata* L.) به لحاظ داشتن ترکیبات شیمیایی از قبیل گلوکوزید اوکوبین (۱) و خواص دارویی از جمله خواص ضد سم و ضد التهاب (۲۹) تقریباً مشابه بارهنگ کبیر است.

اخیراً تولید واریته‌های زراعی از بارهنگ سرنیزه‌ای

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه فردوسی مشهد
۲ و ۳- به‌ترتیب استاد و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه فردوسی مشهد

*- نویسنده مسئول (Email: nezami@um.ac.ir)

پیشنهاد کرده‌اند (۲۳). مشابه شاخص LT_{50su} گیاهانی با $RDMT_{50}$ کمتر از مقاومت بیشتری به یخ‌زدگی برخوردارند. هکنبای و همکاران (۱۲) در بررسی تحمل به یخ‌زدگی چندین گونه یونجه (*Medicago* spp.) و شبدر (*Trifolium* spp.) مشاهده نمودند که با کاهش دما ماده خشک گیاه کاهش معنی‌داری نشان داد، به‌طوری‌که در گیاهانی که خوسرمایی نداشتند، در تیمار دمایی ۷- درجه سانتی‌گراد وزن خشک گیاه به صفر رسید درحالی‌که این وضعیت در گیاهان خو گرفته به سرما در دمای ۱۰- درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاد. در بررسی مشتاقی و همکاران (۲۰) بر روی گیاه نخود مشاهده شد که $RDMT_{50}$ و ژنوتیپ حساس سه درجه سانتی‌گراد بیشتر از ژنوتیپ مقاوم است. بررسی نظامی و همکاران (۲۱) بر روی چغندرقد (*Beta vulgaris*) نیز نشان داد که بیشترین میزان $RDMT_{50}$ متعلق به رقم افشاری (۷/۷- درجه سانتی‌گراد) است و کمترین مقدار آن نیز به رقم ریزوفورت (۹/۷- درجه سانتی‌گراد) تعلق داشت.

اتیو (۱۰) پیشنهاد کرده است که برای انجام آزمایش‌های یخ‌زدگی که تحت شرایط کنترل شده صورت می‌گیرد بایستی از سوپرکول (فراسرد شدن) شدن بافت‌های گیاه اجتناب شود، زیرا عدم رعایت آن موجب یخ‌زدگی درون سلولی می‌شود. جهت جلوگیری از پدیده فراسرد شدن در طی مرحله اولیه یخ‌زدگی، زمانی که دمای بافت گیاهی کمی پایین‌تر از نقطه انجماد آب است، از یخ، برف یا باکتری‌های اپی‌فیت فعال به‌عنوان هستک یخ استفاده می‌شود. نحوه عمل مولدهای هستک یخ در طبیعت تاحدی شناخته شده است. اکثر باکتری‌های مولد هستک یخ از باکتری‌های سرمادوست و گرم منفی هستند. این باکتری‌ها در دمای ۲- تا ۵- درجه سانتی‌گراد به داخل فضاهای بین سلولی گیاهان نفوذ کرده، به سرعت تکثیر می‌شوند. در پی تشکیل کریستال‌های یخ در فضاهای بین سلولی، دمای فراسردی گیاه دچار اختلال جدی شده و مقدار آن افزایش می‌یابد و در نتیجه نقطه انجماد تغییر می‌کند. به نظر می‌رسد که غشای پروتئینی باکتری‌های مولد هسته یخ در تشکیل هسته‌های انجماد نقش داشته باشد (۱۹).

از آنجایی‌که اطلاعات زیادی در خصوص میزان تحمل به سرمای بارهنگ سرنیزه‌ای وجود ندارد، این آزمایش با هدف ارزیابی تحمل به یخ‌زدگی تعدادی از اکوتیپ‌های بارهنگ سرنیزه‌ای با استفاده از شاخص درصد بقاء و برخی صفات رشدی دیگر در شرایط کنترل شده انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۰ در محل گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد.

و گوستین (۳۱) با هدف ارزیابی میزان تحمل به یخ‌زدگی دو وارسته زراعی بارهنگ سرنیزه‌ای (*Grasslands Lancelot* و *Ceres Tonic*) در شرایط کنترل شده و مزرعه صورت گرفت هیچ‌یک از ارقام مذکور از تحمل به یخ‌زدگی مناسبی برای کشت در مناطق سرد شمال شرق ایالات متحده برخوردار نبودند. لذا کشت موفق بارهنگ به‌عنوان یک گیاه چندساله و یا یکساله پاییزه به‌خصوص در مناطق سرد مستلزم شناخت اکوتیپ‌ها و یا توده‌های متحمل به تنش یخ‌زدگی است.

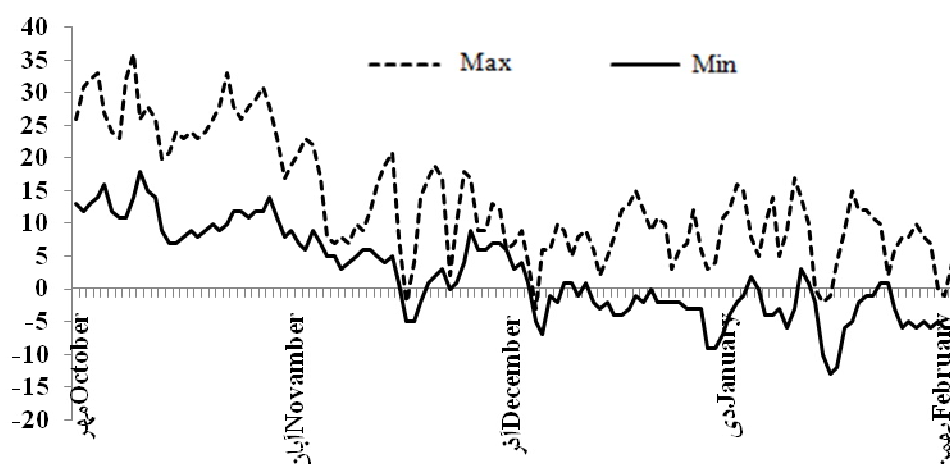
ارزیابی سریع و مؤثر تحمل گیاهان به تنش یخ‌زدگی مورد توجه محققان زیادی می‌باشد و برخی از آنها شاخص بقاء زمستانه را برای تعیین میزان تحمل به سرما در گیاهان پیشنهاد کرده‌اند. برای این منظور باید گیاهان را در سطح مزرعه کشت کرد و آنها را در معرض سرمای شدید قرار داد و سپس میزان بقای آنها را اندازه‌گیری نمود. هرچقدر که یک رقم شاخص بقای مزرعه‌ای (FSI)^۱ بیشتری داشته باشد، پتانسیل تحمل به یخ‌زدگی آن نیز بیشتر است (۱۹). علی‌رغم معتبر بودن نتایج آزمایشات مزرعه‌ای، کمبود زمستانه‌هایی با شدت مناسب، عدم امکان کنترل دما و نیز وجود تنوعات بالا به لحاظ پوشش برف، نوع خاک، عمق کشت، وضعیت رطوبت خاک و گیاه در مزرعه باعث مشکل شدن ارزیابی تحمل به یخ‌زدگی گیاهان شده (۱۱)، از این رو استفاده از انواع مختلف آزمون‌های یخ‌زدگی در شرایط کنترل شده و مصنوعی پیشنهاد شده‌اند. به‌عنوان مثال درصد بقاء گیاه پس از قرار گرفتن آن در معرض دماهای یخ‌زدگی مصنوعی (۱۸) و تعیین دمایی که سبب ۵۰ درصد کشتندگی براساس درصد بقاء (LT_{50su})^۲ می‌شود به‌عنوان شاخص‌هایی برای انتخاب انواع متحمل مورد استفاده محققان قرار گرفته است. بر این اساس هر گیاهی که LT_{50su} پایین‌تری داشته باشد به سرما مقاوم‌تر است (۲).

مشتاقی و همکاران (۲۰) با مطالعه بر روی نخود (*Cicer arietinum*) گزارش کردند که درصد بقای ژنوتیپ MCC426 (ژنوتیپ مقاوم) حدود ۲۷ درصد نسبت به ژنوتیپ MCC505 (ژنوتیپ حساس) بیشتر بود و LT_{50su} آن‌ها یک درجه سانتی‌گراد با هم اختلاف داشت. نتایج بررسی دیونه و همکاران (۹) بر روی چمن یکساله (*Poa annua* L.) نیز تفاوت معنی‌داری به لحاظ LT_{50} بقاء در بین اکوتیپ‌های این گیاه را نشان داد. از آنجایی‌که درصد بقاء معیار کاملی برای نشان دادن توان بازیافت، رشد مجدد و تحمل به یخ‌زدگی گیاهان نیست، محققان استفاده از سایر خصوصیات رشدی گیاهان از جمله وزن خشک و دمایی را که منجر به کاهش ۵۰ درصد وزن خشک ($RDMT_{50}$)^۳ آنها می‌شود، جهت گزینش ارقام متحمل

1- Field survival index

2- Lethal temperature 50 % of plants according to the survival percentage

3- Reduced dry matter temperature 50%



شکل ۱- دماهای حداقل و حداکثر روزانه پاییز و زمستان ۱۳۹۰ در مشهد

Figure 1- Minimum and maximum temperatures of autumn and winter of 2011- 2012 in Mashhad

قشر نازکی از این محلول پوشاند (۱۰). چهار هفته پس از انتقال گیاهان تیمار شده به گلخانه، درصد بقاء و توانایی بازیافت آنها مورد ارزیابی قرار گرفت و برای تعیین درصد بقاء گیاهان از رابطه (۱) استفاده شد.

(۱) $[(\text{تعداد گیاهان قبل از تیمار یخ زدگی}) / (\text{تعداد گیاهان زنده چهار هفته پس از تیمار یخ زدگی})] \times 100 = \text{درصد بقاء}$
برای بررسی توان بازیافت گیاهان صفاتی نظیر تعداد برگ، سطح برگ (با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ^۲) و وزن خشک آنها پس از قرار گرفتن در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد آون به مدت ۴۸ ساعت با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی با دقت یک میلی گرم، اندازه گیری و ثبت شدند. مقدار RD_{50} و LT_{50} هر اکوتیپ به ترتیب با استفاده از رسم منحنی داده های درصد بقاء و وزن خشک کلیه تکرارهای آنها در مقابل دماهای یخ زدگی و سپس یافتن نقطه (دما) ای که منجر به کاهش ۵۰ درصدی صفات مذکور نسبت به تیمار شاهد شده بود، تعیین گردید.

تجزیه و تحلیل آماری کلیه داده ها به صورت فاکتوریل و با استفاده از نرم افزار MSTAT-C انجام شد. آنالیز دو داده LT_{50} و RD_{50} به صورت One-Way ANOVA صورت گرفت. برای تعیین همبستگی میان صفات مذکور از نرم افزار Minitab ver. 15 استفاده شد. رسم شکل ها توسط نرم افزار MS Excel صورت گرفت و مقایسه ی میانگین داده ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

عوامل آزمایش شامل پنج اکوتیپ بارهنگ سرنیزه ای (بجنورد، کلات، مشهد، قاین و بیرجند) و هشت دمای یخ زدگی (صفر، ۳-، ۶-، ۹-، ۱۲-، ۱۵-، ۱۸- و ۲۱- درجه سانتی گراد) بود. در شروع آزمایش، بذور در آب معمولی خیسانده شده و بعد از یک شبانه روز قرار گرفتن در دمای یخچال (صفر تا چهار درجه سانتی گراد) برای شکستن خواب، در اواسط مهرماه ۱۳۹۰ در گلدان های پلاستیکی با قطر ۱۲ سانتی متر با تراکم ۱۰ بوته در هر گلدان کشت شدند. گلدان ها با نسبت برابری از خاک، ماسه و خاکبرگ پر شد. گیاهان تا مرحله دو الی چهار برگی در شرایط طبیعی و در فضای آزاد رشد یافته و در معرض خوسرمایی قرار گرفتند (شکل ۱). به منظور حفظ مواد آزمایشی، گلدان ها در شب هایی با دمای کمتر از ۴- درجه سانتی گراد در شاسی سرد قرار داده شدند.

در اوایل بهمن ماه گلدان ها به فریزر ترموگرادیان منتقل شدند. دمای فریزر در شروع آزمایش پنج درجه سانتی گراد بود و پس از آن با سرعت دو درجه سانتی گراد در ساعت کاهش یافت تا به دمای مورد نظر رسید. پس از رسیدن به دمای مورد نظر، نمونه ها به مدت یک ساعت در این دما نگهداری و سپس از فریزر خارج شده و به منظور کاهش سرعت ذوب و تشدید خسارت، گیاهان به محیطی با دمای 2 ± 5 درجه سانتی گراد منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در آنجا نگهداری شدند. به منظور ایجاد هستک یخ در گیاهچه ها، جلوگیری از فراسرد شدن گیاهان و اطمینان یافتن از اینکه مکانیزم مقاومت به سرما از نوع تحمل است و نه اجتناب، همانگونه که پیشتر ذکر شد در دمای ۲- درجه سانتی گراد محلول حاوی باکتری های فعال مولد هستک یخ (INAB)^۱، بر روی گیاهان به نحوی پاشیده شد که سطح گیاهان را

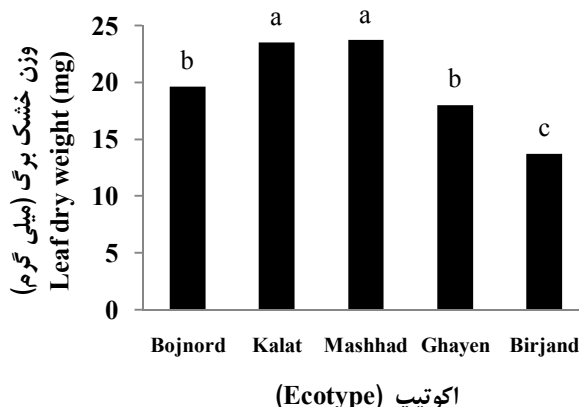
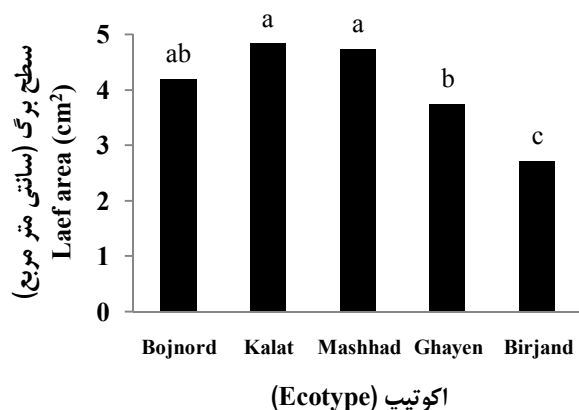
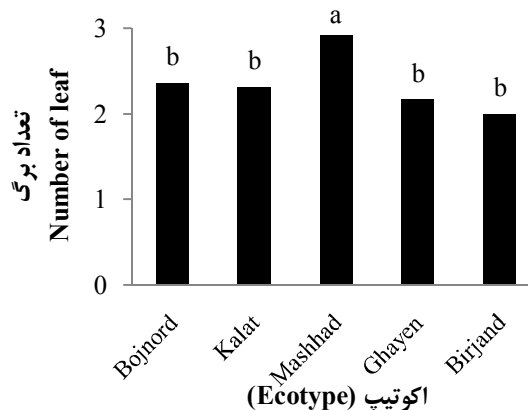
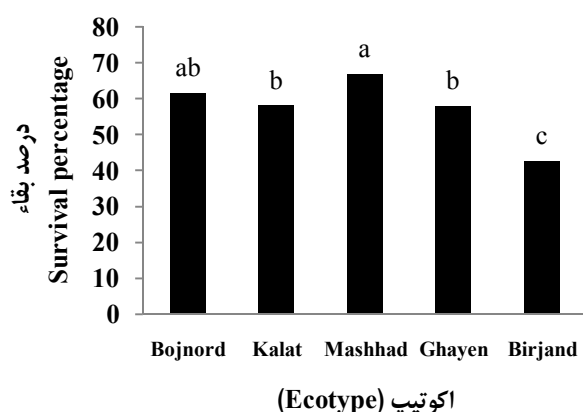
2- Leaf area meter

1- Ice Nucleation Active Bacteria

نتایج و بحث

درصد بقاء و دمای کشنده پنجاه درصد گیاهان براساس درصد بقاء

اکوتیپ‌های بارهنگ سرنیزه‌ای به لحاظ درصد بقاء تفاوت معنی‌داری ($p \leq 0.01$) با یکدیگر داشتند و اکوتیپ‌های مشهد و بیرجند به ترتیب بیشترین و کمترین درصد بقاء را دارا بودند (شکل ۲). درصد بقاء گیاهان پس از قرار گرفتن آن‌ها در معرض سرما به عنوان یکی از شاخص‌های تحمل به سرما معرفی شده است (۱۳). در آزمایش اسکینر (۳۰) که با هدف ارزیابی تحمل به یخ‌زدگی دو وارسته زراعی (Lancelot و Tonic) و یک لاین آزمایشی (PG700) از بارهنگ سرنیزه‌ای در شرایط کنترل شده صورت گرفت، نیز مشاهده شد که درصد بقاء لاین PG700 (۵۸ درصد) بیشتر از ارقام



شکل ۲- درصد بقاء و برخی از صفات رشدی بارهنگ سرنیزه‌ای (براساس میانگین تک بوته) یک ماه پس از اعمال دماهای یخ‌زدگی (میانگین‌هایی با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون LSD ندارند).

Figure 2- Survival percentage and some of growth traits of Lancelot plantain (based on individual plant mean) after one month applying freezing stress temperatures (means with similar letters haven't significant difference according to the LSD test in 1% probability level.)

آنها به طور معنی‌داری کاهش یافت. درصد بقاء در تیمار ۱۲- و ۱۵- و ۲۱- درجه سانتی‌گراد نسبت به تیمار شاهد (صفر درجه سانتی‌گراد)

اثر دما بر درصد بقاء گیاهان نیز معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود، به طوری که با کاهش دما به کمتر از ۹- درجه سانتی‌گراد درصد بقاء

به ترتیب ۱۹/۹، ۸۰/۶ و ۹۲/۸ درصد کاهش یافت (جدول ۱). در بررسی اثر دمای یخ زدگی بر روی گیاه گل داوودی (*Chrysanthemum morifolium* L.) نیز مشاهده شد که با کاهش دما از صفر به ۱۲- درجه سانتی گراد مرگ و میر گیاهان افزایش یافت به طوری که در دمای ۱۲- درجه سانتی گراد اغلب گیاهان از بین رفته و قادر به رشد مجدد نبودند (۱۸). در بررسی دیگری (۱۷) بر روی گیاه مینای چمنی (*Bellis perennis*) نیز گیاهان تا دمای ۱۶- درجه سانتی گراد را به خوبی تحمل کردند (۱۰۰ درصد بقاء)، اما در دماهای پایین تر به کلی از بین رفتند.

اثر متقابل اکوتیپ و دما بر درصد بقاء اکوتیپ های بارهنگ نیز معنی دار ($p \leq 0.01$) بود. در اغلب اکوتیپ ها با کاهش دما از ۱۲- درجه سانتی گراد، درصد بقاء به شدت کاهش یافت، اما کاهش درصد بقاء در اکوتیپ بیرجند از دمای ۶- درجه سانتی گراد آغاز شد و در دمای ۱۲- سانتی گراد کمترین درصد بقاء را نسبت به سایر اکوتیپ ها دارا بود (جدول ۲). شیب کاهش درصد بقاء در محدوده دمایی ۹- تا ۱۲- درجه سانتی گراد در اکوتیپ مشهد، نسبت به سایر اکوتیپ ها کمتر بود. در دمای ۱۵- درجه سانتی گراد نیز تنها دو اکوتیپ بجنورد و مشهد بقاء داشتند هرچند درصد بقای آنها در این دما نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۸۰ و ۵۰ درصد کمتر بود (جدول ۲). در بررسی اثر متقابل اکوتیپ و دماهای یخ زدگی بر درصد بقاء گیاه زنیان (*Trachyspermum ammi* (Linn). Sprague) نیز مشاهده شد که دو اکوتیپ تربت حیدریه و نیشابور تا دمای ۴- درجه سانتی گراد درصد بقاء خوبی داشته و پس از آن با افزایش شدت تنش یخ زدگی درصد بقاء آنها کاهش یافت، در صورتی که گیاهان اکوتیپ بیرجند تا دمای ۶- درجه سانتی گراد درصد بقاء مناسبی داشته و پس از آن درصد بقاء آن کاهش یافت (۵). پیتش و همکاران (۲۵) نیز با ارزیابی تحمل به یخ زدگی ژنوتیپ های گیاه گوارا (*Gaura* sp.) بیان

کردند که بین ژنوتیپ های این گیاه از نظر درصد بقاء تفاوت معنی داری وجود داشت، به طوری که گیاهان ژنوتیپ مینه سوتا تا دمای ۱۲- درجه سانتی گراد زنده ماندند، در صورتی که گیاهان ژنوتیپ تگزاس در دمای مذکور از بین رفتند.

اختلاف اکوتیپ های بارهنگ به لحاظ LT_{50su} نیز معنی دار ($p \leq 0.01$) بود، به طوری که LT_{50su} اکوتیپ مشهد (مقاوم ترین اکوتیپ) ۵/۳ درجه سانتی گراد کمتر از اکوتیپ بیرجند (حساس ترین اکوتیپ) بود (جدول ۳). در مطالعه کاردونا و همکاران (۷) بر روی تحمل به یخ زدگی گیاه پاسپالوم (*Paspalum vaginatum*) Swarts نیز مشاهده شد که بیوتیپ Midiron با $LT_{50su} = -12$ و بیوتیپ PI 299042 با $LT_{50su} = -8$ درجه سانتی گراد به ترتیب مقاوم ترین و حساس ترین بیوتیپ های پاسپالوم به سرما بودند.

در این بررسی بین درصد بقاء و LT_{50su} همبستگی منفی و معنی داری ($r = -0.97^{***}$) مشاهده شد (جدول ۴). به عبارت دیگر با کاهش درصد بقاء LT_{50su} گیاهان زیاد شد. رابطه رگرسیون خطی بین درصد بقاء و LT_{50su} اکوتیپ های مختلف بارهنگ نیز نشان داد که با افزایش درصد بقاء، دمای ۵۰ درصد کشندگی براساس درصد بقاء کاهش یافته است (شکل ۳). نظامی و همکاران (۲۴) نیز با بررسی تحمل به یخ زدگی ارقام کلزا (*Brassica napus*) به نتایج مشابهی دست یافتند. آنها بیان نمودند همانطور که ارقام سیمبل، کالورت و زرقام از بیشترین درصد بقاء برخوردار بودند، کمترین دمای LT_{50su} نیز در همین ارقام مشاهده شد. در بررسی بریجر و همکاران (۶) نیز که به منظور بررسی بقای زمستانه برخی از غلات انجام شد، مشخص گردید که بین شاخص بقاء در مزرعه و LT_{50su} حاصل از گیاهان قرار گرفته در معرض دماهای یخ زدگی در شرایط کنترل شده، همبستگی قوی وجود دارد.

جدول ۱- اثر دمای یخ زدگی بر درصد بقاء و برخی خصوصیات رشدی بارهنگ سرنیزه ای (براساس میانگین تک بوته) یک ماه پس از بازیافت در شرایط گلخانه

Table 1- Effect of freezing temperatures on survival % and some of growth traits of Lancelot plantain (based on individual plant mean) after one month recovery at greenhouse conditions

دمای یخ زدگی Freezing temperature	درصد بقاء Survival%	تعداد برگ No. Leaf	سطح برگ Leaf area (cm ²)	وزن خشک برگ Leaf dry weight (mg)
0	92.8	3.96	6.26	32.6
-3	96.7	3.82	7.34	37.6
-6	96.8	3.74	7.40	34.5
-9	86.8	3.42	5.81	27.0
-12	72.9	3.46	4.91	23.4
-15	12.2	0.43	0.58	2.8
-18	0.0	0.00	0.00	0.0
-21	0.0	0.00	0.00	0.0
LSD (0.01)	10.2	0.53	1.08	4.6

* میانگین هایی که اختلاف آنها بیشتر از LSD است دارای تفاوت آماری معنی داری هستند.

* Means which their differences are more than LSD have significant difference.

جدول ۲- مقایسه میانگین درصد بقاء و خصوصیات رشدی اکوتیپ‌های بارهنگ سرنیزه‌ای قرار گرفته در معرض تنش یخ‌زدگی
Table 2- Mean comparison for survival % and growth traits of Lancelot plantain ecotypes exposed to freezing stress

اکوتیپ Ecotype	دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature (°C)	درصد بقاء Survival %	تعداد برگ در بوته No. Leaf per plant	سطح برگ در بوته (سانتی‌متر مربع) Leaf Area per plant (cm ²)	وزن خشک برگ در بوته (میلی‌گرم) Leaf dry weight per plant (mg)
بجنورد Bojnord	0	96.3	3.75	6.23	32.2
	-3	100.0	4.00	6.19	27.3
	-6	94.4	3.36	7.11	33.9
	-9	100.0	3.61	7.17	33.3
	-12	83.3	3.38	5.64	24.8
	-15	16.7	0.78	1.12	5.4
	-18	0.0	0.00	0.00	0.0
	-21	0.0	0.00	0.00	0.0
کلات Kalat	0	100.0	4.56	7.49	38.5
	-3	83.3	3.35	9.35	50.9
	-6	97.2	3.67	10.2	44.8
	-9	100.0	3.56	7.08	31.4
	-12	83.3	3.39	4.59	22.5
	-15	0.0	0.00	0.00	0.0
	-18	0.0	0.00	0.00	0.0
	-21	0.0	0.00	0.00	0.0
مشهد Mashhad	0	94.4	4.70	8.86	44.7
	-3	100.0	4.44	6.89	38.0
	-6	100.0	4.55	7.00	37.6
	-9	100.0	3.92	7.27	31.3
	-12	94.4	4.40	5.96	30.0
	-15	44.4	1.36	1.78	8.3
	-18	0.0	0.00	0.00	0.0
	-21	0.0	0.00	0.00	0.0
قاین Ghayen	0	94.4	3.40	5.16	24.4
	-3	100.0	3.70	8.56	41.0
	-6	92.2	3.62	6.38	30.8
	-9	97.8	3.44	4.76	23.8
	-12	77.8	3.20	5.03	24.0
	-15	0.0	0.00	0.00	0.0
	-18	0.0	0.00	0.00	0.0
	-21	0.0	0.00	0.00	0.0
بیرجند Birjand	0	78.6	3.40	3.54	23.0
	-3	100.0	3.61	5.73	30.8
	-6	100.0	3.48	6.26	25.3
	-9	36.1	2.56	2.79	15.4
	-12	25.4	2.92	3.35	15.5
	-15	0.0	0.00	0.00	0.0
	-18	0.0	0.00	0.00	0.0
	-21	0.0	0.00	0.00	0.0
LSD (0.01)		22.8	ns	2.42	10.3

* میانگین‌هایی که اختلاف آنها بیشتر از LSD است دارای تفاوت آماری معنی‌داری هستند.

* Means which their differences are more than LSD have significant difference.

بازیافت گیاهان پس از تنش یخ‌زدگی

بین اکوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری ($p \leq 0.01$) از لحاظ تعداد، سطح و وزن خشک برگ در پایان دوره بازیافت وجود داشت. اکوتیپ مشهد بیشترین و اکوتیپ بیرجند کمترین تعداد برگ را در پایان دوره بازیافت دارا بودند (شکل ۲). نتایج آزمایش ایزدی دربینی و همکاران (۱۴) نیز نشان داد که بین توده‌های خاکشیر (*Descurainia*)

(*sophia*) از نظر تعداد برگ در پایان دوره بازیافت، تفاوت معنی‌داری وجود دارد. به‌طوری‌که توده تربت جام با چهار برگ بیشترین و توده اقلید با ۳/۱ برگ کمترین تعداد برگ را دارا بودند. در بررسی حاضر مقدار سطح برگ در اکوتیپ کلات حدوداً ۱/۸ برابر آن در اکوتیپ بیرجند بود (شکل ۲).

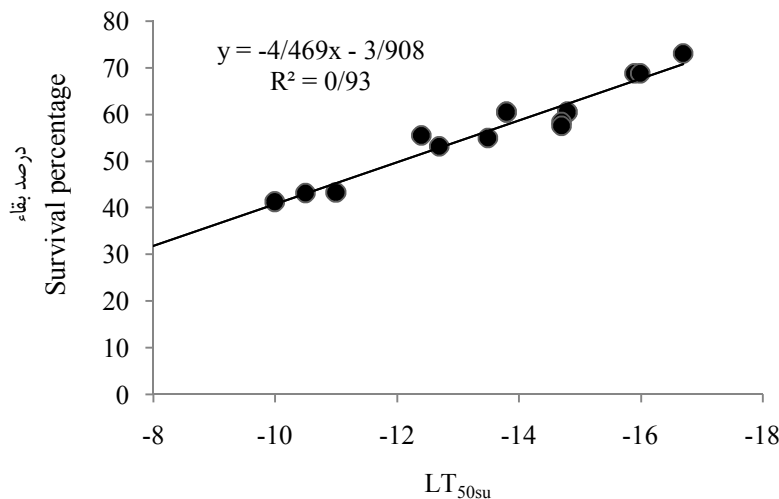
جدول ۳- دمای پنجاه درصد کشندگی براساس درصد بقاء و دمای کاهنده پنجاه درصد وزن خشک اکوتیپهای بارهنگ سرنیزه‌ای یک ماه پس از بازیافت در شرایط گلخانه

Table 3- Lethal temperature for 50% of plants according to the survival % and dry weight of Lancelot plantain ecotypes after one month recovery at greenhouse conditions

اکوتیپ (Ecotype)	LT _{50su} (°C)	RDMT ₅₀ (°C)
بجنورد (Bojnord)	-14.4	-14.1
کلات (Kalat)	14.1	-11.8
مشهد (Mashhad)	-15.8	-12.5
قاین (Ghayen)	-13.6	-12.8
بیرجند (Birjand)	-10.5	-11.1
LSD (0.01 and 0.05)	2.8	2.0

* میانگین‌هایی که اختلاف آنها بیشتر از LSD است دارای تفاوت آماری معنی‌داری هستند.

* Means which their differences are more than LSD have significant difference.



شکل ۳- ضریب تبیین بین درصد بقاء با دمای ۵۰ درصد کشندگی گیاهان براساس درصد بقاء (LT_{50su}) در اکوتیپهای بارهنگ سرنیزه‌ای (هر نقطه میانگین هشت داده می‌باشد).

Figure 3- Regression coefficient between survival % and lethal temperature for 50% of plants according to the survival % (LT_{50su}) in Lancelot plantain ecotypes (each point is mean of eight data).

نسبت به تیمار عدم یخ‌زدگی شد، به‌طوری‌که سطح برگ گیاهان در دماهای ۱۲- و ۱۵- درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب ۲۳ و ۹۱ درصد نسبت به دمای صفر درجه سانتی‌گراد کاهش یافت (جدول ۱). شیب کاهش تعداد برگ در محدوده دمایی ۱۲- و ۱۵- درجه سانتی‌گراد نسبت به سایر تیمارهای دمایی بیشتر (۲۹/۲ درصد کاهش در تعداد برگ به‌ازای هر درجه سانتی‌گراد کاهش دما) بود (جدول ۱). آزمایش نظامی و همکاران (۲۲) بر روی تحمل به یخ‌زدگی ژنوتیپ‌های تربیتکاله (*X Triticosecale Wittmack*) تحت شرایط کنترل شده نیز نشان داد که تعداد برگ گیاهان در پایان دوره بازیافت، در تیمارهای دمایی ۴-، ۸- و ۱۲- درجه مقایسه با تیمار صفر درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب ۶/۲، ۱۰/۴ و ۲۲/۹ درصد کمتر بود. بررسی عزیزی و همکاران (۳) بر روی ارقام گندم نیز نشان داد که تنش

در آزمایش عزیزی و همکاران (۳) بر روی ژنوتیپ‌های گندم (*Triticum aestivum*) نیز رقم بزوستایا بیشترین سطح برگ و رقم مارون کمترین سطح برگ را داشتند. به لحاظ وزن خشک برگ نیز اکوتیپ مشهد بیشترین و اکوتیپ بیرجند کمترین وزن خشک برگ را دارا بودند (شکل ۲). در بررسی ایزدی دربندی و همکاران (۱۵) نیز بین ژنوتیپ‌های یولاف وحشی (*Avena ludoviciana*) از نظر وزن خشک تفاوت معنی‌داری دیده شد به‌طوری‌که ژنوتیپ DR4 بیشترین و ژنوتیپ ZR5 کمترین وزن خشک را در پایان دوره بازیافت دارا بودند.

از نظر تعداد، سطح و وزن خشک برگ اختلاف معنی‌داری بین دماهای یخ‌زدگی وجود داشت. کاهش دما به کمتر از ۱۲- درجه سانتی‌گراد سبب کاهش معنی‌دار تعداد و سطح برگ گیاه

گرفت و با کاهش دما از ۸- به ۱۲- درجه سانتی‌گراد، کاهش وزن خشک در حساس‌ترین رقم حدود ۶۰ درصد بود.

بین اکوتیپ‌ها از لحاظ RDMT₅₀ تفاوت معنی‌داری ($p \leq 0.05$) وجود داشت، به‌طوری‌که اکوتیپ‌های بیرجند و کلات حساس‌ترین و اکوتیپ‌های بجنورد، قاین و مشهد متحمل‌ترین اکوتیپ‌ها شناخته شدند (جدول ۳). به نظر می‌رسد که بیشتر بودن میزان RDMT₅₀ در اکوتیپ بیرجند به دلیل تأثیر شدید تنش یخ‌زدگی بر توانایی رشد مجدد در مرحله بازیافت اکوتیپ مذکور نسبت به سایر اکوتیپ‌ها بوده است. در مطالعه ایزدی دربندی و همکاران (۱۵) بر روی ژنوتیپ‌های یولاف وحشی نیز ژنوتیپ‌های Skh و SM با RDMT₅₀ معادل ۹/۷- و ۱۳/۵- درجه سانتی‌گراد، به‌ترتیب حساس‌ترین و مقاوم‌ترین بیوتیپ‌ها بودند.

در این بررسی RDMT₅₀ با درصد بقاء همبستگی منفی و معنی‌داری ($r = -0.53^*$) داشت (جدول ۴)، لذا با افزایش درصد بقاء، میزان RDMT₅₀ کمتر شد و به‌عبارتی تحمل به یخ‌زدگی براساس این شاخص افزایش یافت. در این آزمایش ضریب همبستگی وزن خشک گیاهان با LT_{50su} منفی و معنی‌دار بود که نشان‌دهنده تولید بیوماس بیشتر با کاهش LT_{50su} اکوتیپ‌ها است (جدول ۴). هکنبای و همکاران (۱۲) هم در بررسی تحمل به یخ‌زدگی چندین رقم یونجه و شبدر یکساله مشاهده نمودند که گیاهانی که LT₅₀ پایین‌تری داشتند، از تولید ماده خشک بیشتری پس از رشد مجدد برخوردار بودند.

نتیجه‌گیری

در مجموع، تنش یخ‌زدگی منجر به کاهش درصد بقاء و سایر صفات رشدی در بارهنگ سرنیزه‌ای شد، ولی میزان کاهش این صفات بسته به اکوتیپ و دما متفاوت بود. در بیشتر اکوتیپ‌ها (به استثنای بیرجند) کاهش معنی‌دار درصد بقاء از دمای کمتر از ۱۲- درجه سانتی‌گراد رخ داد. وزن خشک برگ از دمای ۶- درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در حالی‌که کاهش سطح و تعداد برگ از دماهای پایین‌تری (۱۲- درجه سانتی‌گراد) شروع شد. در این آزمایش مقادیر LT_{50su} بین ۱۰/۵- تا ۱۵/۸- درجه سانتی‌گراد و گستره مقادیر RDMT₅₀ بین ۱۱/۱- تا ۱۴/۱- درجه سانتی‌گراد متغیر بود. براساس نتایج حاصل از این بررسی تعدادی از اکوتیپ‌های بارهنگ (مشهد، بجنورد و قاین) تحمل به یخ‌زدگی مناسبی نشان دادند که می‌تواند بیانگر پتانسیل احتمالی آنها برای کشت در مناطق سرد باشد. با این وجود برای بررسی تحمل به یخ‌زدگی بارهنگ انجام آزمایش‌های بیشتر در شرایط مزرعه و کنترل شده سودمند است.

یخ‌زدگی سطح برگ گیاهان را شدیداً کاهش داد، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین سطح برگ گیاهان به‌ترتیب در دماهای صفر درجه سانتی‌گراد و ۲۰- درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد.

کاهش معنی‌دار وزن خشک برگ نیز از دمای ۶- درجه سانتی‌گراد شروع شد (جدول ۱). شیب کاهش وزن خشک برگ در محدوده دمایی ۱۲- و ۱۵- درجه سانتی‌گراد حدوداً ۲۹/۴ درصد به‌ازای هر درجه سانتی‌گراد و بسیار بیشتر از سایر تیمارهای دمایی (آن دسته از تیمارهای دمایی که گیاهان زنده ماندند) بود (جدول ۱). راشد محصل و همکاران (۲۷) نیز در بررسی تحمل به یخ‌زدگی دو اکوتیپ رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) گزارش کردند که کاهش دما به پایین‌تر از صفر درجه سانتی‌گراد، میزان وزن خشک گیاه را کاهش داد. در مطالعه ایزدی دربندی و همکاران (۱۶) بر روی گیاه قرنفل (*Dianthus barbatus*) وزن خشک گیاه تحت تأثیر دماهای یخ‌زدگی قرار گرفت و در دمای ۲۲- درجه سانتی‌گراد به صفر رسید.

بررسی تأثیر دماهای یخ‌زدگی بر سطح برگ اکوتیپ‌های مورد بررسی نشان داد که در بین گیاهان زنده، بیشترین سطح برگ را اکوتیپ کلات در دمای ۶- درجه سانتی‌گراد داشت و کمترین آن در اکوتیپ بجنورد در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (جدول ۲). در بررسی عزیزی و همکاران (۳) نیز مشاهده شد که در گیاهان زنده بیشترین سطح برگ در رقم آنزا و در دمای صفر درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد و کمترین سطح برگ متعلق به رقم MV-17 در دمای ۱۶- درجه سانتی‌گراد بود. در این آزمایش اکوتیپ‌های بیرجند و کلات به‌ترتیب از دماهای ۶- و ۹- درجه سانتی‌گراد کاهش معنی‌داری در سطح برگ نسبت به تیمار شاهد نشان دادند در حالی‌که برای اکوتیپ‌های مشهد، بجنورد و قاین در دماهای کمتر از ۱۲- درجه سانتی‌گراد سطح برگ کاهش یافت (جدول ۲).

اثرات متقابل اکوتیپ و دما بر وزن خشک برگ نیز معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود. اکوتیپ کلات در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد بیشترین وزن خشک برگ را دارا بود و کمترین مقدار وزن برگ در دماهایی که گیاهان زنده ماندند در اکوتیپ بجنورد و در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد دیده شد (جدول ۲). در اکوتیپ مشهد، درصد کاهش وزن خشک برگ در تیمار دمایی ۱۲- درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای صفر درجه سانتی‌گراد ۳۲/۹ درصد بود، در حالی‌که این کاهش در اکوتیپ‌های کلات و بیرجند به‌ترتیب ۴۱/۶ و ۶۷/۷ درصد بود (جدول ۲). در بررسی کیان و همکاران (۲۶) مشاهده شد که با کاهش دماهای یخ‌زدگی رشد مجدد اندام‌های هوایی در ارقام مختلف بوفالوگراس (*Buchloe dactyloides* (Nutt.) تحت تأثیر قرار

جدول ۴- ضرایب همبستگی پیرسون بین درصد بقاء و برخی از صفات رشدی بارهنگ سرنیزه‌ای قرار گرفته در معرض تنش یخ‌زدگی
Table 4- Pearson correlation coefficients between survival % and some of growth traits of Lancelot plantain exposed to freezing stress

	1	2	3	4	5	6
۱- درصد بقاء	1					
1- Survival percentage	1					
2- LT _{50su}	-0.96***	1				
۳- تعداد برگ در بوته	-0.78***	-0.76***	1			
3- No. Leaf per plant	-0.78***	-0.76***	1			
۴- سطح برگ در بوته	0.75***	-0.75***	0.69**	1		
4- Leaf area per plant	0.75***	-0.75***	0.69**	1		
۵- وزن خشک برگ در بوته	0.76***	-0.78***	0.76***	0.96***	1	
5- Leaf dry weight per plant	0.76***	-0.78***	0.76***	0.96***	1	
6- RDMT ₅₀	-0.53*	0.51 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	-0.28 ^{ns}	-0.28 ^{ns}	1
6- RDMT ₅₀	-0.53*	0.51 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	-0.28 ^{ns}	-0.28 ^{ns}	1

: به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطوح پنج، یک و ۰/۱ درصد. ***، **، *، ns

ns, ** and *** are non significant and significant at 5, 1 and 0.1 % probability levels respectively.

سپاسگزاری

بودجه این تحقیق از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین‌وسیله

سپاسگزاری می‌گردد. همچنین از قطب علمی گیاهان زراعی ویژه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تشکر و قدردانی می‌شود.

References

- Adler, L. S., Schmidt, J., and Bowers, M. D. 1995. Genetic variation in defensive chemistry in *Plantago lanceolata* (Plantaginaceae) and its effect on the specialist herbivore. *Junonia coenia* (Nymphalidae). *Oecologia* 101: 75-85.
- Azizi, H. 2005. Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under controlled conditions and field. MSc. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
- Azizi, H., Nezami, A., Nassiri Mahallati, M., and Khazaie H. R. 2007. Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum aestivum*) cultivars under controlled conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 5: 109-121. (in Persian with English abstract).
- Blumenthal, M., Busse, W. R., Goldberg, A., Gruenwald, J., Hall, T., Riggins, C. W., and Rister, R. S., (ed), and Klein, S., and Rister, R. S. (trans.). 2000. Plantain. Texas: American Botanical Council; Boston: Integrative Medicine Communications. Adapted from The Complete German Commission E Monographs-Therapeutic Guide to Herbal Medicines, 1998.
- Boroumand Rezazadeh, Z., Nezami, A., and Nezami, S. 2013. Evaluation of freezing stress tolerance in three Ecotypes of Ajowan (*Trachyspermum ammi* (Linn). Sprague) under controlled conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 11 (1): 121-130. (in Persian with English abstract).
- Bridger, G. M., Falk, D. E., Mckersie, B. D., and Smith, D. L. 1996. Crown freezing tolerance and field winter survival of winter cereals in eastern Canada. *Crop Science* 36: 150-157.
- Cardona, C. A., Duncan, R. R., and Lindstrom, O. 1997. Low Temperature Tolerance Assessment in *Paspalum*. *Crop Science* 37: 1283-1291.
- Chatterton, N. J., Harrison, P. A., Thornley, W. R., and Bennett, J. H. 1990. Sucrosyl oligosaccharides and cool temperature growth in 14 forb species. *Plant Physiology and Biochemistry* 28: 167-172.
- Dionne, J., Castonguay, Y., Nadeau, P., and Desjardins, Y. 2001. Freezing tolerance and carbohydrate changes during cold acclimation of green-type annual bluegrass (*Poa annua* L.) ecotypes. *Crop Science* 41: 443-451.
- Eteve, G. 1985. Breeding for cold tolerance and winter hardiness in pea. PP. 131-136. In: P.D. Hebblethwaite, et al. (ed.), the Pea Crop. A Basis for Improvement. London, UK.
- Fowler, D. B., and Gusta, L. V. 1979. Selection for winter hardiness in wheat. I. Identification of genotypic variability. *Crop Science* 19: 769-772.
- Hekneby, M., Antolin, M. C., and Sanchez-Diaz, M. 2006. Frost resistance and biochemical changes during cold acclimation in different annual legumes. *Environmental Experimental Botany* 55: 305-314.
- Hofgard, I. S., Vollsnes, A. V., Marum, P., Larsen, A., and Tronsmo, A. M. 2003. Variation in resistance to different winter stress factors within a full-sub family of perennial ryegrass. *Euphytica* 134: 61-75.
- Izadi-Darbandi, E., Nezami, A., and Hassanbeigy, R. 2010. Evaluation of freezing tolerance in Flixweed (*Descorainia sophia*) under controlled conditions. Pp 22-24. The 3rd Iranian Weed Science Congress, February. (in Persian with English abstract).

15. Izadi- Darbandi, E., Nezami, A., Abbasian, A., and Heidari, M. 2012. Evaluation of freezing stress tolerance in Wild Oat (*Avena ludoviciana* L.) by electrolytes leakage test. Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences 5 (1): 81-94. (in Persian with English abstract).
16. Izadi-Darbandi, E., Yousef Sani, M., Nezami, A., Javadmousavi, M., Keykha, F., and Nezami, S. 2011. Effect of freezing stress on Sweet William (*Dianthus barbatus*) under Controlled Conditions. Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences 4 (2): 117-125. (in Persian with English abstract).
17. Javad Mousavi, M., Nezami, S., Izadi, E., Nezami, A., Yousef Sani, M., and Keykha Akhar, F. 2011. Evaluation of freezing tolerance of English daisy (*Bellis perennis*) under controlled conditions. Journal of Water and Soil 25 (2): 380-388. (in Persian with English abstract).
18. Kim, D. C., and Anderson, N. O. 2006. Comparative analysis of laboratory freezing methods to establish cold tolerance of detached rhizomes and intact crowns in garden chrysanthemums (*Dendranthema X grandiflora* Tzvelv). Scientia Horticulture 109: 345-352.
19. Mirmohamadi Meibodi, A., and Tarkeshe Esfahani, S. 2004. Aspects of Physiology and Breeding for Cold and Freezing in Crops. Golbon Publication, Isfahan, Iran 223 pp. (in Persian).
20. Moshtaghi, N., Bagheri, A. R., Nezami, A., and Moshtaghi, S. 2009. Investigation of betaine spray on freezing tolerance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in controlled conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 7: 647-656. (in Persian with English abstract).
21. Nezami, A., Hajmohammad nia Ghalibaf, K., and Kamandi, A. 2010. Evaluation of freezing tolerance in sugar beet (*Beta vulgaris*) cultivars under controlled condition. Environmental Stresses in Agricultural Sciences 3 (2). (in Persian with English abstract).
22. Nezami, A., Soleimani, M. R., Ziaee, M., Ghodsi, M., and Bannayan aval, M. 2010. Evaluation of freezing tolerance of hexaploid Triticale genotypes under controlled conditions. Notulae Scientia Biologicae 2 (2): 114-120.
23. Nezami, A. 2002. Evaluation of chilling stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). PhD Thesis, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
24. Nezami, A., Borzooei, A., Jahani, M., Azizi, M., and Javad Moosavi, M. 2009. Evaluation of freezing tolerance of canola (*Brassica napus* L.) cultivars after cold acclimation under controlled conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 7 (2): 711-722. (in Persian with English abstract).
25. Pietsch, G., Anderson, M., and Li, P. H. 2009. Cold tolerance and short day acclimation in perennial *Gaura coccinea* and *G. drummondii*. Scientia Horticulture 120: 418-425.
26. Qian, Y. L., Ball, S., Tan, Z., Kodki, A. J., and Wilhelm, S. J. 2001. Freezing tolerance of six cultivars of buffalo grass. Crop Science 41: 1174-1178.
27. Rashed Mohassel, M. H., Nezami, A., Bagheri, A., Hajmohammadnia, K., and Bannayan, M. 2009. Evaluation of freezing tolerance of two fennel (*Foeniculum vulgar* L.) ecotypes under controlled conditions. Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants 15: 131-140.
28. Rumball, W., Keogh, R. G., Lane, G. E., Miller, J. E., and Claydon, R. B. 1997. "Grasslands Lancelot" Plantain (*Plantago lanceolata* L.). New Zealand Journal of Agricultural Research 40: 373-377.
29. Samuelsen, B. 2000. The traditional uses, chemical constituents and biological activities of *Plantago major* L.: A review. Journal of Ethnopharmacology 71: 1-21.
30. Skinner, R. H. 2005. Cultivar and environmental effects on freezing tolerance of narrow leaf plantain. Crop Science 45: 2330-2336.
31. Skinner, R. H., and Gustine, D. L. 2002. Freezing Tolerance of Chicory and Narrow-Leaf Plantain. Crop Science 42: 2038-2043.
32. Stewart, A. V. 1996. Plantain (*Plantago lanceolata* L.), a potential pasture species. Proceeding of New Zealand Grassland Association 58: 77-86.
33. Suckling, F. E. T. 1960. Productivity of pasture species on hill country. New Zealand journal of Agricultural Research 3: 579-591.
34. Xuan, J., Liu, J., Gao, H., Huaguabghu, H., and Cheng, X. 2009. Evaluation of low-temperature tolerance of *Zoysia* grass. Tropical Grasslands 43: 118-124.



Evaluation of Freeze Tolerance in Lancelot Plantain (*Plantago lanceolata* L.) Ecotypes under Controlled Conditions

M. Janalizadeh¹ - A. Nezami^{2*} - E. Izadi-Darbandi³ - M. Parsa³

Received: 09-03-2014

Accepted: 11-03-2015

Introduction

Lancelot Plantain (Ribwort, narrow-leaf or English plantain) is a deep-rooted, short-lived perennial herb from Plantaginaceae family which has been used for various medicinal purposes for centuries, especially in Europe and only more recently has been proposed as a forage plant. The leaf of plantain is highly palatable for grazing animals, providing mineral-rich forage. Recently two productive upright cultivars of plantain have been bred and introduced, Grasslands Lancelot and the more erect winter active Ceres Tonic. Plantain grows moderately in winter but its main growth periods beings in spring and autumn with opportunistic summer growth. Although it reveals suitable winter survival in natural conditions, but there is not a lot of information about cold tolerance of this plant. So it is important to recognize the freeze tolerance of narrow leaf plantain for successful planting and utilization in cold regions such as Mashhad in Khorasan Razavi Province (Northeast of Iran). Determining LT₅₀ point or critical temperature for survival of plant is the most reliable and simple method for evaluating cold tolerance of plants. Another reliable method for freeze tolerance of plants is estimation of temperature at which 50 % of dry matter reduces (RDMT₅₀). This experiment was carried out to evaluate freeze tolerance of five ecotypes of Lancelot plantain according to the LT_{50su} and RDMT₅₀ indices.

Materials and Methods

In order to evaluate freeze tolerance of Lancelot plantain, a factorial experiment based on completely randomized design with three replications was carried out under controlled conditions at college of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. Five ecotypes of Lancelot plantain (Bojnourd, Kalat, Mashhad, Ghayen and Birjand) after three months growth and hardening in natural environment were transferred to a Thermo gradient freezer on January 20th, 2012 and exposed to eight freezing temperatures (Zero, -3, -6, -9, -12, -15, -18 and -21°C). The initial temperature of programmable freezer was 5°C; but gradually decreased in a rate of 2°C.h⁻¹ until reach to desired temperatures. When the temperature reached to -2°C, the plants were sprayed with the Ice Nucleation Active Bacteria (INAB) to help the formation of ice nuclei in them. Then for recovery, plants were transferred to greenhouse and after one month, survival and growth traits of plants were determined by measuring characteristics such as survival percentage (Su%), the lethal temperature for 50% of plants according to the survival percentage (LT_{50su}), number of leaf, leaf area, leaf dry weight and temperature at which 50% of dry matter reduces (RDMT₅₀). LT_{50su} and RDMT₅₀ were determined after plotting survival percentage and dry weight data curves versus experimental temperatures respectively. Analysis of variance performed by MSTAT-C software and correlation between data carried out by MINITAB 15 program. Mean separation was conducted by least significant difference (LSD) test at 1% probability level.

Results and Discussion

Analysis of variance showed significant difference between plantain ecotypes and freezing temperatures for survival %. Means comparison showed that survival percentage of Mashhad ecotype was more than other ecotypes. Interaction effects of ecotype and temperature on survival percentage was significant too and only Mashhad and Bojnourd ecotypes in -15°C were alive. Evaluating the temperature-survival curve allowed estimation of a LT₅₀ value, similar to the LD₅₀ (lethal dose for 50% of the subjects) in a toxicity screen. In this experiment there was significant difference between ecotypes at the point of this indicator view and LT_{50su} of Mashhad ecotype was 5.3°C lower than Birjand ecotype. With decreasing the temperature to less than -12°C, number of leaf and leaf area were decreased. In addition decreasing of temperature to less than -6°C, reduced dry weight of plants noticeably. Mashhad and Birjand ecotypes produced the most and the least leaf number and

1- Ph.D. Student in Crop Physiology, Ferdowsi University of Mashhad

2 and 3- Professor and Associate Professor in Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad respectively

(*- Corresponding Author Email: nezami@um.ac.ir)

leaf dry weight but Kalat and Birjand ecotypes produced the most and the least leaf area respectively after the recovery period. Based on RDMT₅₀ index, Bojnourd ecotype was the most tolerant and Birjand ecotype was the most sensitive ecotype. There was high and negative correlation between Survival percentage, LT_{50su} and RDMT₅₀ ($r = -0.97^{***}$ and $r = -0.53^*$ respectively) which confirmed that these indices were suitable alternatives for each other in estimating the freeze tolerance of narrow leaf plantain.

Conclusions

Based on these results, Lancelot plantain has the ability to withstand winters which are not colder than -16 °C. Despite this for better perception of Plantain freeze tolerance potential, more experiments under controlled and field conditions are required.

Keywords: Dry weight, LT₅₀, Recovery, Survival

واکنش شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و عملکرد خشک سوخ به پیش تیمار و اندازه بذر ژنوتیپ‌های پیاز (*Allium cepa* L.)

موسی ایزدخواه شیشوان^{۱*} - مهدی تاج بخش شیشوان^۲ - جلال جلیلیان^۳ - بهمن پاسبان اسلام^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۳

چکیده

برای بررسی اثر پرایمینگ و اندازه بذر بر روند رشد و عملکرد سوخ ارقام پیاز در شرایط مزرعه، این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل پرایمینگ در چهار سطح: هیدرو پرایمینگ با آب مقطر، اسمو پرایمینگ با نیترات پتاسیم، پرایمینگ با استفاده از محلول فولامین دو درصد و شاهد (پرایمینگ نشده)، اندازه بذر در سه سطح: ریز، متوسط و درشت و ارقام در دو سطح: قرمز آذرشهر و زرقان بود. نتایج آزمایش مزرعه‌ای نشان داد که پرایمینگ بذر موجب بهبود تجمع ماده خشک، سرعت رشد گیاه زراعی، سرعت جذب خالص، سرعت رشد سوخ، سرعت رشد نسبی و شاخص سطح برگ شد. از نظر عملکردهای تر، خشک و درصد ماده خشک سوخ نیز اختلاف بین تیمارها معنی‌دار بود و بالاترین عملکردهای تر خشک و درصد ماده خشک به پرایمینگ با فولامین تعلق داشت. براساس نتایج آنالیز رشد بیشترین و کمترین مقادیر شاخص‌های رشد به ترتیب در بذور درشت و ریز مشاهده شد. همچنین مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بذور درشت از نظر عملکردهای تر، خشک و درصد ماده خشک سوخ نسبت به بذور متوسط و ریز از وضعیت بهتری برخوردار بودند. اثر سودمند پرایمینگ و بذور درشت بر شاخص‌های رشد و عملکرد سوخ به سبز شدن و استقرار سریع گیاهچه‌ها و در نهایت استفاده بهتر از نور، رطوبت خاک و عناصر غذایی به‌وسیله گیاهان حاصل از بذور درشت و بذورهای پرایمینگ شده نسبت داده شد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز رشد، پرایمینگ، تجمع ماده خشک، سرعت آسیمیلاسیون خالص

مقدمه

در راستای تولید محصول پیاز در کشت مستقیم بذر متصور بود، مشکلات مربوط به جوانه‌زنی بذر و استقرار مناسب گیاه در مزرعه به دلیل ریز بودن بذر پیاز است. در روش کشت مستقیم بذر به دلیل مدیریت غلط زارعان پیازکار جهت بهبود جوانه‌زنی بذر پیاز به‌طور بی‌رویه از ماسه استفاده می‌کنند که این امر علاوه بر بالا بردن میزان انرژی مصرفی و هزینه‌های تولید در واحد سطح باعث تخریب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از بین رفتن حاصلخیزی خاک‌های منطقه در دراز مدت، بالا رفتن میزان تبخیر از سطح خاک، افزایش تعداد دفعات آبیاری در طول دوره رشد گیاه و افزایش شوری خاک‌های منطقه شده در نهایت خسارات هنگفتی به سرمایه ملی می‌زند (۱۱). تلاش‌های گسترده‌ای در سه دهه اخیر با هدف یافتن راه کارهای مناسب برای بهبود جوانه‌زنی و استقرار اولیه گیاهچه در مزرعه در گیاهان زراعی آغاز شده است. از جمله این تکنیک‌ها، استفاده از پرایمینگ می‌باشد. پرایمینگ بذر تکنیکی است که به‌واسطه آن بذور پیش از قرار گرفتن در بستر خود و مواجهه با شرایط اکولوژیکی محیط، به لحاظ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آمادگی جوانه‌زنی را به‌دست می‌آورند (۲۳). این

پیاز (*Allium cepa* L.) به دلیل دارا بودن کربوهیدرات، پروتئین، کلسیم، فسفر، آهن، روی و ویتامین‌های گوناگون اهمیت به‌سزایی در تغذیه انسان دارد (۱۱). علاوه بر ارزش غذایی، مطالعات علمی فراوان اثر دارویی قابل ملاحظه این گیاه را اثبات نموده‌اند. در درمان بیماری‌های عروق کرونری قلب مؤثر می‌باشد (۴ و ۳۲). پیاز در دنیا ممکن است به سه طریق: کشت مستقیم بذر در مزرعه، کشت نشایی و پیازچه‌های کوچک کاشته شود (۱۱). ارزان‌ترین روش استفاده از کشت مستقیم بذر است و در بیشتر مناطق دنیا و در جاهایی که طول فصل رشد به اندازه کافی طولانی است و یا محصول زودرس مورد نیاز نمی‌باشد از آن استفاده می‌شود (۱۲). اولین مشکلی که می‌توان

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه ارومیه

(*)- نویسنده مسئول: (Email: ms.izadkhah@gmail.com)

۲- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۳- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۴- دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی

ظهور گیاهچه در مزرعه، استقرار اولیه گیاهچه و همچنین عملکردهای کل و اقتصادی همبستگی مثبت وجود دارد (۸). برای درک بیشتر مبانی فیزیولوژیکی عملکرد گیاهان زراعی نیاز به بررسی کمی مؤلفه‌های رشد جامعه گیاهی می‌باشد. مجموع روش‌هایی که به منظور بررسی کمی مؤلفه‌های رشد مورد استفاده قرار می‌گیرند به آنالیزهای رشد معروف می‌باشند. مهمترین شاخص‌های رشد که در گیاهان کاربرد فراوان دارد شامل سرعت رشد نسبی، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و سرعت آسمیلاسیون خالص می‌باشند (۱۵ و ۱۹). نسرين و همکاران (۲۵) گزارش نمودند که سرعت رشد محصول در ابتدای رشد پیاز افزایش و در ۶۰ تا ۷۵ روز بعد از نشاکاری به بیشترین مقدار رسید و سپس تا روز ۱۰۵ بعد از نشاکاری به سرعت کاهش یافت، حداکثر سرعت رشد نسبی در اوایل رشد و نمو مشاهده سپس با افزایش سن گیاه کاهش یافت. سرعت رشد نسبی پیاز در مقایسه با سایر گیاهان کمتر می‌باشد به‌طوری‌که در مرحله رشد سریع و در دمای نزدیک به اپتیمم سرعت رشد نسبی پیاز در حدود نصف کلم بهاره (*Brassica oleracea*) و کاهو (*Lactuca sativa*) می‌باشد (۳). رحمان و همکاران (۲۷) گزارش نمودند که پس از نشاکاری در مزرعه، در اوایل دوره رشد و نمو سرعت رشد نسبی، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و سرعت آسمیلاسیون خالص افزایش و پس از رسیدن به حداکثر، این شاخص‌ها در مراحل بعدی نمو کاهش یافت. به‌رغم اینکه پیاز بومی ایران است ولی تاکنون در مورد تأثیر و کارایی روش‌های مختلف پیش تیمار و اندازه بذر پیاز، بر شاخص‌های فیزیولوژیکی ارقام پیاز خوراکی در شرایط مزرعه تحقیقی در کشور ما صورت نگرفته است. هدف از این تحقیق ارزیابی اثر پرایمینگ بذر پیاز با آب، محلول اسمزی، فولامین و اندازه بذر بر روند رشد و عملکرد تر و خشک سوخ، ارقام پیاز در شرایط مزرعه و انتخاب پیش تیمار و اندازه بذر مناسب بذر بود.

مواد و روش‌ها

در این بررسی چهار روش پرایمینگ (هیدروپرایمینگ با آب مقطر، پرایمینگ با نیترا پتاسیم ۲٪، پرایمینگ با فولامین ۲٪ و شاهد (بدون پرایم) و سه اندازه بذر (ریز، متوسط و درشت) و دو رقم پیاز (قرمز آذرشهر و زرقان) در یک آزمایش فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی (۱۳۹۱-۱۳۹۰) در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی مورد بررسی قرار گرفتند. محل آزمایش دارای اقلیم نیمه خشک (براساس روش آمبرژه)، ارتفاع از سطح دریا ۱۳۴۹/۳ متر، حداکثر دما ۳۹ درجه سانتی‌گراد، حداقل دما ۲۲/۵- درجه سانتی‌گراد و دارای اقلیم با متوسط حدود ۳۲۱/۵ میلی‌متر نزولات آسمانی بود.

تکنیک برای بهبود سرعت جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی، استقرار دانه‌ها و عملکرد مناسب محصول استفاده می‌شود (۳۸). علت تسریع جوانه‌زنی در بذر پرایم شده می‌تواند ناشی از فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده مثل آلفا-آمیلاز، افزایش سطح شارژ انرژی زیستی در قالب افزایش مقدار ATP و افزایش سنتز RNA و DNA و در نتیجه افزایش تعداد و در عین حال ارتقاء عملکرد میتوکندری‌ها باشد (۲۱). دیواراجو و همکاران (۵) در تحقیقات خود نشان دادند که پیش تیمار بذر پیاز با استفاده از مواد اسموتیک باعث افزایش وزن پیاز، قطر پیاز، عملکرد تک بوته و عملکرد کل در مقایسه با شاهد گردید. یارنیا و همکاران (۴۰) در مطالعات خود نشان دادند که پیش تیمار بذر پیاز با استفاده از مواد شیمیایی هورمونی باعث افزایش درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه، طول ریشه‌چه و وزن خشک گیاهچه در مقایسه با شاهد گردید. دورنا و همکاران (۶) در بررسی‌های خود نشان دادند که بین بذور پرایم شده و پرایم نشده پیاز تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد کل بذور جوانه زده، انرژی جوانه‌زنی، ظرفیت جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، درصد گیاهچه‌های غیرنرمال و یکنواختی جوانه‌زنی وجود دارد. ماده فولامین علاوه بر عنصر ازت حاوی ۱۹ اسید آمینه آزاد می‌باشد، که نیتروژن موجود در آن نقش مهمی در رشد و نمو و فیزیولوژی گیاه دارد و یکی از اجزای تشکیل‌دهنده آمینو اسیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک است که در ساختار کلروفیل و ATP به کار رفته و بیش از سایر عناصر در تغذیه گیاه مصرف می‌شود (۱۳ و ۳۳). سینگ (۳۲) در تحقیقات خود نشان داد که مصرف نیتروژن کافی در گل مریم (*Polianthes tuberosa*) باعث افزایش تعداد برگ، گلچه و سوخک و طول سنبله شد. اسیدهای آمینه آزاد موجود در فولامین با تأثیر بر افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی، فعالیت میتوکندری‌ها، مقاومت به تنش‌های محیطی، غلظت کلروفیل و در نتیجه تأثیر بر فتوسنتز بر رشد و عملکرد گیاهان مؤثر واقع می‌شوند (۳۵). گلوتامیک اسید موجود در فولامین می‌تواند به‌عنوان عامل اسموتیک سیتوپلاسم در سلول‌های محافظ روزنه بر باز و بسته شدن روزنه‌ها تأثیرگذار باشد (۳۹). مطالعات فاتن و همکاران (۷) نشان داد اسیدهای آمینه به‌صورت مستقیم و غیر مستقیم بر فعالیت‌های فیزیولوژیک، رشد و نمو گیاه مؤثر واقع می‌شوند. یکی دیگر از فاکتورهای مؤثر بر جوانه‌زنی، اندازه بذر می‌باشد. اندازه بذر از خصوصیات کیفی بذر است که تحت تأثیر عوامل ژنتیکی، محیطی، موقعیت گیاهان مادر در مزرعه، موقعیت بذرهای روی گیاه مادر یا روی محور گل آذین قرار می‌گیرد (۳۴). تأثیر اندازه بذر بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه نتایج متفاوتی را نشان داده است. بین اندازه بذر و رشد اولیه گیاهچه‌ها ارتباط مثبتی وجود دارد (۹). بذور کوچک‌تر نسبت به بذور بزرگ‌تر نه تنها سریع‌تر جوانه می‌زنند بلکه گیاهچه‌های آنها نیز سریع‌تر سبز می‌شوند (۲۰). اندازه بذر تأثیر معنی‌داری بر سرعت جوانه‌زنی و سبز شدن ندارد (۲۶). در گیاه پیاز بین اندازه بذر، درصد جوانه‌زنی، شاخص

محصول^۲ (CGR) سرعت رشد سوخ^۳ (BGR)، سرعت رشد نسبی گیاه^۴ (RGR)، سرعت آسمیلاسیون خالص^۵ (NAR) براساس سطح برگ و وزن ماده خشک کل محاسبه و یا برآورد شدند. لازمه تجزیه و تحلیل رشد تنها اندازه‌گیری دو عامل سطح برگ و وزن خشک در فواصل زمانی مکرر است (۱۹). در این تحقیق از درجه روز رشد^۶ (GDD) به جای تقویم زمانی برای تخمین طول مراحل فنولوژیک، استفاده شد. برای محاسبه GDD در طول دوره رشد پیاز از رابطه (۱) استفاده شد:

$$GDD = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(T_{max} + T_{min})}{2} \right] - T_b \quad (1)$$

که در آن Tmax و Tmin به ترتیب بیشینه و کمینه دمای روزانه، Tb دمای پایه (۵/۹ درجه سلسیوس) و n تعداد روزهایی که میانگین دمای هوا بیشتر از ۵/۹ درجه سلسیوس است (۲۲ و ۳۷). سطح برگ نمونه‌ها با استفاده از فرمول $LA = \pi lw/2$ تخمین زده شد که در آن π عدد ۳/۱۴، LA سطح پهنک، l طول قسمت سبز پهنک و w بزرگترین قطر پهنک می‌باشد (۳۶). پس از اندازه‌گیری وزن تر، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون الکتریکی نگهداری و سپس برای برآورد وزن خشک مجدداً توزین شدند (۱۴). برای رسم نمودارهای شاخص‌های رشد از روش نمایی مندرج در جدول ۱ استفاده شده است (۱۵، ۱۹ و ۳۷). به منظور تعیین روابط بین وزن خشک کل و شاخص سطح برگ با درجه روز رشد معادله‌های ریاضی متعددی مورد مطالعه و آزمون قرار گرفتند. در نهایت معادله پلی نومیال درجه سوم که ضریب تشخیص آن برای تیمارهای مورد بررسی از ۹۲ تا ۹۹ درصد بود به عنوان بهترین توجیه‌کننده تغییرات شاخص‌های رشد بر حسب تغییرات درجه حرارت روز رشد شناخته شد (جدول ۱). ضرایب این معادلات برای تیمارهای مختلف پرایمینگ و اندازه بذر در متن نمودارها آمده است. شایان ذکر است برای رسیدن به بهترین درجه چند جمله‌ای برای برازش داده‌های رشد از روش رگرسیون استفاده شد.

در معادلات پلی نومیال جدول ۱ وزن خشک کل و شاخص سطح برگ (به عنوان متغیرهای وابسته) و X درجه حرارت روز رشد GDD (به عنوان متغیر مستقل)، a، b، c و d به عنوان ضرایب معادلات پلی نومیال، LA₁ و LA₂ سطح برگ در زمان (T₁) و زمان (T₂) GA سطح زمین پوشیده شده توسط گیاه (کانوپی)، W₁ و W₂ وزن خشک گیاه در زمان (T₁) و زمان (T₂) ADM تغییرات وزن خشک اندام هوایی و زمینی، ΔGDD تغییرات درجه حرارت بر حسب درجه روز

بذور مورد نیاز از طریق موسسه نهال بذر کرج تهیه گردید. برای درجه‌بندی بذور از الک‌های استاندارد آزمایشگاهی استفاده و دامنه تغییرات اندازه بذر تعیین گردید. جهت اطمینان از مرغوبیت بذرها تست مربوط به سنجش قوه نامیه بذور پیاز انجام شد که قوه نامیه بذور ریز ۷۵٪، بذور متوسط ۸۲٪ و بذور درشت ۹۶٪ به دست آمد. فولامین مورد استفاده در آزمایش برحسب آنالیز کارخانه سازنده علاوه بر دو عنصر اصلی، ازت آلی (۱۲٪)، کربن آلی (۳۲٪)، نسبت ازت به کربن (۲/۶۶) حاوی اسیدهای آمینه، آلانین (۹/۱)، آرژنین (۶/۴)، اسید آسپارتیک (۵/۶)، سیستئین (۰/۳)، گلايسین (۲/۶)، اسیدگلوتامیک (۱۰/۵)، هستیدین (۲/۶)، هیدوسی پرولین (۸/۳)، ایزولوسین (۱/۵)، لوسین (۳/۵)، لایزین (۴/۴)، میتیونین (۰/۹۲)، فنل آلانین (۲/۳)، پرولین (۱۳/۸)، سرین (۱/۷۰)، ترونین (۱)، تریپتوفان (۰/۳۸)، تریوسین (۱۳/۰) و والین (۲/۶) می‌باشد (مقادیر برحسب گرم در ۱۰۰ گرم می‌باشد). در مرحله اول، بذور هر یک از ارقام به مدت ۸ ساعت در دمای اتاق تحت تیمارهای پرایمینگ با محلول‌های نیترات پتاسیم (۲٪)، فولامین (۲٪) قرار گرفتند و برای انجام پیش تیمار هیدروپرایمینگ بذور به مدت چهار ساعت در آب مقطر خیسانده و بعد سه روز در رطوبت نسبی ۱۰۰٪ نگهداری شده سپس بذور بعد از طی این مدت‌ها، ۲۴ ساعت در جریان هوای آزاد قرار داده شدند تا رطوبت سطحی آنها خشک گردد. در ادامه بذور پرایم شده به همراه تیمار بدون پرایمینگ (شاهد) به صورت دستی و روی شیارهای ایجاد شده در ردیف‌ها در عمق حدوداً دو سانتی‌متر کشت شدند. هر کرت آزمایشی شش متر مربع (۳×۲ متر) و دارای ۱۰ ردیف کشت بود که در هر کرت، تراکم کشت پیازها ۵۰ بوته در مترمربع، فاصله پیازها بر روی ردیف ۱۰-۷/۵ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌های کشت ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. میزان مصرف کود براساس آزمون خاک شامل ۱۲۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل، ۶۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و کود نیتروژنه لازم نیز به میزان ۱۱۵ کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره در هکتار که به صورت سرک مصرف شد. به منظور آنالیز رشد از ۱۵ روز بعد از جوانه زدن تا هنگام برداشت، به فاصله ۱۵ روز ۱۰ گیاه از هر کرت برداشت و تعداد برگ سبز، سطح برگ، وزن خشک پهنک، غلاف و سوخ (از اواسط مرداد ماه که وزن و حجم سوخ به اندازه‌ای رسید که امکان تفکیک سوخ از غلاف وجود داشت) یادداشت شد. تاریخ شروع تشکیل سوخ به روش نسبت تشکیل سوخ تخمین زده شد. در این روش نسبت تشکیل سوخ برابر است با حداکثر قطر سوخ تقسیم بر حداقل قطر گردن و وقتی این نسبت از دو برابر بیشتر شد به عنوان زمان شروع تشکیل سوخ در نظر گرفته می‌شود (۲). برای تجزیه و تحلیل رشد جوامع گیاهی پیاز در هر یک از واحدهای آزمایشی شاخص سطح برگ^۱ (LAI)، سرعت رشد

- 2- Crop growth rate
- 3- Bulb growth rate
- 4- Relative growth rate
- 5- Net assimilation rate
- 6- Growth Degree Days

- 1- Leaf area index

رشد، ΔBD تغییرات وزن خشک سوخ می‌باشد (۴۱).

جدول ۱- روابط ریاضی برای برآورد شاخص‌های فیزیولوژیک رشد

Table 1- Mathematical relationships to estimation of growth physiological indices

شاخص‌های فیزیولوژیک رشد	نماد	واحد	معادله
Growth physiological indices	symbol	Unit	Equation
وزن خشک کل Total dry matter	TDM	$g.m^{-2}.GDD$	$Polynomial(a+bx+cx^2+dx^3)$
شاخص سطح برگ Leaf area index	LAI	-	$Polynomial(a+bx+cx^2+dx^3)$
سرعت رشد محصول Crop growth rate	CGR	$g.m^{-2}.GDD$	$\Delta DM/\Delta GDD \times (1/GA)$
سرعت رشد نسبی Relative growth rate net	RGR	$g.g^{-1}.GDD$	$1/DM \times \Delta DM/\Delta GDD$
سرعت آسمیلاسیون خالص Assimilation rate	NAR	$g.m^{-2}.GDD$	$[(W_2-W_1)/(T_2-T_1)] \times [(\ln LA_2 - \ln LA_1)/(LA_2 - LA_1)]$
سرعت رشد سوخ Bulb growth rate	BGR	$g.m^{-2}.GDD$	$1/GA \times \Delta BD / \Delta GDD$

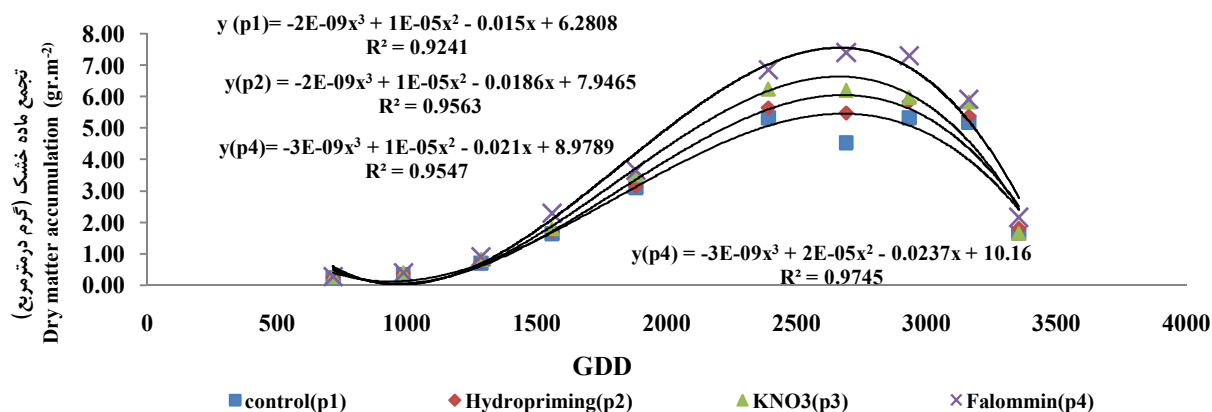
شاهد تعلق داشت. براساس معادلات به‌دست آمده تغییرات وزن خشک پیاز به‌صورت یک تابع نمایی است و روند افزایش وزن خشک در تیمار پرایمینگ با فولامین تا حدود ۲۹۳۲ و تیمارهای هیدروپرایمینگ و پرایمینگ با نیترات پتاسیم ۲۳۹۰ درجه- روز رشد در حال افزایش بود و پس از آن، شروع به کاهش نمود. وجود رابطه‌ی نمایی بین وزن خشک و درجه روزهای رشد در گیاهان زراعی دیگر نیز مورد تأیید قرار گرفته است (۲۸). آندرسون و همکاران (۱) نیز چنین روندی را برای تجمع ماده خشک جو بهاره (*Hordeum vulgare*) گزارش کردند. تجمع ماده خشک در اندازه‌های مختلف بذر برای ارقام قرمز آذرشهر و زرقان در بذور درشت به‌ترتیب در محدوده ۲۹۳۲ و ۳۱۶۲ درجه روز رشد افزایش ولی پس از آن تا انتهای دوران رشد، تجمع ماده خشک کاهش یافته است. چنین روندی به دلیل افزایش تدریجی و فزاینده جذب تشعشع خورشیدی همزمان با افزایش سطح برگ در اوایل فصل رشد و در نتیجه افزایش سرعت ماده خشک در گیاهان است. به‌طوری‌که با گذشت زمان، سرعت تجمع ماده خشک پس از رسیدن به حد نهایی خود با پیر شدن برگ‌ها کاهش می‌یابد. از بین اندازه‌های مختلف بذر مورد آزمایش، کندترین و در عین حال کمترین ماده خشک تولیدی به بذر ریز تعلق داشت (شکل‌های ۳ و ۴). سبز شدن زودتر گیاهچه‌ها در مزرعه با تسریع در بسته شدن کانوپی گیاهی از عوامل اساسی در بهبود عملکرد است (۲۹ و ۳۰). این موضوع در شرایطی که دوره رشد کوتاه است و تنش‌های محیطی (سرما، گرما و خشکی) به‌ویژه در اوایل فصل، رشد و نمو گیاهان را محدود کند، بیشتر صادق است.

در نهایت برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم افزارهای SAS و MSTAT-C و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد و میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

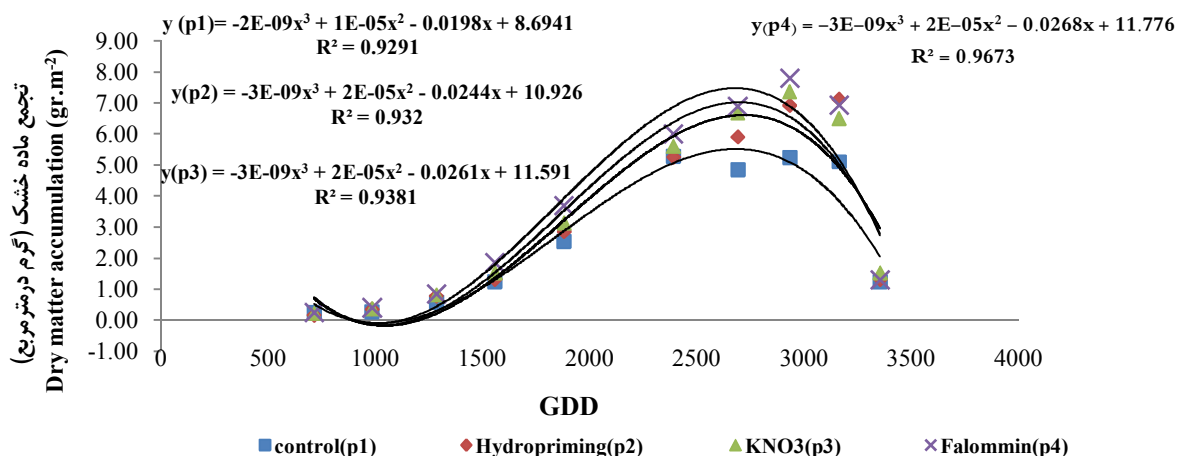
نتایج و بحث

تجمع ماده خشک

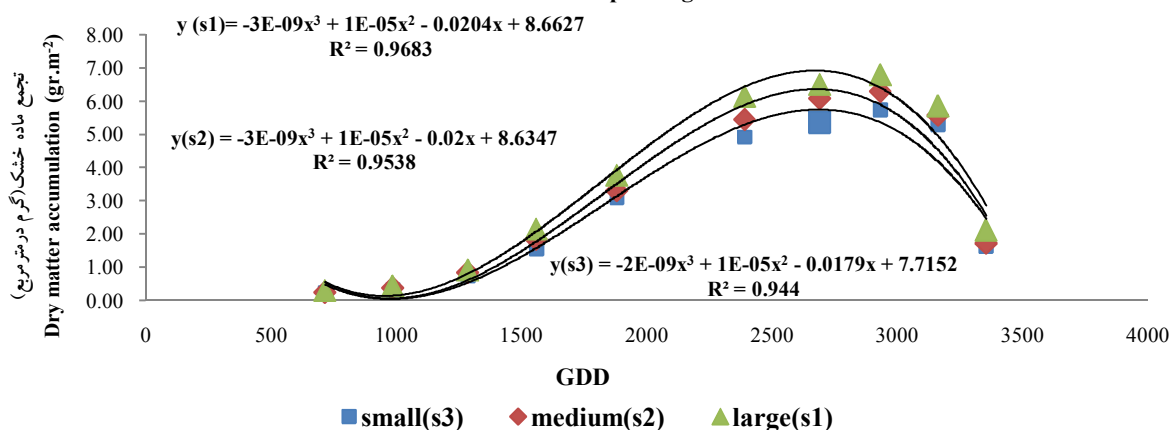
منحنی‌های پیش‌بینی تغییرات وزن خشک پیاز نسبت به درجه روزهای رشد از زمان کاشت تا برداشت برای تیمارهای مختلف نشان داد که روند افزایش وزن خشک پیش تیمار و اندازه‌های مختلف بذر به‌صورت منحنی سیگموئیدی بود (شکل‌های ۱ و ۲). بررسی میزان ماده خشک تولید شده نشان داد که بین تیمارهای پرایمینگ و اندازه‌های مختلف بذر در ارقام مورد بررسی اختلاف زیادی وجود دارد. رقم قرمز آذرشهر در تیمار پرایمینگ با فولامین تجمع ماده خشک در حدود ۲۶۹۰ درجه - روز رشد افزایش بعد تا ۲۹۳۲ درجه - روز رشد ثابت سپس کاهش نشان داد و در رقم زرقان تیمار پرایمینگ با فولامین تجمع ماده خشک در حدود ۲۹۳۲ درجه - روز رشد افزایش بعد کاهش نشان داد، در تیمار پرایمینگ با فولامین به علت تحریک رشد و استفاده بهینه از منابع، ماده خشک بیشتری در واحد سطح تولید شد و این اختلاف با افزایش درجه- روزهای رشد بیشتر شد. تیمارهای هیدرو پرایمینگ و پرایمینگ با نیترات پتاسیم در هر دو رقم اختلاف چندانی با هم نداشتند (شکل‌های ۱ و ۲). از بین تیمارهای مورد آزمایش، کندترین و در عین حال کمترین ماده خشک تولیدی به تیمار



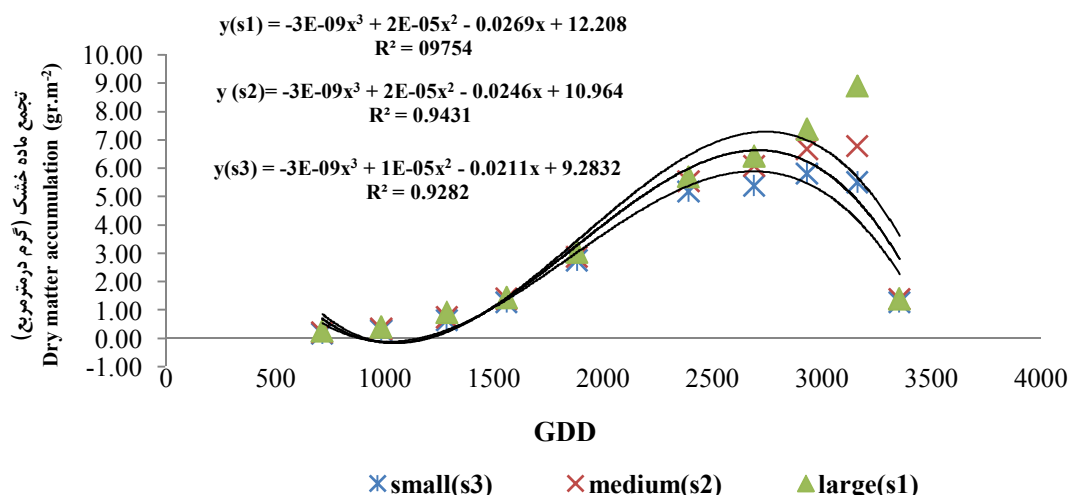
شکل ۱- روند تغییرات ماده خشک پیاز قرمز آذرشهر در پیش تیمارهای مختلف بذر
Figure 1- in dry matter accumulation of onion RedAzarshshar cultivar in different seed priming
Trend of variation



شکل ۲- روند تغییرات ماده خشک پیاز زرگان در پیش تیمارهای مختلف بذر
Figure 2- Trend of variation in dry matter accumulation of onion Zargan cultivar in different seed
priming



شکل ۳- روند تغییرات ماده خشک در اندازه‌های مختلف بذر پیاز رقم آذرشهر
Figure 3- Trend of variation in dry matter accumulation of onion RedAzarshshar cultivar in
different seed size



شکل ۴- روند تغییرات ماده خشک در اندازه‌های مختلف بذر پیاز رقم زرقان
Figure 4- Trend of variation in dry matter accumulation of onion Zargan cultivar in different seed size

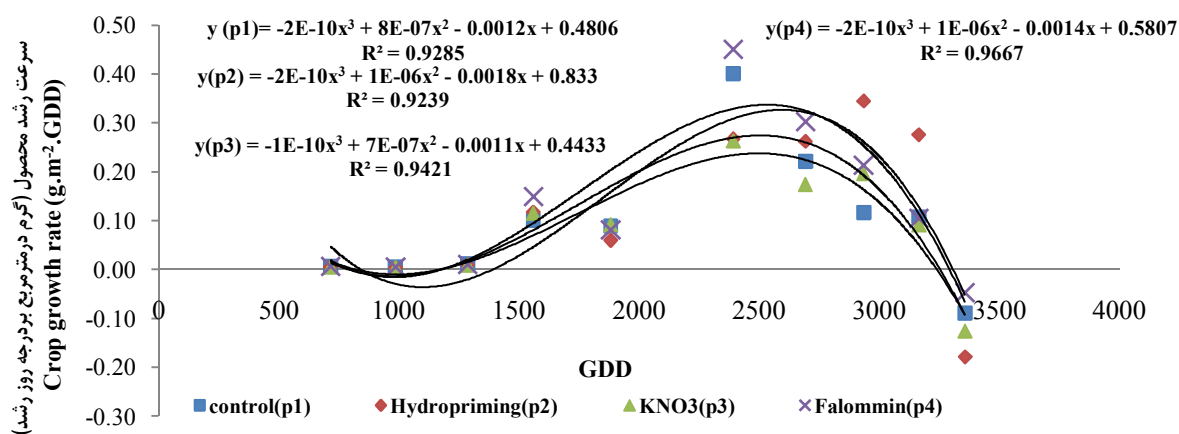
به صفر رسید و مقدار آن منفی شد، بیشترین سرعت رشد در این محدوده از درجه روز رشد به بذور درشت تعلق داشت و بذور متوسط و ریز در رده‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۸). در بذور درشت به علت استقرار سریع‌تر گیاهان به‌دنبال جوانه‌زنی زودتر، فتوسنتز افزایش یافت و در نتیجه تولید و تجمع ماده خشک در واحد سطح از سایر اندازه بذرها بیشتر بود.

سرعت آسمیلاسیون خالص

تغییرات سرعت آسمیلاسیون خالص در ارقام مورد بررسی بر مبنای درجه روزهای رشد در پیش تیمارهای مورد بررسی در حدود ۱۵۵۸ درجه روز رشد بعد از کاشت، حداکثر سرعت آسمیلاسیون خالص را داشته‌اند و سپس کاهش و به صفر رسید و در نهایت مقدار آن منفی شد، بدین صورت که در رقم قرمز آذرشهر، تیمار پرایمینگ با فولامین حداکثر سرعت آسمیلاسیون خالص را داشته این در حالی بود که تیمارهای پرایمینگ با نیترات پتاسیم، هیدروپرایمینگ و شاهد به‌ترتیب کمترین روند آسمیلاسیون خالص را در این محدوده از درجه روز رشد به‌خود اختصاص دادند (شکل ۹). اما این شاخص در رقم زرقان در تیمار پرایمینگ با نیترات پتاسیم ۲٪ در حدود ۱۵۵۸ درجه - روز رشد به حداکثر رسید و تیمارهای پرایمینگ با فولامین، هیدروپرایمینگ و شاهد به‌ترتیب کمترین روند آسمیلاسیون خالص را در این محدوده از درجه روز رشد به خود اختصاص دادند (شکل ۱۰). رحمان و همکاران (۲۷) گزارش نموده‌اند سرعت آسمیلاسیون خالص در همه ارقام در اواخر دوره رشد و نمو گیاه کاهش یافت و سرانجام منفی گردید که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. دلیل کاهش این شاخص با افزایش سن گیاه، سایه‌اندازی برگ‌ها روی همدیگر و کم شدن راندمان فتوسنتزی آنها بود.

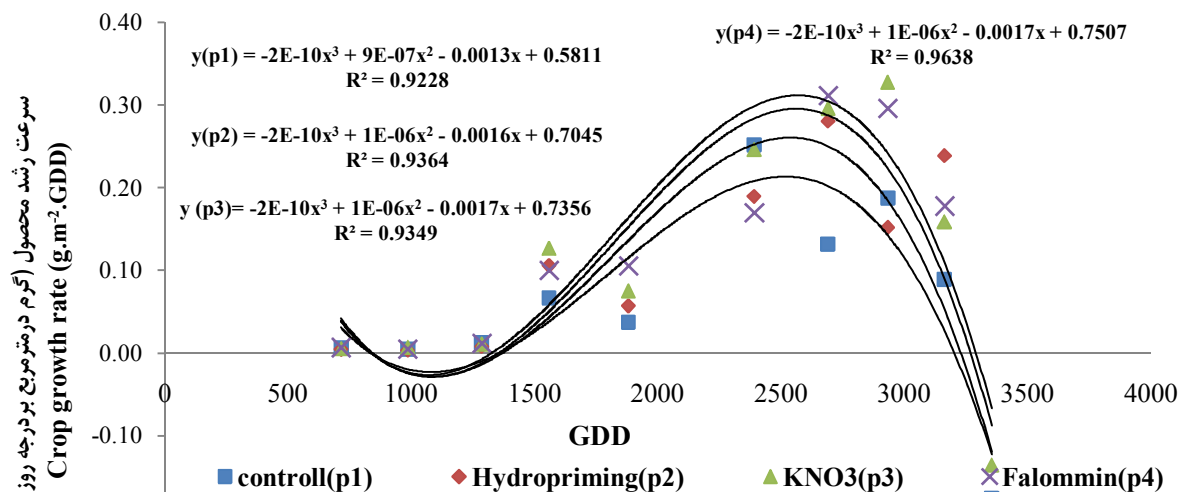
سرعت رشد محصول

تغییرات سرعت رشد محصول بر مبنای درجه روزهای رشد بعد از کاشت در پیش تیمارهای مختلف در اقام مورد بررسی نشان داد که سرعت رشد جامعه گیاهی رقم آذرشهر در کلیه پیش تیمارها در حدود ۲۳۹۰ درجه روز رشد بعد از کاشت، به حداکثر خود رسید و سپس کاهش نشان داد، بدین صورت که تیمار پرایمینگ با فولامین حداکثر سرعت رشد را داشته این در حالی بود که کمترین روند سرعت رشد را در این محدوده از درجه روز رشد به تیمار شاهد تعلق داشت (شکل ۵). اما در رقم زرقان این شاخص در تیمار پرایمینگ با فولامین در حدود ۲۶۹۰ درجه - روز رشد به حداکثر رسید و سپس کاهش یافت و در تیمارهای شاهد، هیدروپرایمینگ و پرایمینگ با نیترات پتاسیم ۲٪ در حدود ۲۳۹۰ درجه - روز رشد به حداکثر خود رسید، بعد ثابت، سپس کاهش و به صفر رسید و در نهایت مقدار آن منفی شد (شکل ۶). چنین روندی به دلیل اثر افزایشی تیمارهای پرایمینگ در جذب تشعشع خورشیدی همزمان با افزایش سطح برگ (پوشش سبز) و در نتیجه افزایش سرعت تجمع ماده خشک بوده است. با گذشت زمان و پیر شدن برگ‌ها، سرعت رشد گیاه زراعی رو به تنزل گذاشت. علت منفی شدن سرعت رشد گیاه زراعی در اواخر فصل، کاهش ماده خشک در اثر ریزش برگ‌ها بود (۱۵). اندازه‌های مختلف بذر رقم قرمز آذرشهر در محدوده ۲۳۹۰ درجه روز بیشترین سرعت رشد محصول را داشتند، بدین صورت که بذور درشت در این محدوده حداکثر سرعت رشد محصول و بذور ریز کمترین مقدار را به‌خود اختصاص دادند (شکل ۷). این در حالی بود که اندازه‌های مختلف بذر پیاز رقم زرقان در محدوده ۲۶۹۰ درجه روز بیشترین سرعت رشد محصول را داشتند سپس ثابت و در نهایت در ۳۱۶۲ درجه روز رشد کاهش نشان داده و



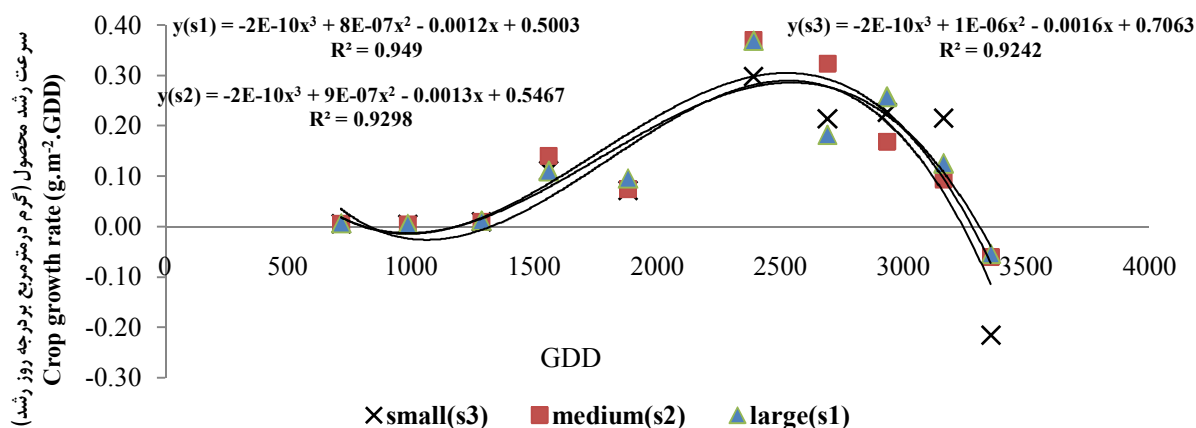
شکل ۵- روند تغییرات سرعت رشد محصول رقم آذرشهر در پیش تیمارهای مختلف

Figure 5- Trend of variation in crop growth rate of onion RedAzarshshar cultivar in different seed priming



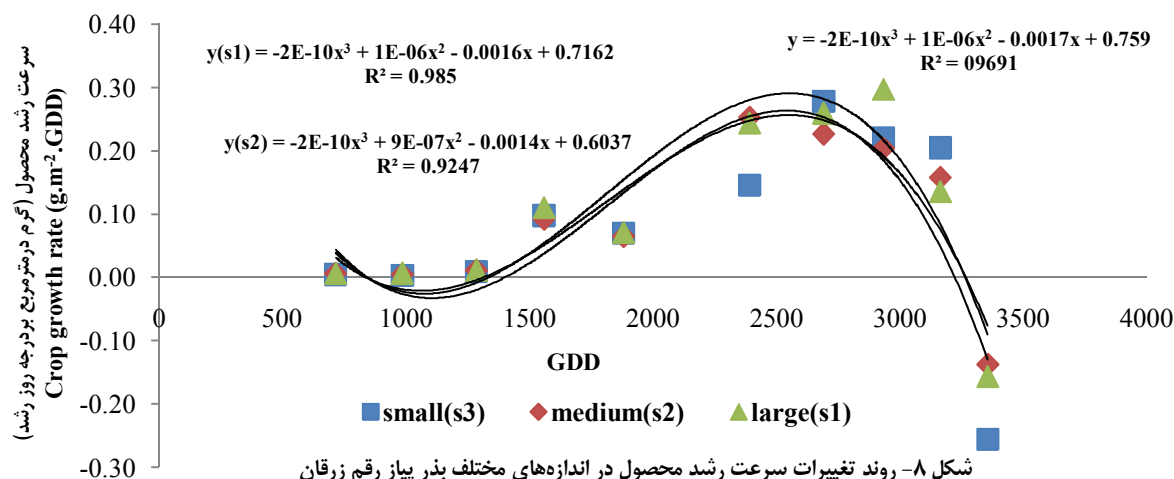
شکل ۶- روند تغییرات سرعت رشد محصول در پیش تیمارهای مختلف بذر پیاز رقم زرگان

Figure 6- Trend of variation in crop growth rate of onion Zargan cultivar in different seed priming



شکل ۷- روند تغییرات سرعت رشد محصول پیاز در اندازه‌های مختلف بذر رقم آذر شهر

Figure 7- Trend of variation in crop growth rate of onion Red Azarshshar cultivar in different seed size

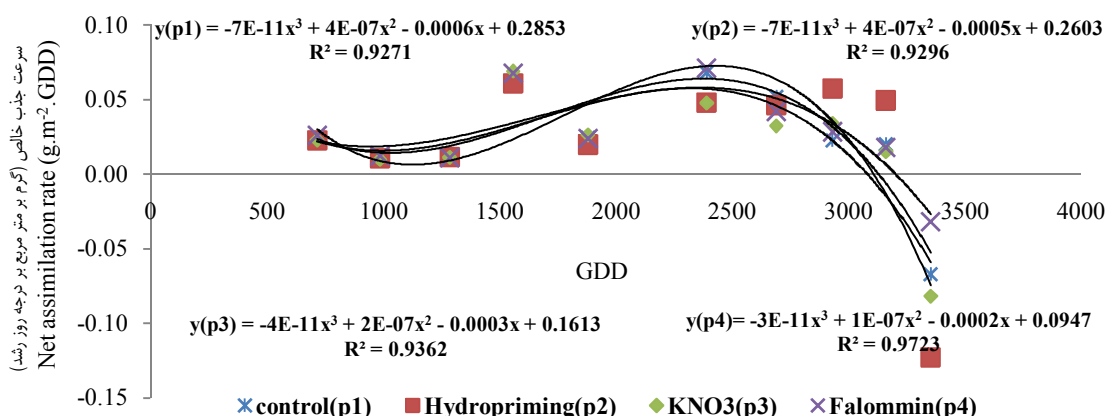


شکل ۸- روند تغییرات سرعت رشد محصول در اندازه‌های مختلف بذر پیاز رقم زرگان
Figure 8- Trend of variation in crop growth rate of onion Zargan cultivar in different seed size

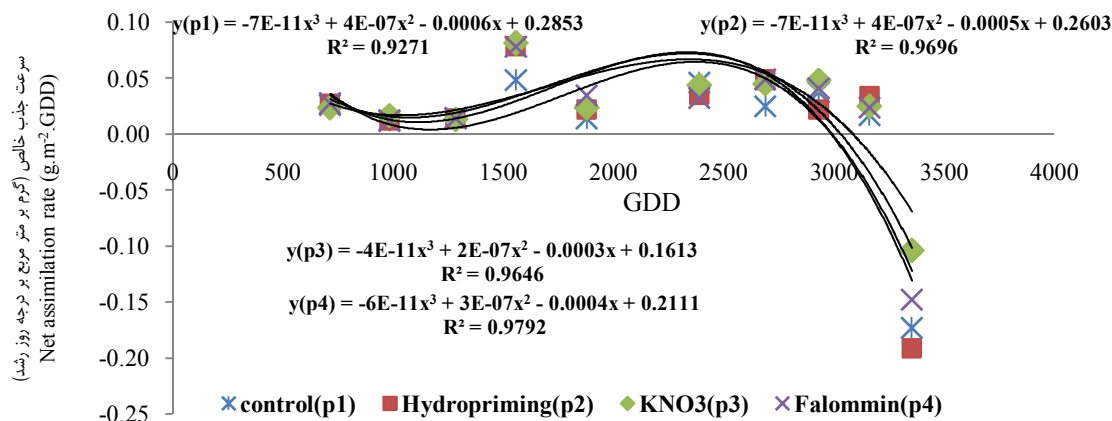
سرعت رشد نسبی

سرعت رشد نسبی بیان کننده وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی است (۱۹). سرعت رشد نسبی گیاهان زراعی بعد از مرحله جوانه‌زنی بالا رفته و سپس کاهش می‌یابد و در واقع با افزایش سن گیاه میزان رشد نسبی کاهش می‌یابد زیرا بخش‌هایی که به گیاه افزوده می‌شوند بافت‌های ساختمانی هستند که از لحاظ متابولیسمی فعال نبوده و نقشی در تولید و فتوسنتز ندارند. همچنین به دلیل قرار گرفتن برگ‌های اولیه در سایه و افزایش سن آنها فعالیت فتوسنتزی کاهش یافته و سرعت رشد نسبی نیز کاهش می‌یابد هرچند که مقدار وزن خشک گیاه با گذشت زمان افزایش پیدا می‌کند اما از سرعت رشد نسبی به دلیل افزایش نسبت بافت‌های ساختمانی به بافت‌های در حال رشد کاسته می‌شود.

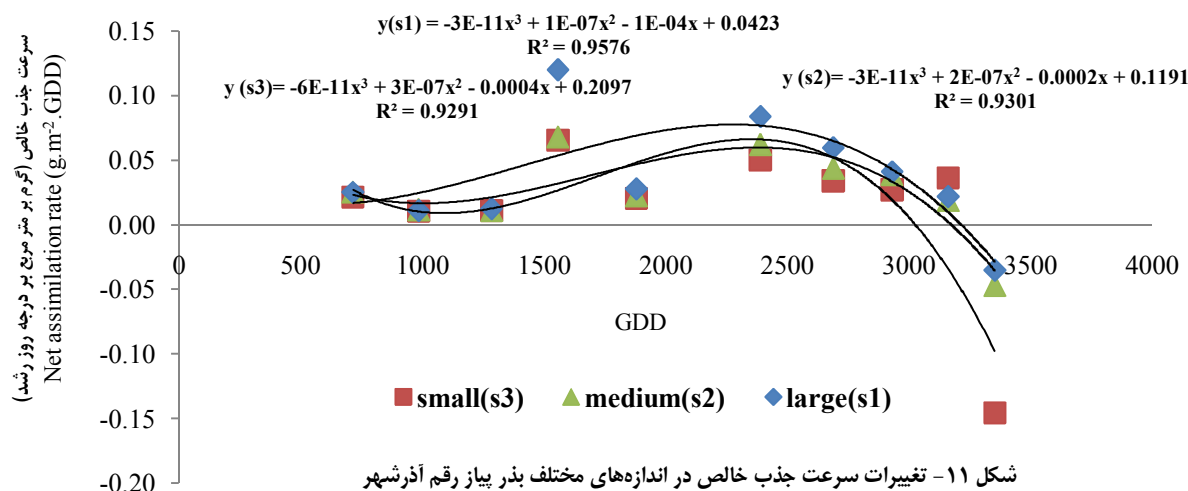
سرعت آسمیلاسیون خالص برای هر سه اندازه بذر ارقام مورد مطالعه در محدوده ۱۵۵۸ درجه روز بیشترین مقدار را داشتند بدین صورت که در رقم قرمز آذرشهر بذور درشت در این محدوده حداکثر سرعت آسمیلاسیون خالص و بذور ریز کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند (شکل ۱۱). این در حالی بود که در رقم زرگان بذور ریز و متوسط در این محدوده اختلاف چندانی با هم نداشتند و در نهایت سرعت آسمیلاسیون خالص در هر دو رقم در ۳۱۶۲ درجه روز رشد روند نزولی نشان داد و به صفر رسید و سرانجام مقدار آن منفی گردید (شکل ۱۲). ظاهراً جذب و تحلیل خالص تحت تأثیر عوامل بسیار زیادی قرار می‌گیرد که عملاً اندازه‌گیری آنها پیچیده بوده و به سادگی قابل تشخیص نیست به همین دلایل نتایج بسیاری از محققین در مورد جذب و تحلیل خالص با یکدیگر تفاوت دارند.



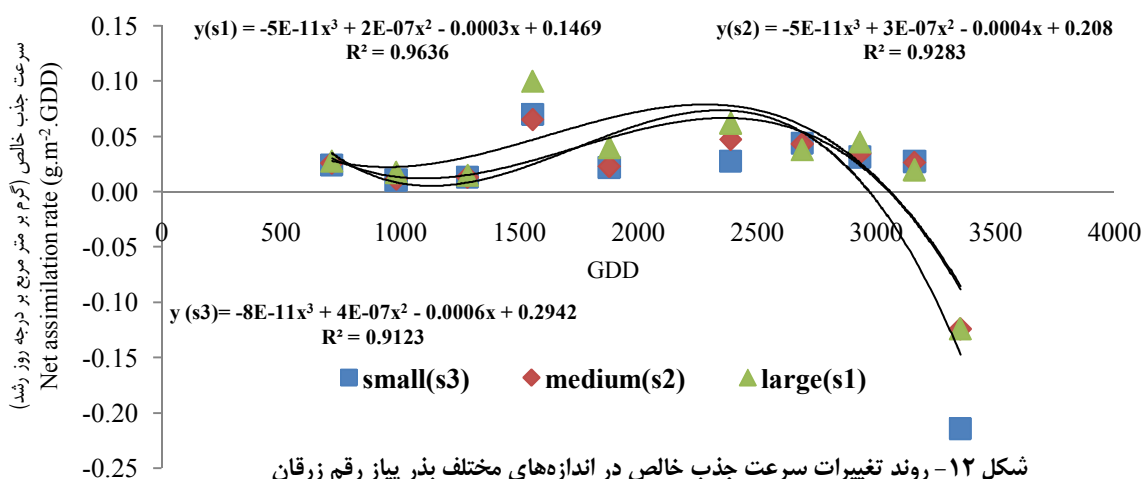
شکل ۹- روند تغییرات سرعت جذب خالص در پیش تیمارهای مختلف بذر رقم آذرشهر
Figure 9- Trend of variation in net assimilation rate of onion Red Azarshshr cultivar in different seed priming



شکل ۱۰- روند تغییرات سرعت جذب خالص تحت تاثیر بیش تیمارهای مختلف بذر رقم زرگان
Figure 10- Trend of variation in net assimilation rate of onion Zargan cultivar in different seed priming



شکل ۱۱- تغییرات سرعت جذب خالص در اندازه‌های مختلف بذر پیاز رقم آذرشهر
Figure 11- Trend of variation in net assimilation rate of onion Red Azarshshr cultivar in different seed size



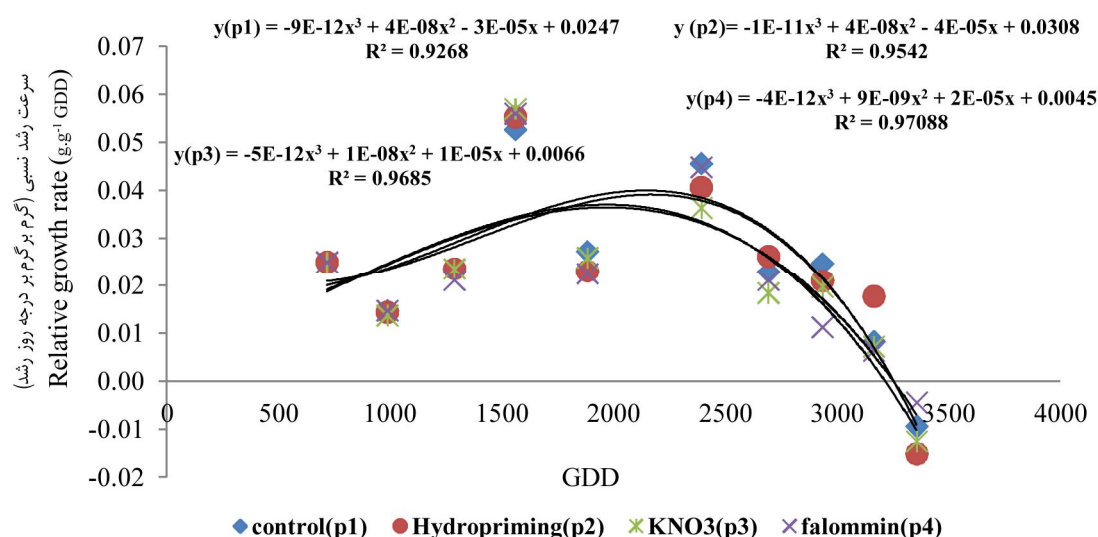
شکل ۱۲- روند تغییرات سرعت جذب خالص در اندازه‌های مختلف بذر پیاز رقم زرگان
Figure 12- Trend of variation in net assimilation rate of onion Zargan cultivar in different seed size

همواره بعد از کاشت، در مدتی از فصل رشد به صورت سیکموئیدی افزایش یافت. بدین صورت که سوخ‌های پیاز، پس از زمان فیزیولوژیک تشکیل سوخ در ۱۸۸۰ درجه روز رشد (اواسط تیر ماه) به تدریج شروع به بزرگ شدن کردند تا اینکه به ۳۱۶۲ درجه روز رشد (اواسط مهرماه) رسیده‌اند. از این زمان به بعد سرعت رشد سوخ در ارقام مورد بررسی در تیمار پرایمینگ با فولامین با اختلاف معنی‌داری افزایش یافت در این پیش تیمار، به علت رشد رویشی سریع‌تر قسمت‌هایی هوایی، پرورده‌سازی و تجمع مواد آسمیلاته در طی فصل رشد بیشتر و سریع‌تر صورت گرفته، بنابراین رشد سوخ با سرعت بیشتر و به میزان زیادتری صورت گرفت و گیاه در مدت زمان بیشتری از فصل رشد به ذخیره مواد غذایی پرداخته و در نتیجه میزان سرعت رشد سوخ بیشتر بود. می‌توان چنین فرض کرد که با شروع دوره افزایش حجم و وزن سوخ مواد فتوسنتزی ذخیره شده در بخش هوایی به طرف مقصد فیزیولوژیکی قوی‌تر یعنی سوخ‌ها سرازیر می‌شوند و از زمان نمونه‌برداری ششم شروع دوره پر شدن سریع سوخ دیده شد. ولی در تیمار شاهد (بدون پرایم) به علت کوچک بودن گیاه و آهنگ کند اولیه در افزایش رشد قسمت هوایی غذاسازی کمتر صورت گرفته و بخشی از این ماده غذایی ساخته شده صرف رشد رویشی شده و رشد سوخ یک روند افزایشی نامحسوس را دنبال می‌کند. در تیمارهای هیدروپرایمینگ و پرایمینگ با نیترات پتاسیم این افزایش رشد سوخ در اواخر دوره رشدی تا حدودی به صورت ثابت ادامه داشت.

منفی شدن سرعت رشد نسبی در مراحل پایانی رشد نشان‌دهنده کاهش شدید سرعت رشد نسبی در واقع کاهش وزن خشک گیاه می‌باشد، که برداشت اقتصادی در این مرحله را کاملاً توجیه می‌نماید، زیرا در صورت طولانی شدن دوره رشد، عملکرد ماده خشک کاهش یافته و از کیفیت محصول کاسته می‌شود (۱۸). در کلیه تیمارها سرعت رشد نسبی در حدود ۱۵۵۸ درجه روز- رشد به حداکثر خود رسید و در حدود ۳۱۶۲ درجه روز- رشد به صفر رسید و سپس احتمالاً به دلیل ریزش برگ‌ها منفی شد (شکل‌های ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶). راستگار و خدادادی (۲۸) گزارش نمودند که سرعت رشد نسبی پیاز در برویستر و ساترلند (۳) گزارش کردند که سرعت رشد نسبی پیاز در مقایسه با سایر محصولات کمتر می‌باشد با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. بیشترین سرعت رشد نسبی در ارقام مورد بررسی به تیمار پرایمینگ با فولامین و بذور درشت تعلق داشت و تیمارهای پرایمینگ با نیترات پتاسیم ۲٪، هیدروپرایمینگ و شاهد، بذور متوسط و ریز در رده‌های بعدی قرار داشتند به نظر می‌رسد در این تیمارها، رقابت بین گیاهان برای کسب آب، عناصر غذایی و نور در دوره زمانی بیشتری از فصل رشد به وقوع پیوسته و در نتیجه میزان فتوسنتز خالص و در نهایت سرعت رشد نسبی گیاهان کاهش یافته است (۱۵).

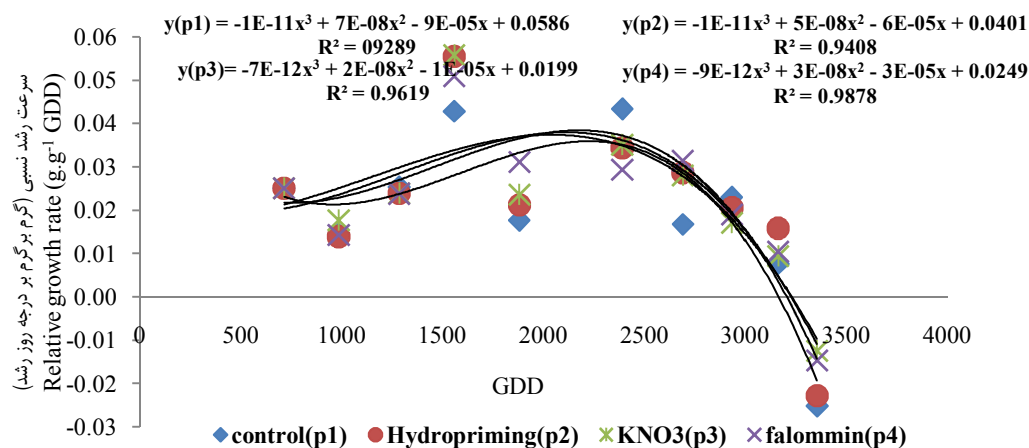
سرعت رشد سوخ

با توجه به نتایج حاصل از آنالیز رشد (شکل‌های ۱۷ و ۱۸) این شاخص در پیش تیمارهای مورد بررسی روند مشابهی را دنبال کرد و

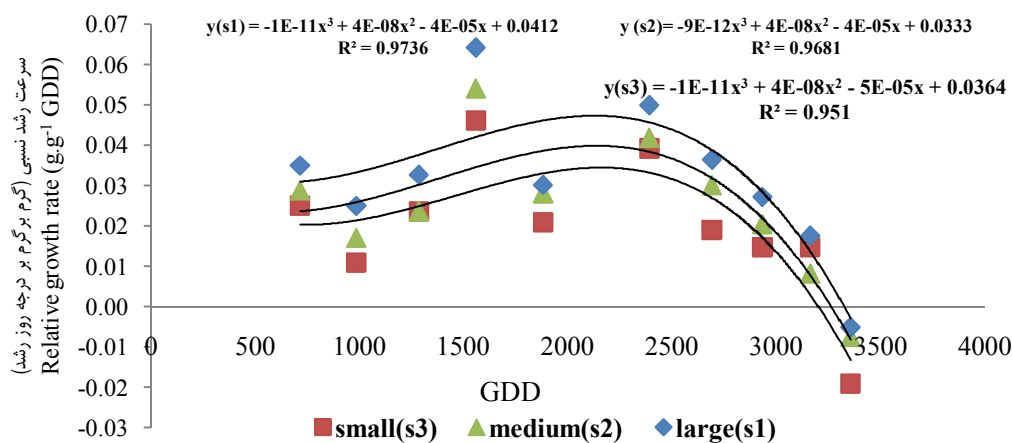


شکل ۱۳- روند تغییرات سرعت رشد نسبی رقم قرمز آذرشهر در پیش تیمارهای مختلف بذور

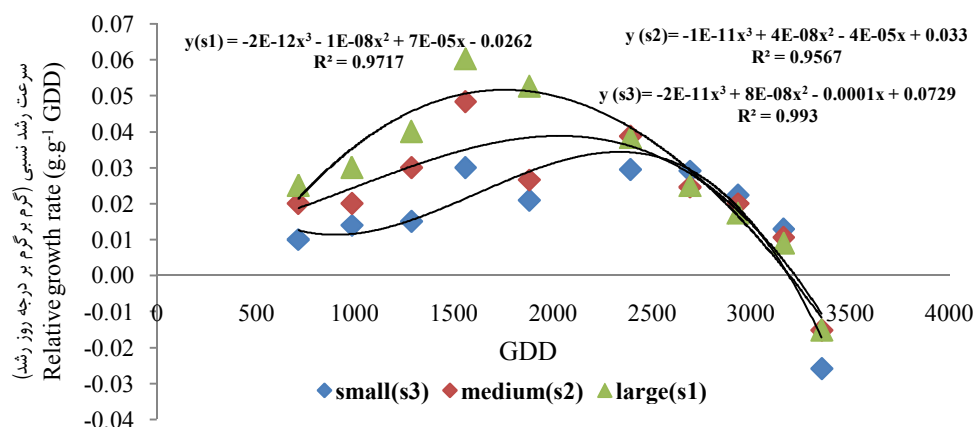
Figure 13- Trend of variation in relative growth rate of onion Rea Azarshahr cultivar in different seed priming



شکل ۱۴- روند تغییرات سرعت رشد نسبی رقم زرقان در پیش تیمارهای مختلف بذر
Figure 14- Trend of variation in relative growth rate of onion Zarghun cultivar in different seed priming



شکل ۱۵- روند تغییرات سرعت نسبی پیاز در اندازه های مختلف بذررقم آذرشهر
Figure 15- Trend of variation in relative growth rate of onion Red Azarshshr in different seed size



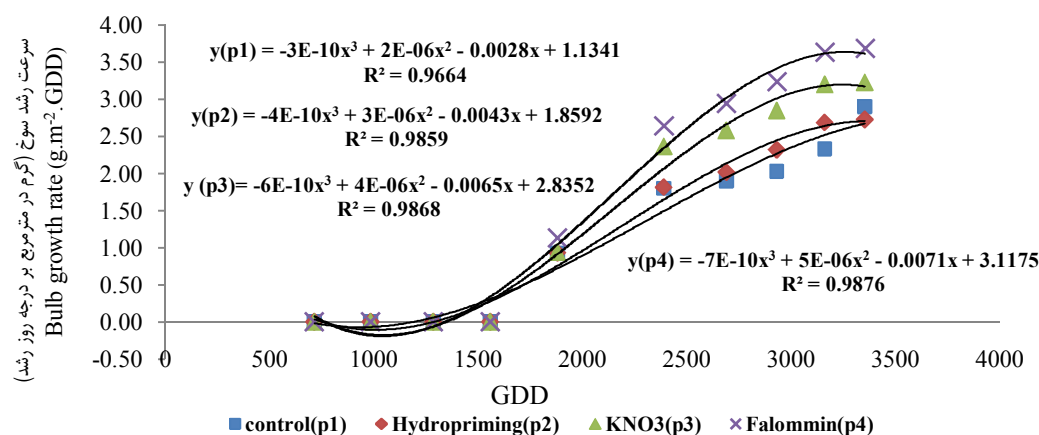
شکل ۱۶- روند تغییرات سرعت نسبی اندازه های مختلف بذر پیاز رقم زرقان
Figure 16- Trend of variation in relative growth rate of onion Zargan cultivar in different seed size

بر آن سوخ‌های تولید شده دارای اندازه و شکل مناسبی نداشته و از کیفیت انباری مطلوبی برخوردار نخواهند بود (شکل‌های ۱۹ و ۲۰).

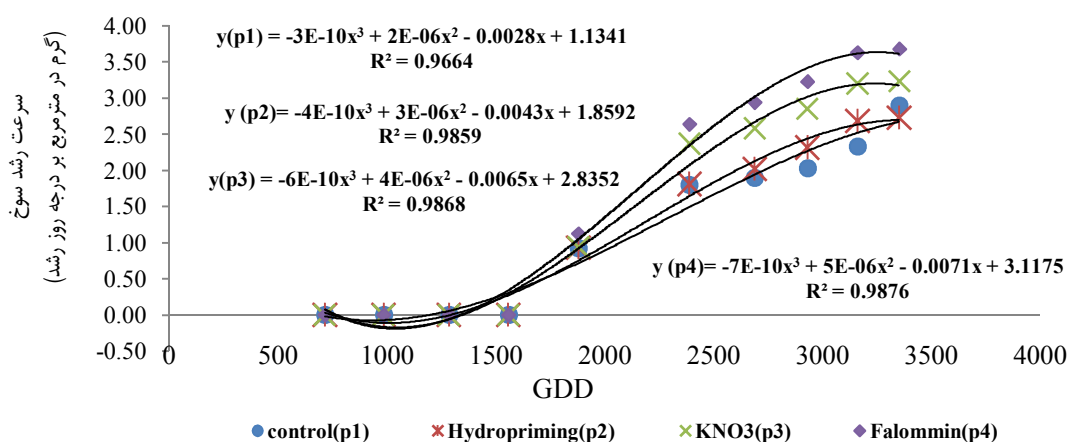
شاخص سطح برگ

با توجه به نمودار تغییرات سطح برگ این شاخص در طی دوره‌های نمونه‌برداری به صورت صعودی افزایش یافت و سپس در اواخر دوره رشد این روند افزایشی محسوس نبود و در بعضی تیمارها حتی کاهش نشان داد در منحنی مربوط به تیمار پرایمینگ با اسید آمینه فولامین این روند افزایش سطح برگ در اوایل فصل رشد نسبت به تیمارهای دیگر چشمگیرتر بود و گیاهان حاصل از آن در اواسط فصل رشد از سطح برگ کافی برای تولید مواد آسیمیلاته برخوردار بود و در مدت ۱۲۰ روز بعد از کاشت حداکثر سطح برگ در این گیاهان به دست آمد. در اواخر دوره رشد شاخص سطح برگ دچار کاهش محسوسی گردید و این کاهش سطح سایه‌انداز مقارن با انتقال بیشتر مواد آسیمیلاته به مخزن فیزیولوژیکی یعنی سوخ بود. عدم توسعه سطح سایه‌انداز در اواخر فصل رشد و کاهش رشد رویشی قسمت‌های هوایی برای دستیابی به عملکرد بالای سوخ ضروری است تا مواد آسیمیلاته در مدت زمان بیشتری در سوخ تجمع یافته و رسیدگی فیزیولوژیکی پیاز نیز در مدت زمان مناسب انجام گیرد (۱۰).

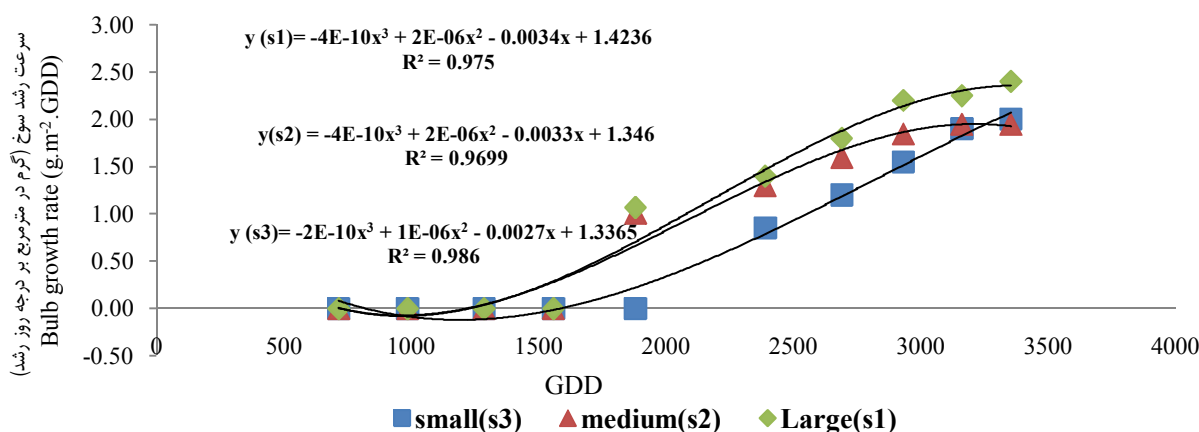
در تیمار شاهد (بدون پرایم) در اواخر فصل، رشد سوخ به صورت صعودی افزایش یافت و به علت همزمان بودن رشد رویشی قسمت هوایی و همچنین به علت عدم وجود زمان کافی برای تکمیل دوره رسیدگی فیزیولوژیکی سوخ، پیازهای تولید شده از قطر گلوکاه بیشتر برخوردار بودند (گردن ضخیم) چنین سوخ‌هایی بازارپسند نبوده و از قابلیت انباری پایین‌تری نیز برخوردار خواهند بود (۲۴). در میان اندازه بذر در ارقام مورد آزمایش بذر درشت بیشترین سرعت رشد سوخ را در بین بذور متوسط و ریز به خود اختصاص دادند. سرعت رشد سوخ برای اندازه‌های مختلف بذور ارقام مورد مطالعه به صورت سیکموتیدی بود و افزایش سرعت رشد سوخ در بذور درشت و متوسط پیازهای مورد آزمایش از ۱۸۸۰ درجه روز رشد شروع و تا ۳۱۶۲ درجه روز رشد ادامه داشت. در بذور ریز، سوخ‌ها در ۲۳۹۰ درجه روز رشد اواخر تیر ماه شروع به تجمع ماده خشک کردند که در ۳۱۶۲ درجه روز رشد اوایل مهر ماه به اوج خود رسید و در ۳۳۵۴ درجه از روز رشد ثابت مانده است. در بین تیمار اندازه بذر در ارقام مورد بررسی در بذر درشت تجمع ماده خشک در سوخ از بذور متوسط و ریز به‌طور معنی‌دار بیشتر بود. سرعت رشد سوخ در بذور ریز در اواخر فصل رشد، به صورت صعودی افزایش نشان داد و سوخ‌های حاصل از بذر ریز دارای گردن ضخیم بوده و نسبت قطر پیاز به قطر گردن آنها بسیار کم بود و گیاهان حاصل از بذر ریز به جای برگ‌های فلس مانند برگ‌های دارای پهنک تولید کردند و در نتیجه رسیدگی فیزیولوژیکی سوخ‌ها به خوبی صورت نگرفته و علاوه



شکل ۱۷- روند تغییرات سرعت رشد سوخ رقم آذرشهر تحت تاثیر پیش تیمارهای مختلف بذر
Figure 17- Trend of variation in bulb growth rate of onion Red Azarshahr cultivar in different seed priming



شکل ۱۸- روند تغییرات سرعت رشد سبب زرقان در پیش تیمارهای مختلف بذر
Figure 18- Trend of variation in bulb growth rate of onion Zargan cultivar in different seed priming



شکل ۱۹- روند تغییرات سرعت رشد سبب در اندازه مختلف بذر پیازرقم آذرشهر
Figure 19- Trend of variation in bulb growth rate of onion Red Azarshahr cultivar in different seed size

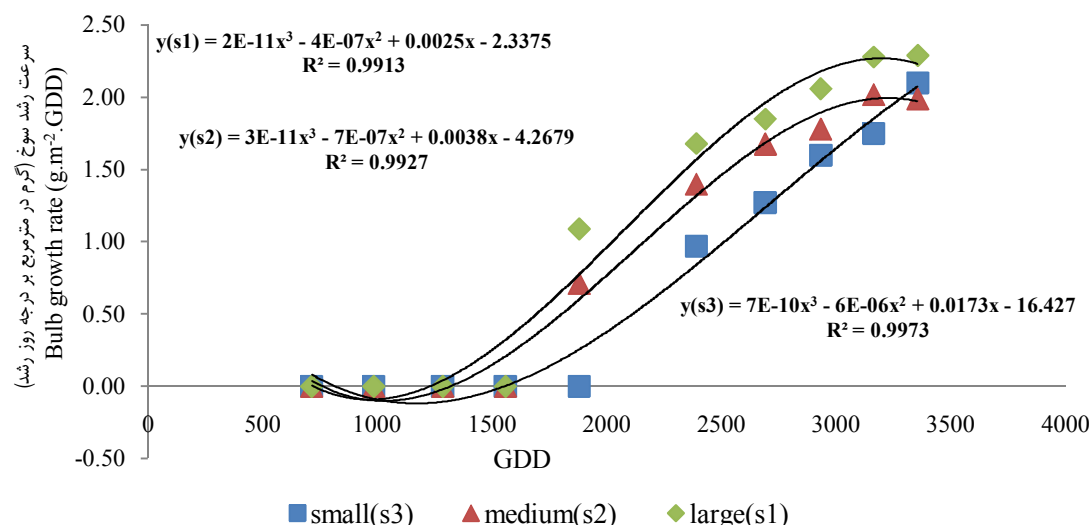
مطابقت داشت و بین روش‌های پرایمینگ و اندازه بذر در ارقام مورد بررسی از لحاظ عملکردهای تر و خشک و در صد ماده خشک اختلاف معنی‌دار دیده شد. مقایسه میانگین تیمار نشان داد بیشترین عملکردهای تر و خشک و ماده خشک به ترتیب ۵۹/۴۰، ۹/۹۵ تن در هکتار و ۱۱/۸۰ درصد به تیمار پرایمینگ با فولامین تعلق داشت که در مقایسه با شاهد به ترتیب ۲۰/۴۵، ۲۱/۸۳ و ۵/۱۴ درصد افزایش داشت (جدول ۲). کائور و همکاران (۱۶) گزارش نمودند که پرایمینگ بذرهای نخود (*Cicer arietinum*) با آب مقطر و مانیتول، عملکرد دانه را به ترتیب ۴۱ و ۷۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. همچنین مقایسه میانگین تیمارهای اندازه بذر نشان داد که بیشترین عملکردهای تر و خشک و ماده خشک را به ترتیب ۲۱، ۲۲/۸ و ۴/۳ درصد بذر درشت به خود اختصاص داد و بذر ریز و متوسط از نظر درصد ماده خشک در یک گروه آماری قرار

ولی در تیمار شاهد (بدون پرایم) در اوایل فصل رشد افزایش سطح برگ محسوس نبود و در اواسط فصل رشد به صورت چشمگیری افزایش یافت، در نتیجه تولید مواد آسیمیلاته برای رشد سبب با شدت کمتری صورت گرفته و قسمت‌های هوایی گیاه در دوره بیشتری از طول فصل رشد به عنوان یک مخزن فیزیولوژیکی جهت مصرف مواد آسیمیلاته عمل نمودند. در تیمار شاهد و بذر ریز کاهش سطح برگ در اواخر فصل رشد محسوس نبود و به طور ثابتی ادامه داشت، بنابراین رشد رویشی دیر هنگام باعث کاهش رشد سبب و همچنین به علت عدم رسیدگی فیزیولوژیکی به موقع سبب‌های تولیدی دچار عوارض فیزیولوژیکی (میخی شکل) شدند و از عملکرد مناسبی نیز برخوردار نبودند (شکل‌های ۲۱، ۲۲، ۲۳ و ۲۴).

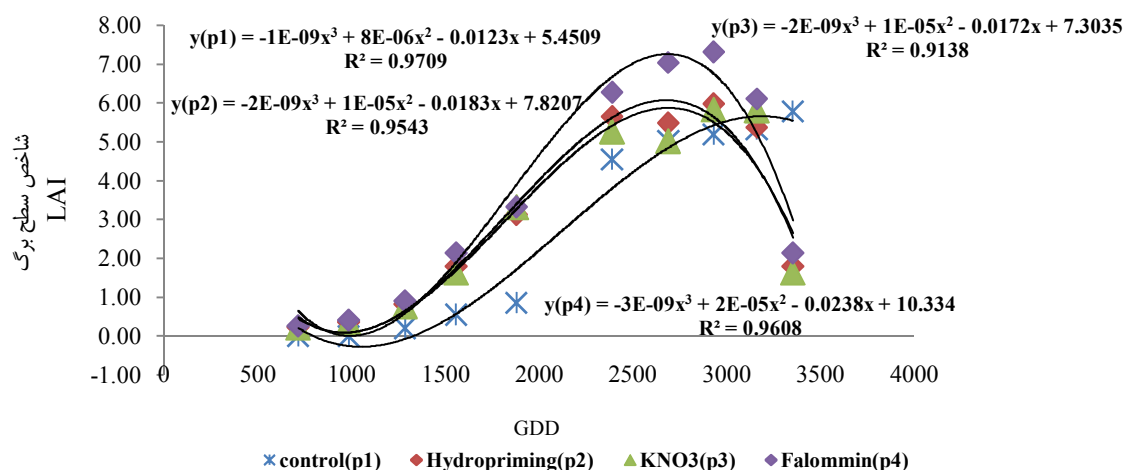
عملکرد و درصد ماده خشک سبب

نتایج مربوط به روند شاخص‌های رشد با عملکرد مزرعه‌ای پیاز نیز

داشتند (جدول ۲).



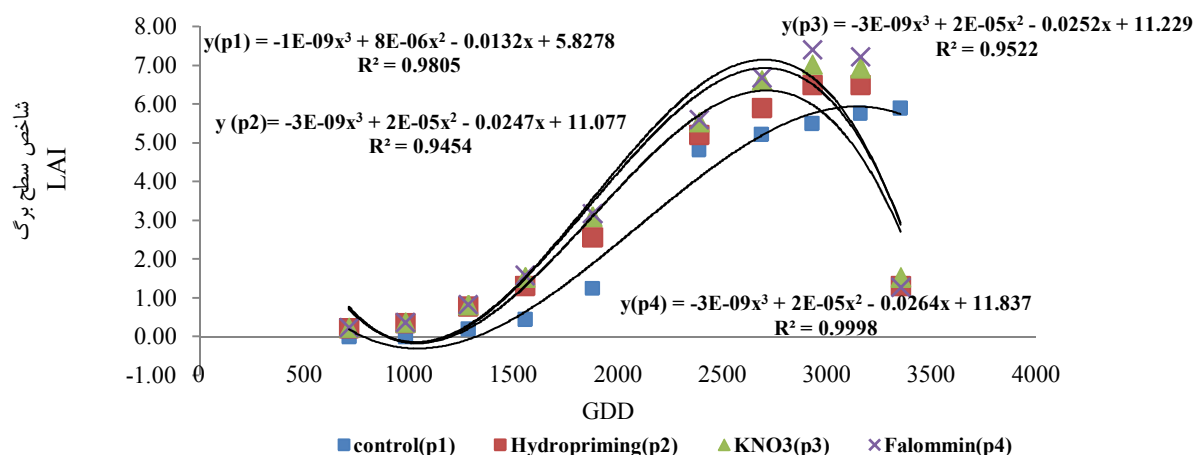
شکل ۲۰- روند تغییرات سرعت رشد سوخ در اندازه مختلف بذر پیاز رقم زرگان
Figure 20- Trend of variation in bulb growth rate of onion Zargan cultivar in different seed size



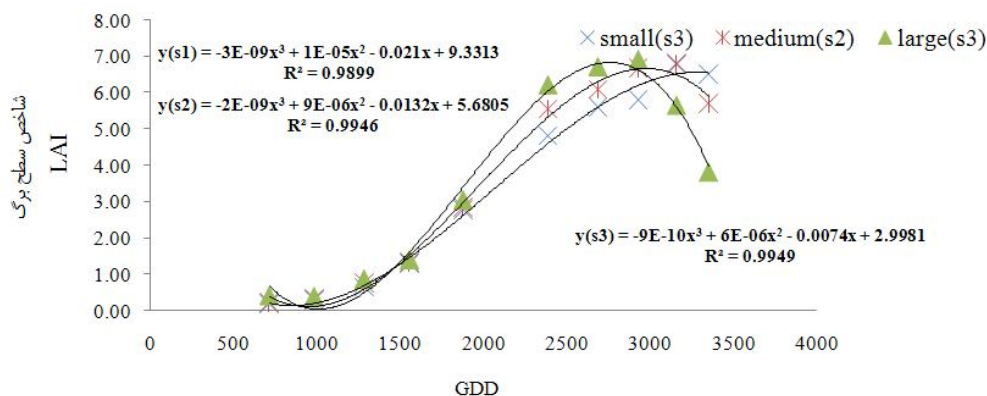
شکل ۲۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ پیاز رقم آذرشهر در پیش تیمارهای مختلف بذر
Figure 21- Trend of variation in leaf area index of onion Red Azarshahr cultivar in different seed priming

سرما و خشکی همراه است، مشهودتر می‌باشد (۱۷). استفاده از روش‌های پیش تیمار بذر علاوه بر بهبود بنیه و استقرار گیاهچه‌ها در شرایط مزرعه‌ای، در افزایش عملکرد ارقام پیاز در مناطق مشابه منطقه اجرای این تحقیق واند مؤثر واقع شود.

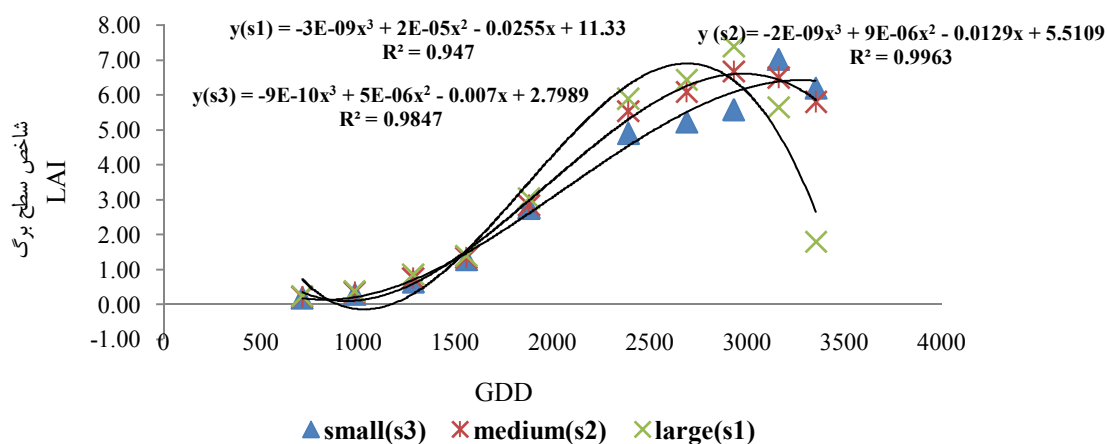
نتایج این تحقیق نشان داد که در کشت پیاز، گیاهان حاصل از بذرهای پیش تیمار شده و بذور درشت‌تر به دلیل جوانه‌زنی، سبز شدن و استقرار سریع، از منابع موجود استفاده بهتری به عمل آوردند و در این گیاهان تجمع ماده خشک، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص، سرعت رشد نسبی، سرعت رشد سوخ، شاخص سطح برگ و در نهایت عملکردهای تر و خشک در مقایسه با گیاهان حاصل از بذرهای شاهد (بدون پیش تیمار) و بذور ریز بیشتر بود. بنابراین، اثر پیش تیمار بذر بر رشد گیاهان در شرایط نامساعد محیطی که معمولاً با تأخیر در نزول بارندگی، پراکنش نامنظم بارندگی و وقوع تنش‌های



شکل ۲۲- تغییرات شاخص سطح برگ تحت تاثیر پیش تیمارهای مختلف بذر پیاز رقم زرگان
Figure 22- Trend of variation in leaf area index of onion Zargan cultivar in different seed



شکل ۲۳- روند تغییرات شاخص سطح برگ در اندازه‌های مختلف بذر پیاز رقم آذرشهر
Figure 23- Trend of variation in leaf area index of onion Red Azarshahr cultivar in different seed size



شکل ۲۴- روند تغییرات شاخص سطح برگ در اندازه‌های مختلف بذر پیاز رقم زرگان
Figure 24- Trend of variation in leaf area index of onion Zargan cultivar in different seed size

جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد تر، خشک و درصد ماده خشک ارقام مورد بررسی تحت تأثیر پرایمینگ و اندازه بذر

Table 2- Mean comparison of bulb fresh and dry matter yield, dry matter percent of seed size, pre- treatment and cultivar

تیمار Treatment	ماده خشک Dry matter (%)	عملکرد تر Bulb fresh yield (ton ha ⁻¹)	عملکرد خشک Bulb dry matter yield (ton ha ⁻¹)
Seed size اندازه بذر			
ریز Small	10.10b	27.52c	3.15c
متوسط Medium	10.44b	41.75b	5.22b
درشت Large	11.47a	53.26a	6.53a
پرایمینگ Priming			
شاهد Control	9.25c	27.64d	4.65d
هیدروپرایمینگ Hydro priming	10.61b	37.17c	5.52c
نیتрат پتاسیم KNO ₃	10.69b	44.19b	7.45b
فولامین Falomin	11.47a	59.40a	9.95a
ارقام Cultivars			
قرمز آذرشهر Red Azarshahr	11.47a	43.40a	5.43a
زرقان Zarghuan	9.48b	40.30b	5.04a

میانگین‌های، هر ستون و تیمار دارای حروف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت آماری معنی‌داری نمی‌باشد.

Mean in each column and treatment with the same letter are not significantly different at 5% of probability level-using Duncan's Multiple Range Test.

References

- Anderson, P. M., Oelke, E. A., and Simmons, S. R. 2002. Growth and development guide for spring barley. University of Minnesota, Agricultural Extension, AG-FO2548.
- Brewster, J. L. 1990. Physiology of crop growth and bulbing. In: J. L. Brewster and H. D. Rabinowitch (Eds.). Onions and Allied Crops. Volume 1. Botany, Physiology and Genetic. CRC, Press. Boca Raton. Pp. 53-58.
- Brewster, J. L., and Suterland, R. A. 1993. The rapid determination in controlled environments of parameters for predicting seedling growth rate in natural conditions. *Annals of Applied Biology* 122: 123-133.
- Change, H. S., Yamato, O., Yamasaki, M., Ko, M., and Maede, Y. 2005. Growth inhibitory effect of alk(en)yl thiosulfates deriveds from onion and garlic in human immortalized and tumor cell lines. *Cancer Lettrers* 233 (1): 47-55.
- Devaraju, P. J., Nagamani, S., Veere Gowda, R., Yogeesha, H. S., Gowda, R., Nagaraju, K. S., Shashidhara. 2011. Effect of Chemo Priming on Plant Growth and Bulb Yield in Onion. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology* 4 (2): 121-123.
- Dorna, H., Jarosz, M., Szopinska, D., Szulc, I., and Rosinska, A. 2013. Germanation, vlgour and health of primed *Allium cepa* L. seeds after storage. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 12 (4): 43-58.
- Faten, S. A., Shaheen, A. M., Ahmed, A. A., and Mahmoud, A. R. 2010. Effect of foliar application of amino acids as antioxidants on growth, yield and characteristics of Squash. *Research Journal of Agriculture and Biological Science* 6 (5): 583-588.
- Gamiel, S., Smittle, D. A., and Mills, H. A. 1990. Onion seed size, weight, and elemental content affect germination and bulb yield. *Horticultural Science* 25 (5): 522-523.
- Hampton, J. G. 1981. The extent and significant of seed size variation in Newslan wheat. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 9: 179-183.
- Iortsuun, D. N., and Khan, A. A. 1989. The pattern of dry mutter distribution during development in onion. *Journal*

- of Agronomy and Crop Science 162: 127-134.
11. Izadkhah, M., Tajbakhsh, M., Zardoshty, M. R., and Hasanzadeh Goratteph, A. 2010. Evaluation effects of different planting systems on water use efficiency, relative water content and some plant growth parameters in onion (*Allium cepa* L.). Notulae Scientia Biologicae 2 (1): 88-93.
12. Izadkhah, M., Tajbakhsh, M., and Moosavezade, S. A. 2011. Study effect of age and different size of transplanting on yield, yield components and some characteristics storage on onion (*Allium cepa* L.). Iranian Journal Horticultural Science Technology 12 (1): 1-14. (in Persian with English abstract).
13. Jonesa, D., Shannon, D., Junvee, F., Thippaya, F., and John, F. 2005. Plant capture of free amino acids is maximized under high soil amino acid concentrations. Soil Biology & Biochemistry 37: 179-181.
14. Kahane, R., Vaillle, E., Boukema, I., Tzanoudakis, D., Bellamy, C., Hamaux, C., and Kik, C. 2001. Changes in nonstructural carbohydrate composition during bulbing in sweet and high-solid onions in field experiments. Environmental and Experimental Botany 45 (1): 73-83.
15. Karemi, M., and Azeze, M. 1994. Crop growth analysis (Translat). Mashhad Jahad university publication. pp. 111. (in Persian).
16. Kaur, S., Gupta, A. K., and Kaur, N. 2005. Seed priming increases crop yield possibly by modulating enzymes of sucrose metabolism in chickpea. Journal of Agronomy and Crop Science 191: 81-87.
17. Kibite, S., and Harker, K. N. 1991. Effects of seed hydration on agronomic performance of wheat, barley and oats in central Alberta. Canadian Journal Plant Science 71: 515-518.
18. Koocheki, A., and Nassiri mahalati, M. 1994. Crop ecology. Jahad Daneshgahi of Mashhad publication. pp. 291. (in Persian).
19. Koocheki, A., Sarmadnia, K. H. 2006. Crop Physiology (Translat). Jahad Daneshgahi of Mashhad publication. pp. 400. (in Persian).
20. Lafond, G. P., and Baker, R. G. 1986. Effects of temperature moisture stress, and seed size on germination of nine spring wheats. Crop Science 26: 563-56.
21. Lee, S. S., and Kim, J. H. 2000. Total sugars-amylase activity and germination after priming of normal and aged rice seeds. Crop Science 45: 108-111.
22. Martinz, M. C., Corzo, N., and Villiamiel, M. 2007. Biological properties of onion and garlic. Trends in Food Science Technology 18 (12): 609-625.
23. McDonald, M. B. 2000. Seed priming: In Seed Science and Technology. Sheffield Academic Press. Pp: 468.
24. Mettanada, K. A., and Fordham, R. 1999. The effects of plant size and leaf number on the bulbing of tropical short - day onion cultivars (*Allum cepa* L.) under controlled environments in the United Kingdom and tropical field conditions in Srilanka. Journal of Horticultural Science Biotechnology 74 (5): 623-633.
25. Nasreen, S., Imamul Haq, S. M., and Altab Hossain, M. 2003. Sulphur effects on growth responses and yield of onion. Asian Journal of Plant Sciences 897-902.
26. Peterson, C. M., Klepper, B., and Rickman, R. W. 1989. Seed reserves and seedling development in winter wheat. Journal of Agronomy 81: 245-251.
27. Rahman, M. S., Khan, M., Rahman, M., and Ashrafuzzaman, M. 1999. Mulching effect on growth attributes in onion. Pakistan Journal of Biological Sciences 2 (3): 619-622.
28. Rastegar, J., and Khodadadi, M. 2008. Investigation on Growth Pattern and Yield of some Iranian Onion Cultivars and Landraces Based on the Physiological Indices. Seed and Plant Improvment Journal 3 (24): 659-675. (in Persian with English abstract).
29. Rebetzke, G. J., Botwright, T. L., Moore, C. S., Richards, R. A., and Condon, A. G. 2004. Genotypic variation in specific leaf area for genetic improvement of early vigour in wheat. Field Crops Research 88: 179-189.
30. Richards, R. A., and Lukacs, Z. 2002. Seedling vigour in wheat: Sources of variation for genetic and agronomic improvement. Australian Journal Agricultural Research Science 53: 41-50.
31. Selvarani, K., and Umarani, R. 2011. Evaluation of seed priming methods to improve seed vigour of onion (*Allium cepa* L.) cv. aggregatum and carrot (*Daucus carota*). Journal of Agricultural Technology 7 (3): 857-867.
32. Singh, K. P. 2000. Response of graded level of nitrogen in tuberose cultivar Single. Advanced Plant Sciences 13 (1): 283-285.
33. Tabatabaei, S. J. 2009. Principles of mineral nutrition of plants. Tabriz Karazme Press. pp. 389. (in Persian).
34. Tajbakhsh, M., and Ghiyas, M. 2008. Seed ecology. Jahad Daneshgahi of Urmia publication. pp. 389. (in Persian).
35. Taylor, N., Day, D. A., and Millar, A. H. 2004. Targets of stress induced oxidative damage in plant mitochondria and their impact on cell carbon /nitrogen metabolism. Journal of Experimental Botany 55: 1-10.
36. Tei, F., Scaife, A., and Aikman, D. P. 1996. Growth of lettuce, onion and red beet. 1. Growth analysis, light interception and radiation use efficiency. Annals of Botany 78: 633-644.
37. Tekalign, T., and Hammes, P. S. 2005. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth. II. Growth analysis, tuber yield and quality. Scientia Hotriculturae 105: 29-44.
38. Umair, A., Ali, S., Bashir, K., and Hussain, S. 2010. Evaluation of different seed priming techniques in mungbean. Soil & Environment 29: 181-186.

39. Wallsgrove, R. M. 1995. Amino acids and their derivatives in higher plants. Cambridge University Press. 294 pp.
40. Yarnia, M., Farajzadeh, E., and Tabrizi, M. 2012. Effect of seed priming with different concentration of GA3, IAA and Kinetin on Azarshahr Onion Germination and Seedling Growth. *Journal of Basic and Applied Scientific Research* 2 (3): 2657-2661.
41. Zaiter, H. Z., and Barakat, S. G. 1995. Flower and pod abortion in chickpea as affected by sowing date and cultivar. *Canadian Journal of Plant Science* 75: 321-327.



Response of Physiological Growth Indices and Bulb Dry Yield of Onion (*Allium cepa* L.) Genotypes to Priming and Seed Size

M. Izadkhah^{1*} - M. Tajbaksh² - J. Jalilian³ - B. Psabaneslam⁴

Received: 16-03-2014

Accepted: 24-11-2014

Introduction

Priming is one of the most common methods of improving seed quality, which significantly affects their storability. Seed priming is a seed treatment that allows imbibition and activation of the initial metabolic events associated with seed germination, but prevents radicle emergence and growth. In other words, phase one and two of seed water imbibition curve are passed, but seeds do not enter the third phase of water uptake. Then seeds are dried back to their original water content. Seed priming is a pre-sowing strategy for influencing seed germination and seedling development by modulating pre-germination metabolic activity prior to emergence of the radicle and generally enhances germination rate and plant performance. Naturally, when speed and percentage emergence of germinating seeds are being high, growing sources like light, water and nutrient will be more used. Another factor that can affect the seed germination and seedling establishment is the seed size. As generally known, among producing factors, seed as the first consumer store, plays an important role in the transfer of genetic characters and improvement of qualitative and quantitative traits of production. One of the most important factors in maximizing crop yield is planting high quality seed. Seed size is an important physical indicator of seed quality that affects vegetative growth and is frequently related to yield, market grade factors and harvest efficiency. In the present paper, effects of different pre-sowing treatments and seed size on physiological growth indices and bulb dry yield of onion cultivars were investigated.

Materials and Methods

In order to determine the response of physiological growth indices and bulb dry yield of onion to priming and seed size, a field experiment was conducted in 2012-2013 cropping season at Agriculture and Natural Resources Research Center of East, Azarbayjan, Iran. This experiment was a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications. Experiment treatments included priming at four levels: hydropriming, osmopriming (in %2KNO₃), priming with folamine amino acid (in 2%) and control (without priming). Seed samples of the two cultivars were sieved by slotted screens and placed into three groups of seed diameter size: small, medium and large and cultivars at two levels: Red Azarshahr and Zarghun. The physiological growth indices such as total dry matter, leaf area index, crop growth rate, net assimilation rate, bulb growth rate and bulb fresh and dry yield were studied.

Results and Discussion

Results of field experiment showed that seed priming improved growth indices such as dry matter accumulation (DMA), crop growth rate (CGR), net assimilation rate (NAR), relative growth rate (RGR), bulb growth rate (BGR) and leaf area index (LAI) in both cultivars. The highest bulb fresh, dry yield and dry matter percentage (54400, 6800 kg/ha and 11/80 %) belonged to priming with folamine amino acid, respectively. The results of growth analysis indicated that the maximum and minimum growth indices values were obtained from large and small seeds, respectively. Mean comparison showed that the highest bulb fresh yield (53.26 ton/ha), bulb dry yield (9.95 ton/ha) and bulb dry matter (11.47 %) were achieved from large seeds. Mean comparison indicated that the highest bulb fresh yield (43.40 ton/ha), bulb dry yield (5.43 ton/ha) and bulb dry matter (11.47 %) were observed in Red Azarshahr.

Conclusions

Seed priming treatments improved bulb fresh and dry yield, total dry matter, leaf area index, crop growth rate, bulb growth rate, relative growth rate and net assimilation rate as compared to the unprimed. Among the

1- Ph.D Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Urmia

2- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Urmia

3- Associate Prof., Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Urmia

4- Associate Prof., Agriculture and Natural Resources Research Center of East Azarbayjan

(* - Corresponding Author Email: ms.izadkhah@gmail.com)

treatments, seed priming with Falomin Amino Acid 2% was more effective than the potassium nitrite 2% and hydropriming. Large seed size significantly increased the bulb fresh and dry yield and physiological growth indices. The highest bulb fresh and dry yield, total dry matter, leaf area index, crop growth rate, bulb growth rate, relative growth rate and net assimilation rate were achieved in larger seeds compared to other sizes. Accordingly, the importance of seed priming and grading seeds were obvious in this study, so seed priming with Falomin Amino Acid 2% and large seed size should be used for onion planting in order to insure high bulb fresh and dry yield and physiological growth indices of onion. Nevertheless, seed priming and seed size improved bulb fresh, and dry yield and physiological growth indices of onion cultivars were attributed to rapid seedling emergence and establishment, and consequently the optimum use of light, soil moisture and nutrients by the plants developed from the primed seeds and seed size. Therefore priming with falomin Amino Acid 2% and large seeds are recommended in onion planting for the places with the same environmental conditions of this experiment.

Keywords: Bulb growth rate, Dry matter accumulation, Net assimilation rate

برآورد محصول ذرت (*Zea mays* L.) و نیتروژن خاک از طریق اندازه گیری هدایت الکتریکی خاک تحت تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک

حمیده خلیل زاده^۱ - محسن جهان^{۲*} - مهدی نصیری محلاتی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۱۸

چکیده

برآورد میزان عملکرد محصول و تخمین میزان نیتروژن خاک در طول فصل رشد، از جمله عواملی است که می تواند به مدیریت مزرعه کمک نماید. به منظور بررسی امکان برآورد عملکرد دانه ذرت از طریق اندازه گیری خصوصیات خاک و میزان نیتروژن خاک به روش ساده، آزمایشی در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در طی سال زراعی ۱۳۸۸-۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. تیمارها شامل ۱- کود دامی (۳۰ تن در هکتار)، ۲- ورمی کمپوست (۱۰ تن در هکتار)، ۳- کود بیولوژیک نیتروکسین، ۴- کود اوره (۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) و ۵- شاهد (عدم مصرف کود) بود. نتایج نشان داد که خاک های تحت تیمار ورمی کمپوست و کود دامی با اختلاف معنی داری نسبت به سایر تیمارها، درصد نیتروژن بالاتری داشتند. در طول فصل رشد، تنفس میکروبی در خاک های تحت تیمار کود بیولوژیک و سپس کود آلی دارای بیشترین مقدار بود. روند تغییرات نیتروژن و هدایت الکتریکی خاک عکس یکدیگر بودند و بررسی نتایج همبستگی خصوصیات خاک نشان داد که می توان از طریق اندازه گیری هدایت الکتریکی خاک به وسیله یک EC متر ساده، میزان نیتروژن خاک را در این منطقه تخمین زد. روند تغییرات pH و درصد نیتروژن خاک تا حد زیادی مشابه هم بودند و بین آن ها همبستگی معنی داری وجود داشت. همچنین بین هدایت الکتریکی خاک و عملکرد دانه ($r = -0.73^{**}$) و بین pH خاک و عملکرد دانه ($r = -0.74^{**}$) همبستگی منفی و معنی دار وجود داشت. بنابراین می توان نتیجه گرفت که با اندازه گیری هدایت الکتریکی خاک در این منطقه، می توان عملکرد دانه ذرت را برآورد کرد.

واژه های کلیدی: اسیدیته خاک، تنفس میکروبی، کود گاوی، نیتروکسین، ورمی کمپوست

مقدمه

ویژگی های خاک، می تواند سبب تسریع حرکت در راستای رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار شود. همچنین، امکان برآورد و تخمین میزان عملکرد محصول در طول فصل رشد و پیش از برداشت آن، از جمله مواردی است که می تواند به زارعین کمک کند تا تمهیدات لازم را برای حصول عملکرد بالاتر اجرا نمایند. بنابراین، پیدا کردن روش های ساده در جهت تخمین عملکرد محصول نیز در راستای اهداف کشاورزی پایدار می باشد. گزارشاتی مبنی بر وجود همبستگی بین هدایت الکتریکی و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ارائه شده است، به عنوان مثال می توان به وجود همبستگی بین هدایت الکتریکی و مقدار نیتروژن خاک (۱۵، ۲۱ و ۳۰)، هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (۳۱) و همبستگی بین هدایت الکتریکی و میزان ماده آلی خاک (۱۷) اشاره کرد. امکان استفاده از هدایت الکتریکی برای پیش بینی عملکرد محصول نیز گزارش شده است (۶ و ۱۸).

ذرت یکی از محصولات انرژی زا است و در میان غلات، بیشترین تنوع مصرف کننده را دارا می باشد. به طوری که علاوه بر مصارف

در بوم نظام های زراعی پایدار، خاک به عنوان یک بخش زنده در نظر گرفته می شود و حفظ پویایی آن در طول زمان از لحاظ فعالیت ریز موجودات و همچنین چرخه ی مواد غذایی، از نکات بسیار مهم در دستیابی به پایداری است (۱۶). خاک حاصلخیز، خاکی است که خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن در سطح مطلوب باشد و مدیریت موفق حاصلخیزی خاک، نیازمند آگاهی از تغییرات این ویژگی ها است. برای اطلاع از این تغییرات، نمونه گیری متوالی از خاک می تواند اطلاعات مفیدی در زمینه ی حاصلخیزی خاک به ما نشان بدهد، اما این کار بسیار هزینه بر و پرهزینه است (۲۳). از این رو، یافتن روش های ساده تر و کم هزینه تر برای آگاهی از تغییرات

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آگروکولوژی

۲ و ۳- به ترتیب دانشیار و استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

(*)- نویسنده مسئول:

(Email: jahan@um.ac.ir)

دیگر نیز انجام گرفت. عملیات تنک، ۳۹ روز پس از کاشت و به‌منظور ایجاد تراکم ۷ بوته در مترمربع انجام شد. در طول فصل رشد، آفت کرم ساقه‌خوار ذرت در حاشیه‌ی زمین مشاهده شد و همچنین در انتهای فصل رشد، برخی از بوته‌ها به بیماری سیاهک آلوده شده بودند. ضمناً در طول دوره‌ی رشد، از هیچ‌گونه علف‌کش و یا آفت‌کش استفاده نشد. نمونه‌برداری از خاک به‌ترتیب در ۴۵، ۵۹، ۸۰، ۱۰۸ و ۱۲۹ روز پس از کاشت انجام شد. نمونه‌برداری به این صورت بود که از هر ۱۵ کرت، از عمق ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری مقداری خاک برداشت و برای تعیین خاک به آزمایشگاه فرستاده شد.

مقدار کل نیتروژن موجود در نمونه‌های خاک توسط روش کج‌لدال (۲) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و pH خاک با تهیه‌ی محلول ۱:۲ (آب:خاک) انجام شد (۱). بدین‌ترتیب که ابتدا ۳۰ گرم از هر نمونه‌ی خاک در ارلن‌های خشک ریخته سپس ۶۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. این محلول‌های سوسپانسیون، روی دستگاه همزن (shaker) که روی ۱۵۰ دور در دقیقه تنظیم شده بود، به‌مدت یک ساعت مخلوط شدند. پس از ته نشین شدن ذرات خاک در ظروف و پدیدارشدن عصاره‌ی شفاف در بالای آن، عصاره‌ها از کاغذ صافی عبور داده شدند. سپس هدایت الکتریکی مایع عبور کرده از کاغذ صافی تعیین شد. بدین‌صورت که ابتدا دستگاه EC متر با محلول KCl با غلظت یک‌صدم نرمال، کالیبره شده و سپس جهت تعیین هدایت الکتریکی عصاره، الکترودها داخل عصاره‌ی مورد نظر قرار گرفتند. از همین عصاره، برای اندازه‌گیری پی‌اچ با استفاده از دستگاه پی‌اچ متر استفاده شد. کربن آلی خاک با استفاده از روش اکسیداسیون دی کرومات (۲۶) اندازه‌گیری شد.

برای محاسبه‌ی تنفس میکروبی خاک، از روش تعیین میزان دی‌اکسیدکربن خارج شده از خاک (۱) استفاده شد. روش کار بدین شرح بود که ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول سود (NaOH) با غلظت ۰/۰۵ نرمال به‌همراه ۱۰ میلی‌لیتر محلول کلروباریوم با غلظت ۰/۰۵ نرمال در یک ظرف ریخته شد. سپس ظرف دیگری که ۵۰ گرم از نمونه خاک الک شده در آن قرار داشت، داخل ظرف محلول قرار داده شد. درب ظرف بسته شد و برای اطمینان از عدم تبادل هوا بین ظرف و محیط خارج، اطراف درب آن کاملاً با پارافیلیم پوشانده شد. همزمان برای کاهش خطای آزمایش، نمونه‌ی شاهد نیز تهیه شد. نمونه‌ی شاهد، ظرف حاوی محلول سود و کلروباریوم بود و هیچ نمونه‌ی حاکی درون آن قرار نمی‌گرفت. نمونه‌های تهیه شده حداقل به‌مدت سه روز به همین صورت نگهداری شدند. پس از سه روز، برای تعیین میزان محلول سود و کلروباریوم باقیمانده در ظروف، عمل تیتراسیون (خنثی شدن مقدار مجهول اسید/ باز با مقدار معلوم باز/ اسید) محلول‌ها با اسید کلریدریک ۰/۰۵ نرمال انجام و میزان اسید مصرف شده یادداشت شد. (اسید مصرفی کمتر، نشان‌دهنده‌ی مصرف شدن بیشتر محلول در طی سه روز و در نتیجه تنفس میکروبی بیشتر

تغذیه‌ای برای انسان و به‌عنوان خوراک دام و طیور، در بخش‌های صنعتی (تولید سوخت زیستی اتانول) نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد و این تنوع مصرف سبب شده‌است که امروزه کاهش هزینه‌های تولید ذرت و افزایش کیفیت آن مورد توجه بسیار قرار گیرد (۹). با توجه به این نکات، پژوهش حاضر در راستای یافتن راهی ساده و کم‌هزینه برای تخمین میزان نیتروژن خاک و عملکرد ذرت طراحی شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در طی سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با طول جغرافیایی ۲۸°۵۹' شرقی و عرض جغرافیایی ۱۵°۳۶' شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا اجرا شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و پنج تیمار اجرا شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: ۱- کود گاوی (۳۰ تن در هکتار)، ۲- ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار)، ۳- کود بیولوژیک نیتروکسین (شامل مخلوطی از باکتری‌های ازتوباکتر و آروسپیریوم) ۴- کود شیمیایی اوره (۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) و ۵- شاهد (بدون مصرف کود). بذور ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴، در تاریخ ۳۰ فروردین ۱۳۸۹ به فاصله ۱۰ سانتی‌متر روی ردیف و در عمق پنج سانتی‌متری توسط دست کاشته شدند. فاصله ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر و فاصله‌ی بین تکرارها، یک متر در نظر گرفته شد. مشخصات کلی خاک محل انجام آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Selected physical and chemical properties of soil

چگالی ظاهری (g cm ⁻³)	EC (dS m ⁻¹)	pH	K (ppm)	P (ppm)	N (%)
1.69	1.71	8.25	140.4	12.1	0.08

کود گاوی یک ماه قبل از کاشت به زمین اضافه و ورمی‌کمپوست نیز چهار روز پیش از کاشت بذور با خاک کرت‌های موردنظر مخلوط شد. کاربرد کود بیولوژیک نیتروکسین (10⁷ cfu/ml) به دو صورت تلقیح بذور هنگام کاشت و سرک انجام شد. تلقیح بذور به روش استاندارد (۱۸) و نیز با رعایت توصیه‌های شرکت تولیدکننده، بلافاصله قبل از کشت انجام شد. دوسوم کل کود اوره‌ی مورد نیاز در تاریخ سوم تیرماه و یک سوم باقیمانده در تاریخ ششم مردادماه ۱۳۸۹ در ردیف‌های موردنظر پخش گردید. آبیاری با فاصله هر هفت روز و به‌روش نشتی انجام شد. کنترل علف‌های هرز اولین بار در ۳۱ روز پس از کاشت به‌روش دستی و با توجه به نیاز مزرعه در یک مرحله‌ی

دریافت کرده بودند، اختلاف معنی داری نداشت و به میزان ۲۵ درصد بیشتر از میانگین عملکرد دانه در گیاهان تحت تیمار کود دامی و ورمی کمپوست بود.

با وجود بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر اثر کاربرد کودهای آلی، محققین عدم حصول عملکرد بالاتر در کوتاه مدت را ناشی از سرعت کند آزاد شدن نیتروژن از کودهای آلی می دانند (۲۷).

با وجود این که در پژوهش های مختلف، اثرات مثبت کودهای طبیعی و از جمله کود دامی بر روی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک مشخص شده است، اما احتمال عملکرد پایین محصول در نتیجهی کاربرد آن ها، به عنوان یکی نکتهی منفی برای این کودها بیان می شود. اگرچه، گزارشات متعددی نیز مبنی بر عملکرد مساوی و یا حتی بیشتر نظام های ارگانیک نسبت به رایج وجود دارد. در آزمایشی ضمن بررسی تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن و کود دامی بر اجزای عملکرد ذرت (۲۲) مشاهده شد که عملکرد دانه در گیاهان تحت تیمار ۱۵ تن کود دامی، بیش از عملکرد در گیاهانی بود که ۲۷۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن دریافت کرده بودند. در آزمایش دیگری نیز، میزان تولید دانهی ذرت در واحد سطح بر اثر کاربرد کود دامی و ورمی کمپوست، نسبت به عملکرد آن در نتیجهی استفاده از کود شیمیایی، بیش تر اما از نظر آماری غیرمعنی دار بود (۲۴). اقبال و پاور (۷) اظهار داشتند که در ذرت، با کاربرد کود دامی براساس میزان نیتروژن قابل جذب، می توان از همان سال اول بدون این که عملکرد دانه کاهش یابد، تمام نیاز غذایی ذرت را از طریق منابع آلی تأمین کرد.

است). پس از تیتراسیون، برای محاسبهی حجم دی اکسید کربن خارج شده از خاک، از رابطهی (۱) استفاده شد:

$$CO_2 = (V_0 - V) \times N \times 22 \quad (1)$$

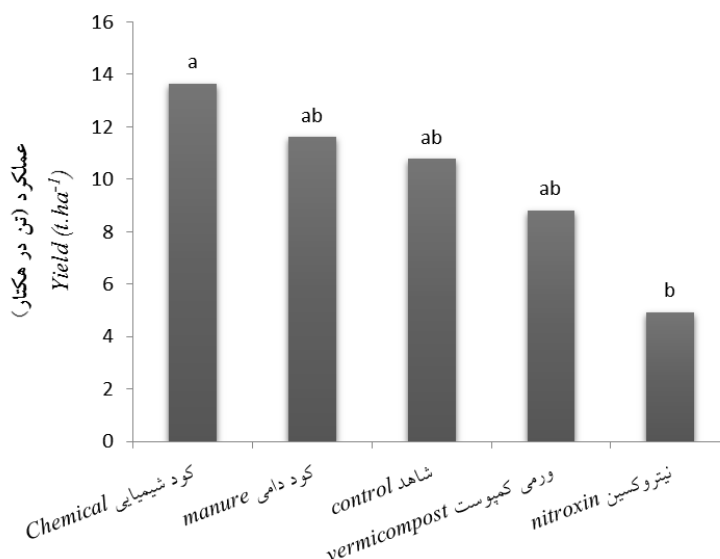
که در آن V_0 حجم اسید مصرف شده برای تیتراسیون نمونهی شاهد، V حجم اسید مصرف شده برای تیتراسیون نمونهی مورد نظر و N نرمالیت اسید را نشان می دهد. سپس حجم CO_2 به دست آمده، بر تعداد روزی که نمونه های خاک در ظروف تنفس قرار داشتند و همچنین بر وزن خاک خشک موجود در ظرف، تقسیم شد تا میزان تنفس میکروبی به ازای یک گرم خاک خشک در یک روز $(mgCO_2/g(dry\ soil).day)$ به دست آید.

تجزیه داده های حاصل از آزمایش توسط نرم افزار SAS Ver. 9 انجام شد. کلیهی مقایسه های میانگین ها براساس روش دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. نمودارها با نرم افزار MS Excel Ver. 11 رسم شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

تأثیر تیمارهای کودی بر عملکرد دانه غیرمعنی دار بود اما همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود، مصرف کود شیمیایی و پس از آن، مصرف کود دامی، سبب تولید بیشترین عملکرد دانه (به ترتیب ۱۳/۶۴ و ۱۱/۶ تن در هکتار) شد. در این آزمایش، حداکثر عملکرد به دست آمده (۱۳/۶۴ تن در هکتار)، که بر اثر کاربرد کود شیمیایی مشاهده شد، در مقایسه با عملکرد گیاهانی که کود گاوی



شکل ۱- عملکرد دانه ذرت تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی

Figure 1- Seed yield of corn treated with difference fertilizers

به‌طور کلی، الگوی جذب نیتروژن از خاک تحت تأثیر شرایط اقلیمی و خصوصیات خاک است (۱۲). چوئی و همکاران (۴) اظهار داشتند که کاربرد ورمی کمپوست، کل وزن خشک گیاه و جذب نیتروژن توسط گندم را افزایش داد. همچنین آن‌ها عنوان نمودند که ورمی کمپوست نسبت به سایر کودهای مورد استفاده، فراهمی بیشتر عناصر نیتروژن، کربن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم را به دلیل آزادسازی تدریجی و کاهش آبشویی آن‌ها سبب شد.

در پژوهشی که در رابطه با اثر نوع خاک‌ورزی و بقایای گیاهی یولاف (*Avena sativa*)، لوبین (*Lupinus angustifolius*) و نخود (*Pisum sativum*) بر میزان نیتروژن و جمعیت میکروبی خاک در مزرعه‌ی گندم *Triticum aestivum* L. انجام شد، روند تغییرات نیتروژن خاک با تغییرات محتوای رطوبت خاک، که بر تجزیه‌ی میکروبی مؤثر است، منطبق بود. همچنین میزان کل نیتروژن خاک با روش خاک‌ورزی همبستگی داشت که علت آن اثر میزان تخریب خاک بر سرعت معدنی‌شدن عناصر غذایی بیان شده است (۱۲).

هدایت الکتریکی خاک

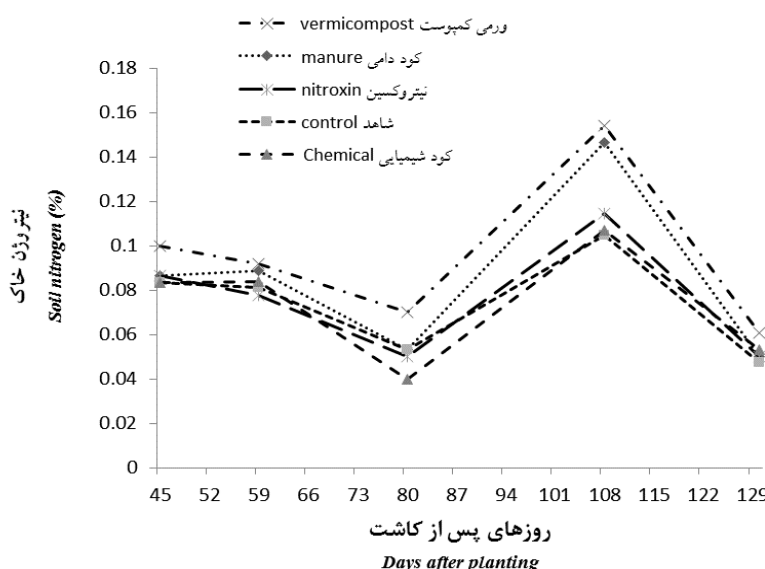
هدایت الکتریکی در تمام کرت‌های تحت تیمارهای مختلف کودی، به‌جز تیمار کود شیمیایی، در اواسط فصل رشد (۶۰ روز پس از کاشت) روند افزایشی داشت (شکل ۳) و در کرت‌های تحت تیمار کود شیمیایی و ورمی کمپوست، دارای کمترین تغییرات بود.

در آزمایش میرزایی‌تالارپشتی و همکاران (۲۵) در رابطه با اثر انواع کودهای آلی و شیمیایی بر گوجه‌فرنگی *Lycopersicon esculentum* L. بیشترین عملکرد محصول در گیاهانی به‌دست آمد که کود شیمیایی و ورمی کمپوست دریافت کرده بودند. با وجود این که ورمی کمپوست دارای مقادیر زیادی از عناصر مورد نیاز گیاه می‌باشد، اما به‌علت بالا بودن نسبت کربن به نیتروژن در آن (حدود ۱۵ به یک) و عدم دسترسی به عناصر مورد نیاز در مراحل اولیه‌ی رشد، احتمالاً گیاه ذرت با کمبود عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن مواجه شده است و به همین دلیل، عملکرد پایین‌تری نسبت به کود دامی و شیمیایی داشت. رضایی‌نژاد و افیونی (۲۹) نیز نتایج مشابهی گزارش کردند.

روند تغییر خصوصیات خاک در طول فصل رشد

درصد نیتروژن خاک

شکل ۲ نشان می‌دهد که درصد نیتروژن در کرت‌هایی که ورمی کمپوست دریافت کرده بودند بیش از سایر تیمارها بود، اگرچه تغییرات آن در تیمارهای کودی مختلف، روند مشابهی را دنبال کرد. کاهش نیتروژن خاک در سومین نمونه‌برداری (۸۰ روز پس از کاشت) و افزایش آن در ۱۰۸ روز پس از کاشت، ممکن است به‌علت افزایش و کاهش جذب نیتروژن توسط گیاه در آن دوره از رشد باشد. عوامل محدودکننده‌ی رشد گیاه و ریشه، مانند کاهش رطوبت قابل دسترس، تنش گرما یا سرما، عدم حاصلخیزی خاک و بیماری‌ها، می‌توانند به‌طور مؤثری سبب کاهش تقاضای نیتروژن توسط گیاه شوند و

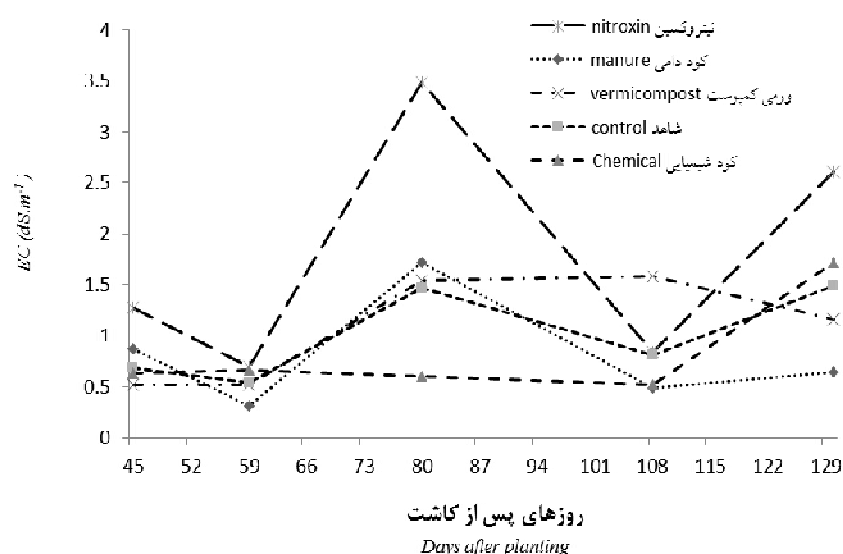


شکل ۲- روند تغییرات درصد نیتروژن خاک تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی

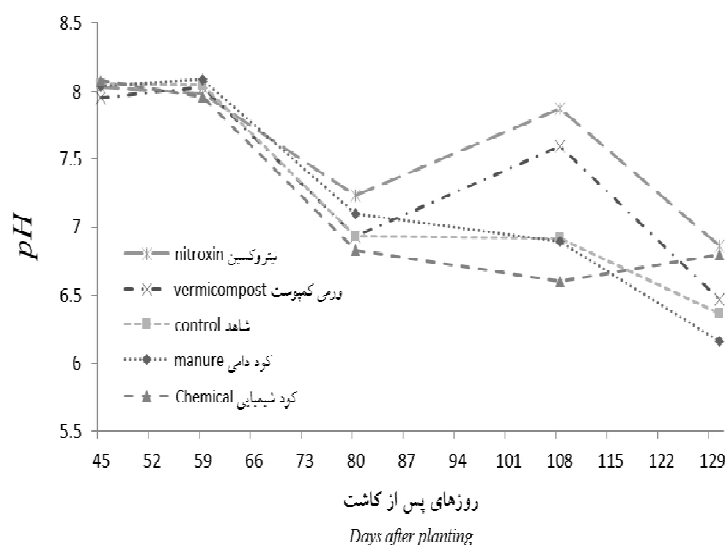
Figure 2- Trend of soil nitrogen treated with difference fertilizers

در آزمایشی که روی ذرت انجام شد (۸)، معلوم شد که از میان تیمارهای کود دامی به همراه نیتروژن، کود دامی به همراه فسفر، کمپوست به همراه کود نیتروژن، کمپوست به همراه فسفر و کود شیمیایی NPK، خاک‌هایی که کمپوست به همراه کود نیتروژن به آن‌ها اضافه شده بود، دارای بیشترین هدایت الکتریکی و تیمار حاوی کود شیمیایی NPK نیز دارای کمترین مقدار هدایت الکتریکی در طول فصل رشد بود. آنان اظهار داشتند که الگوی تغییرات هدایت الکتریکی، وابسته به شرایط خاک است و میزان آب و عناصر غذایی خاک مهمترین عوامل کنترل کننده هدایت الکتریکی می‌باشند.

از سوی دیگر، کرت‌هایی که کود بیولوژیک نیتروکسین دریافت کرده بودند، بیشترین تغییرات هدایت الکتریکی را در طول فصل رشد ذرت نشان دادند و تقریباً در تمام نمونه‌برداری‌ها، این تیمار بیشترین میزان هدایت الکتریکی را سبب شد. به‌طور کلی، میانگین هدایت الکتریکی خاک تحت تیمارهای مختلف آزمایش در طول فصل رشد، حاکی از آن بود که بیشترین هدایت الکتریکی (۱/۷۸ دسی‌زیمنس بر متر) مربوط به تیمار کود بیولوژیک و تیمارهای ورمی کمپوست، شاهد، کود شیمیایی و کود دامی به‌ترتیب با ۱/۰۶، ۱، ۰/۸۲ و ۰/۸ دسی‌زیمنس بر متر، در رده‌های بعدی قرار گرفتند.



شکل ۳- روند تغییرات هدایت الکتریکی خاک در طول فصل رشد ذرت تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی
Figure 3- Trend of soil EC treated with difference fertilizers during corn growing season



شکل ۴- روند تغییرات pH خاک در طول فصل رشد ذرت تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی
Figure 4- Trend of soil pH treated with difference fertilizers during corn growing season

pH خاک

روند تغییرات pH خاک در طول زمان (شکل ۴) نشان می‌دهد که در مجموع، هرچه به انتهای فصل رشد نزدیک‌تر می‌شویم، pH خاک کمتر می‌شود، ضمن این‌که این کاهش برای نیتروکسین و ورمی کمپوست نسبت به سایر تیمارها کمتر بود و نوسان کمتری نیز داشت. در ابتدای فصل رشد، میزان pH خاک در تیمارهای کودی مختلف، تفاوت بسیار کمی داشت، اما به تدریج این اختلاف بیشتر شد، هرچند که تفاوت آن‌ها از نظر آماری غیرمعنی‌دار بود. در انتهای فصل رشد، pH خاک در تمام تیمارها، در محدوده ۶/۵-۷/۵ یعنی بازه‌ی خنثی قرار داشت و خاک‌هایی که کود دامی دریافت کرده بودند، دارای کمترین مقدار pH بودند. همچنین، در انتهای فصل رشد، مقدار pH در خاک‌هایی که کود بیولوژیک و کود شیمیایی به آن‌ها اضافه شده بود، بیشتر از شاهد بود. پس از کاربرد کود اوره (۶۶ روز پس از کاشت)، pH خاک کاهش یافت که مشابه نتایج لی (۲۱) در رابطه با کاربرد کودهای آلی و شیمیایی در مزرعه‌ی پیاز می‌باشد. محققان دیگری نیز مشابه همین نتایج را مشاهده و بیان کردند که میزان فسفر محلول و pH خاک به‌طور معنی‌داری در سیستم‌های ارگانیک و کم‌نهاده بیشتر از سیستم‌های رایج است (۵).

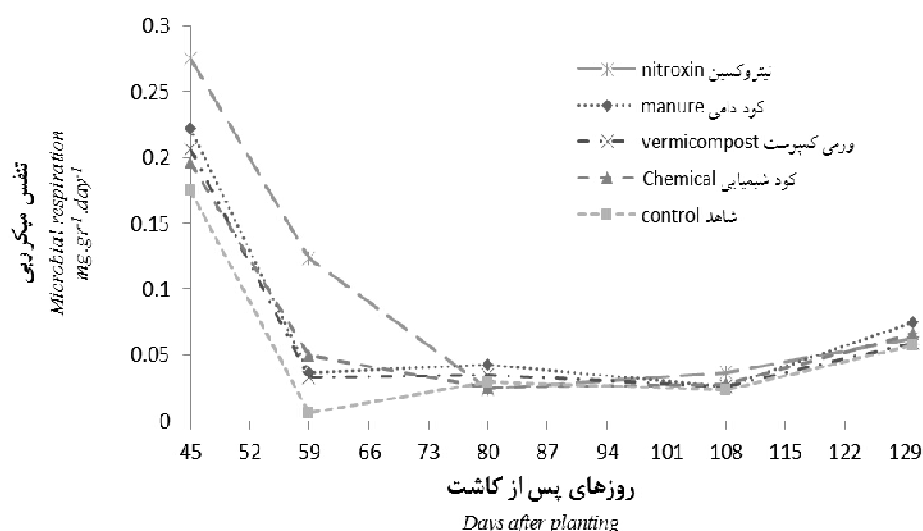
تنفس میکروبی خاک

نتایج تجزیه و تحلیل بیولوژیکی خاک نشان داد که در تمام نمونه‌برداری‌ها، به‌جز سومین نمونه‌برداری (۸۰ روز پس از کاشت)، میانگین تنفس میکروبی در خاک‌هایی که کود بیولوژیک نیتروکسین به آن‌ها اضافه شده بود، بیشتر از سایر تیمارها بود (شکل ۵) ضمن

این‌که در اولین و دومین نمونه‌برداری (۴۵ و ۵۹ روز پس از کاشت)، اختلاف بیشتری با بقیه‌ی تیمارهای کودی و شاهد داشت. همچنین روند تغییرات تنفس میکروبی در طول زمان نشان داد که پس از کود بیولوژیک، خاک‌هایی که کودهای آلی (کود دامی و ورمی کمپوست) دریافت کرده بودند، تنفس میکروبی بیشتری داشتند. از آنجایی‌که کودهای بیولوژیک، در این آزمایش کود بیولوژیک نیتروکسین، حاوی باکتری است، سبب افزایش جمعیت میکروبی و در نتیجه افزایش تنفس میکروبی خاک شد.

کانچی کریمس و سینگ (۱۷) مشاهده کردند که کاربرد کود دامی به میزان ۱۵ تن بر هکتار، جمعیت میکروبی را از ۱۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در تیمار عدم مصرف کود آلی، به ۳۳۱ میلی‌گرم در تیمار کود آلی افزایش داد. آن‌ها بیان نمودند که کربن آماده و نیتروژن کود دامی به علاقه‌ی رشد ریشه و در نتیجه افزایش تراوشات ریشه، می‌تواند عوامل اصلی مؤثر در بهبود جمعیت میکروبی باشند.

در یک پژوهش آزمایشگاهی، افزودن کود دامی سبب افزایش جمعیت میکروبی، تنفس میکروبی و فعالیت‌های آنزیمی در خاک شد (۲۰). مطالعه‌ای در خصوص ورمی کمپوست نشان داد که فعالیت‌های بیولوژیکی خاک شامل تنفس در خاک، زیست‌توده‌ی کربن میکروبی و فعالیت‌های دی‌هیدروژناز در خاک‌های تحت تیمار ورمی کمپوست، بسیار بیشتر از خاک‌های حاوی کودهای شیمیایی بود (۲۳). ماریناری و همکاران (۲۴) نیز اظهار داشتند که به‌علت افزایش مواد آلی در خاک در نتیجه‌ی کاربرد ورمی کمپوست، فعالیت‌های آنزیمی در خاک و نیز تولید دی‌اکسید کربن بیشتر شد.



شکل ۵- روند تغییرات تنفس میکروبی خاک در طول فصل رشد ذرت تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی

Figure 5- Trend of soil microbial respiration treated with difference fertilizers during corn growing season

همبستگی عملکرد دانه با خصوصیات خاک

ضرایب همبستگی بین برخی خصوصیات خاک و عملکرد دانه‌ی ذرت در جدول ۲ آورده شده‌است و همانطور که مشاهده می‌شود بین هدایت الکتریکی خاک و عملکرد دانه‌ی ذرت ($r = -0.73^{**}$) و بین pH خاک و عملکرد دانه ($r = -0.74^{**}$) همبستگی منفی و معنی‌دار در سطح یک درصد وجود دارد.

جدول ۲- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه با درصد نیتروژن،

هدایت الکتریکی و pH خاک

Table 2- Correlation between seed yield and soil nitrogen, EC and pH

EC	نیتروژن Nitrogen	عملکرد دانه Seed yield
		-0.33 ^{ns}
		Nitrogen
	-0.26*	-0.72**
		EC
-0.06 ^{ns}	0.34*	-0.74**
		pH

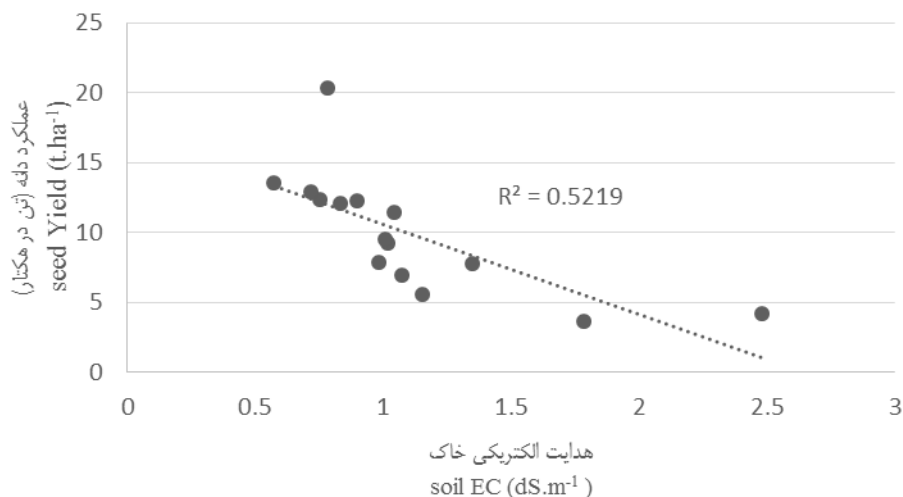
ns, * و ** به ترتیب نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و یک درصد و عدم اختلاف معنی‌دار

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک، می‌توان عملکرد دانه ذرت را برآورد کرد. این همبستگی در شکل ۶ نشان داده شده است. در آزمایشی ضریب همبستگی هدایت

الکتریکی با عملکرد پنبه، در سطح یک درصد معنی‌دار بود (۶). کوروین و لسج (۶) اظهار داشتند که اندازه‌گیری هدایت الکتریکی یک روش سریع و آسان برای تشخیص خصوصیات خاک است، اما همیشه و الزاماً با عملکرد همبستگی ندارد.

اگرچه هدایت الکتریکی و عملکرد، همیشه با یکدیگر همبستگی ندارند (۱۹)، اما رابطه‌ی بین این دو، در بسیاری مناطق به ثبت رسیده است (۱۴) و با یک مدل همبستگی غیرخطی می‌توان با استفاده از هدایت الکتریکی، میزان عملکرد را پیش‌بینی نمود. به‌طوری‌که در جایی که میزان هدایت الکتریکی نصف حداکثر آن است، بیشترین مقدار عملکرد مشاهده می‌شود (۱۹). امکان استفاده از هدایت الکتریکی برای پیش‌بینی عملکرد محصول نیز گزارش شده است (۱۳). کوروین و همکاران (۶) بیان کردند که به این علت که خصوصیات خاک (مانند شوری، محتوای آب و بافت خاک) در یک مزرعه خاص، ممکن است بر عملکرد محصول اثر بگذارد و یا نگذارد، هدایت الکتریکی می‌تواند با میزان عملکرد محصول، همبستگی داشته و یا نداشته باشد. با این وجود، در مناطقی که عملکرد با هدایت الکتریکی همبستگی دارد، می‌توان از نقشه‌ی تغییرات هدایت الکتریکی در خاک مزرعه، برای شناخت خصوصیات خاک که بر روی عملکرد تأثیر می‌گذارند، استفاده کرد. در آزمایشی که آن‌ها انجام دادند، ضریب همبستگی هدایت الکتریکی با عملکرد محصول در سطح یک درصد معنی‌دار بود.



شکل ۶- رابطه‌ی بین میانگین هدایت الکتریکی خاک و عملکرد دانه ذرت تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی
Figure 6- Correlation between soil EC and seed yield of corn treated with difference fertilizers

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین خصوصیات خاک

Table 3- Correlation coefficient between soil properties

pH	EC	N	صفت
		-0.26*	EC
	0.06 ns	0.34	pH
-0.16 ns	-0.11 ns	-0.21 ns	تنفس میکروبی Microbial respiration

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

همبستگی خصوصیات خاک با یکدیگر

ضرایب همبستگی بین خصوصیات خاک در جدول ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار نیتروژن خاک با هدایت الکتریکی و pH خاک دارای همبستگی منفی و معنی‌دار می‌باشد. همچنین، مقایسه‌ی شکل ۲ و ۳ نیز همین مطلب را نشان می‌دهد که روند تغییرات نیتروژن و هدایت الکتریکی خاک عکس یکدیگر می‌باشند و می‌توان از طریق اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک به‌وسیله یک EC متر ساده، میزان نیتروژن خاک را تخمین زد.

از نظر گاجدا و همکاران (۱۱) و پارتیکوئین و همکاران (۲۸)، هدایت الکتریکی خاک شاخص مناسبی برای تشخیص میزان نیتروژن در دسترس خاک می‌باشد. محققان دیگری نیز اعلام کردند که اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک، معتبرترین روش تشخیص تغییرات درون مزرعه‌ای خصوصیات خاک برای استفاده در کشاورزی دقیق است (۶). در آزمایشی میزان کل کربن، نیتروژن و فسفر قابل تبادل موجود در خاک، خصوصیات از خاک که وابسته به عملکرد پتانسیل هستند، با هدایت الکتریکی خاک همبستگی منفی داشتند (۱۵۱۵).

در یک آزمایش ۴ ساله، همبستگی بین بقایای نیترات در خاک با نقشه‌های توپوگرافی منطقه، عکس‌های هوایی و هدایت الکتریکی خاک را بررسی و مشاهده نمودند که از بین ۲۴ مورد بررسی شده، در ۱۵ مورد، هدایت الکتریکی خاک به‌طور معنی‌داری با بقایای نیترات خاک همبستگی داشت و به‌عنوان یک شاخص مفید برای مدیریت

نیتروژن خاک اعلام شد (۱۰). شارما و همکاران (۳۰) نیز در بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک دریافتند که میزان نیترات خاک با مقدار هدایت الکتریکی آن همبستگی دارد و با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی می‌توان میزان نیترات موجود در خاک را تخمین زد. با مقایسه‌ی شکل ۲ و ۴ مشاهده می‌شود که روند تغییرات pH و درصد نیتروژن خاک تا حد زیادی مشابه هم هستند، به عبارتی، زمانی که نیتروژن خاک کم بوده است، pH کمتری نیز به ثبت رسیده است. در آزمایشی که در رابطه با اثر کود دامی، کود سبز و کود بیولوژیک بر سلامت خاک در باغ کیوی انجام شد (۳)، با مقایسه‌ی روند تغییرات pH و نیتروژن خاک، نتایج مشابهی را مشاهده کرده و بیان کردند در زمانی که نیتروژن به خاک اضافه نشد، میزان pH خاک کمتر بود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که همبستگی منفی و معنی‌داری میان هدایت الکتریکی و میزان نیتروژن خاک وجود داشت. همچنین هدایت الکتریکی خاک با میزان عملکرد دانه ذرت نیز همبستگی منفی بالایی داشت که این نتایج بیانگر این مسأله هستند که می‌توان از طریق اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک در طول فصل رشد، میزان نیتروژن و عملکرد دانه ذرت را در این منطقه تخمین زد.

References

- Black, C. A., Evans, D. D., White, J. L., Ensminger, L. E., and Clark, F. E. 1965. Methods of soil analysis, part 2, Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy.
- Bremner, J. M., and Mulvaney, C. S. 1965. Nitrogen-Total. In: Methods of soil analysis: part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page, A. L. (Ed). 1982. Second Edition. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin USA. Agronomy Series 9 (2): 596-622.
- Briones, M. J. I., Barreal, M. E., Harrison, A. C., and Gallego, P. P. 2011. Earthworms and nitrogen applications to improve soil health in an intensively cultivated kiwifruit orchard. Applied Soil Ecology 49: 158-166.
- Chaoui, H. I., Zibilske, L. M., and Ohno, T. 2003. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. Soil Biology and Biochemistry 35: 295-302.
- Clark M. S., Horwath W. R., Shennan C., and Scow, K. M. 1998. Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices. Agronomy Journal 90: 662-671.
- Corwin, D. L., and Lesch, S. M. 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture.

- Computer, Electronic and Agriculture 46: 11-44.
7. Eghball, B., and Power, J. F. 1999. Composted and non-composted manure application to conventional and no-tillage system: corn yield and nitrogen uptake. *Agronomy Journal* 91: 819-825.
 8. Eigenberg, R. A., Doran, J. W., Nienaber, J. A., Ferguson, R. B., and Woodbury, B. L. 2002. Electrical conductivity monitoring of soil condition and available N with animal manure and a cover crop. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 183-193.
 9. Emam, Y. 2003. Cereal farming. Shiraz university publication. (in Persian).
 10. Franzen, D., Long, D., Sims, A., Lamb, J., Casey, F., Staricka, J., Halvorson, M., and Hofman, V. 2011. Evaluation of methods to determine residual soil nitrate zones across the northern Great Plains of the USA. *Precision Agriculture* 12 (4): 594-607.
 11. Gajda, A. M., Doran, J. W., Weinhold, B. J., Kettler, T. A., Pikul, Jr. J. L., and Cambadella, C. A. 2000. Soil quality evaluations of alternative and conventional management systems in the Plains. In: Lal R., Kimble J. F., Follett, R. F., Stewart B. A. (Eds.), *Methods of Assessment of Soil Carbon*, CRC Press, Boca Raton, FL.
 12. Hoyle, F. C., and Murphy, D. V. 2011. Influence of organic residues and soil incorporation on temporal measures of microbial biomass and plant available nitrogen. *Plant and Soil* 347: 53-64.
 13. Jaynes, D. B., Colvin, T. S., and Ambuel, J. 1995. Yield mapping by electromagnetic induction. p. 383-394. In: P.C. Robert et al. (ed.) *Site-specific management for agricultural systems*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
 14. Johnson, C. K., Doran, J. W., Eghball, B., Eigenberg, R. A., Wienhold, B. J., and Woodbury, B. L. 2003. Status of soil electrical conductivity studies by central states researchers. *American Society of Agricultural Engineers Annual International Meeting*, Las Vegas.
 15. Johnson, C. K., Eskridge, K. M., and Corwin, D. L. 2005. Apparent soil electrical conductivity: applications for designing and evaluating field-scale experiments. *Computers and Electronics in Agriculture* 46: 181-202.
 16. Kamkar, B., and Mahdavi-Damghani, A. 2008. *Principles of sustainable agriculture*. Academic Jihad publication. Mashhad. (in Persian).
 17. Kanchikerimath, M., and Singh, D. 2001. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize-wheat-cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a combisol India. *Agriculture Ecosystem and Environment* 86: 155-162.
 18. Kennedy, I. R., Choudhury, A. T. A. M., and Kecskes, M. L. 2004. Non-symbiotic bacterial daizotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? *Soil Biology and Biochemistry* 36: 1229-1244.
 19. Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., and Drummond, S. T. 1999. Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. *Journal of Production Agriculture* 12: 607-617.
 20. Kizilkaya, R., and Hepsen, S. 2007. Microbiological properties in earthworm cast and surrounding soil amended with various organic wastes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38: 2861-2876.
 21. Lee, J. 2010. Effect of application method of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production. *Scientia Horticulturae* 124: 299-305.
 22. Majidian, M., Ghalavand, A., Karimian, N., and Kamkar-Haghighi, A. 2008. Effect of different levels of nitrogen, manure and irrigation on corn yield and yield components. *Crops product Journal* 2: 67-85. (in Persian with English abstract).
 23. Manna, M. C., Jha, S., Ghosh, P. K., and Acharya, C. L. 2003. Comparative efficacy of three epigic earthworms under different deciduous forest litters decomposition. *Bioresource Technology* 88: 197-206.
 24. Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., and Grego, S. 2000. Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology* 72: 9-17.
 25. Mirzaee-Talarposhti, R., Kambozia, J., Sabahi, H., and Mahdavi-Damghani, A. 2009. Effect of organic fertilizers on soil physico-chemical properties and yield of tamato (*Lycopersicon esculentum*). *Iranian Journal of Field Crops Research* 7 (1): 257-268. (in Persian with English abstract).
 26. Nelson, D. W., and Sommers, L. E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A. L., Miller, R. H., and Keeney, D. R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*, American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin: 539-580.
 27. Pang, X. P., and Letey, J. 2000. Organic farming: challenge of timing nitrogen availability to crop nitrogen requirements. *Soil Science Society of American Journal* 64: 247-253.
 28. Patriquin, D. G., Blaikie, H., Patriquin, M. J., and Yang, C. 1993. On-farm measurements of pH, electrical conductivity and nitrate in soil extracts for monitoring coupling of nutrient cycles. *Biology, Agriculture and Horticulture* 9: 231-272.
 29. Rezaeenejad, Y., and Afyooni, M. 2001. Effect of organic matters on soil chemical properties, elements uptake by corn and corn yield. *Agriculture and Natural Resources Sciences and Technologies* 4 (4): 19-28. (in Persian with English abstract).
 30. Sharma, P., Shukla, M. K., and Mexal, J. G. 2011. Spatial variability of soil properties in agricultural fields of southern New Mexico. *Soil Science*, Article in Press.

31. Sudduth, K. A., Kitchen, N. R., Hughes, D. F., and Drummond, S. T. 1995. Electromagnetic induction sensing as an indicator of productivity on claypan soils. p. 671-681. In: P.C. Robert et al. (Eds.) Site-specific management for agricultural systems. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.



Estimation of Corn Yield and Soil Nitrogen via Soil Electrical Conductivity Measurement Treated with Organic, Chemical and Biological Fertilizers

H. Khalilzade¹ - M. Jahan^{2*} - M. Nassiri Mahallati³

Received: 12-04-2014

Accepted: 08-06-2015

Introduction

Around the world maize is the second crop with the most cultivated areas and amount of production, so as the most important strategic crop, have a special situation in policies, decision making, resources and inputs allocation. On the other side, negative environmental consequences of intensive consumption of agrochemicals resulted to change view concerning food production. One of the most important visions is sustainable production of enough food plus attention to social, economic and environmental aspects. Many researchers stated that the first step to achieve this goal is optimization and improvement of resources use efficiencies. According to little knowledge on relation between soil electrical conductivity and yield of maize, beside the environmental concerns about nitrogen consumption and need to replace chemical nitrogen by ecological inputs, this study designed and aimed to evaluate agroecological characteristics of corn and some soil characteristics as affected by application of organic and biological fertilizers under field conditions.

Materials and Methods

In order to probing the possibility of grain yield and soil nitrogen estimation via measurement of soil properties, a field experiment was conducted during growing season 2010 at Research Station, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. A randomized complete block design (RCBD) with three replications was used. Treatments included: 1- manure (30 ton ha⁻¹), 2-vermicompost (10 ton ha⁻¹), 3- nitroxin (containing *Azotobacter* sp. and *Azospirillum* sp., inoculation was done according to Kennedy et al.), 4- nitrogen as urea (400 kg ha⁻¹) and 5- control (without fertilizer). Studied traits were soil pH, soil EC, soil respiration rate, N content of soil and maize yield. Soil respiration rate was measured using equation 1:

$$CO_2 = (V_0 - V) \times N \times 22$$

Equation 1

In which V_0 is the volume of consumed acid for control treatment titration, V is of the volume of consumed acid for sample treatment titration, N is acid normality.

The microbial respiration (mgCO₂/g(dry soil).day⁻¹) calculated by dividing the record CO₂ volume to number of days that sample have been placed on container plus dry weight of soil sample.

Results and Discussion

Results showed that soils treated with vermicompost and manure had the highest level of nitrogen during the growing season. Higher microbial respiration was recorded in soils treated with biological fertilizer. Changes in soil nitrogen and electrical conductivity was against each other and correlation results showed that soil nitrogen could be estimated via measurement of soil electrical conductivity. Changes of pH and soil nitrogen were similar and there was a significant correlation between them. Eigenberg *et al.* (8) suggested that the pattern of changes of soil electrical conductivity is highly dependent on soil conditions; also soil water and nutrient content are of the most important factors in determining soil EC. There is a significant and negative correlation between soil electrical conductivity and grain yield and it seems that in this region grain yield of maize can be estimated via measurement of soil electrical conductivity.

Conclusions

In general, the results indicated that there was a strong and negative relation between EC and soil N content. Also, soil EC showed a negative correlation with maize yield which suggested that it is possible to estimate soil N and maize yield through soil EC measurement during of the growing season in the study area.

Keywords: Manure, Microbial respiration, Nitroxin, pH, Vermicompost

1- MSc student, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2- Associate Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(*- Corresponding Author Email: jahan@um.ac.ir)

اثر زمان مصرف نیتروکسین و محلول پاشی عناصر ریز مغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام جدید گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط آب و هوایی خرم آباد

آزاده واعظ^{*۱} - علی خورگامی^۲ - منوچهر سیاح فر^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۳

چکیده

به منظور بررسی اثر زمان مصرف نیتروکسین و محلول پاشی عناصر ریز مغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام جدید گندم (*Triticum aestivum* & *T. durum*) در شرایط آب و هوایی خرم آباد، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات کشاورزی خرم آباد طی سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ انجام شد. عامل اول در شش سطح: N_0 : عدم تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و بدون محلول پاشی عناصر ریز مغذی (شاهد)، N_1 : تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین، N_2 : محلول پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ساقه رفتن، N_3 : محلول پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ظهور سنبله، N_4 : تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ساقه رفتن، N_5 : تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول پاشی عناصر ریز مغذی در دو سطح، شامل: V_1 : رقم پارسی و V_2 : رقم دنا بود. در این بررسی عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در سنبله مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول پاشی عناصر ریز مغذی و کود زیستی نیتروکسین بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در سنبله گندم تأثیر معنی‌داری داشت. بیشترین عملکرد دانه مربوط به کاربرد توأم تیمار تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ظهور سنبله بود. با توجه به افزایش قابل توجه عملکرد دانه، کاربرد توأم تیمار تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ظهور سنبله در شرایط خرم آباد توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تلقیح بذر، ظهور سنبله، عملکرد دانه، گندم

مقدمه

فقیر از عناصر غذایی، از اهمیت ویژه‌ای در افزایش تولید و حفظ کیفیت خاک برخوردار است (۱۸).

به منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی در واحد سطح، عملیات زراعی متعددی نظیر مصرف کودهای شیمیایی صورت می‌گیرد. نتیجه این فعالیت‌ها طی سال‌های اخیر بحران آلودگی‌های محیط زیست و به‌ویژه آلودگی منابع خاک و آب بوده که زنجیره‌وار به منابع غذایی انسان‌ها راه یافته و سلامت جامعه بشری را مورد تهدید قرار داده است (۳).

گرچه استفاده از کودهای بیولوژیک در کشاورزی قدمت زیادی دارد ولی بهره‌برداری علمی از این گونه منابع سابقه چندانی ندارد. هرچند کاربرد این کودها در چند دهه اخیر کاهش یافته ولی امروزه با مشکلاتی که مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی به‌وجود آورده است استفاده از آنها در کشاورزی مطرح شده است و سعی بر آن است تا از پتانسیل ارگانوسم‌های خاک و مواد آلی به منظور حداکثر تولید در

گندم (*Triticum aestivum* L.) گذشته از جنبه تجاری مهم آن در دنیا، سلاحي کارآمد در مناسبات سیاسی و جهانی است که روز به روز بر اهمیت کاربردی آن افزوده می‌شود با این که جمعیت ایران در حدود یک درصد جمعیت جهان است ولی در حدود ۲/۵ درصد گندم جهان را مصرف می‌کند، گندم همانند انرژی، کالایی است راهبردی و از شاخص‌های مهم کشاورزی محسوب می‌شود. در نظام‌های کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی، به‌خصوص در خاک‌های

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه آزاد اسلامی لرستان، خرم‌آباد، ایران
(*) نویسنده مسئول: (Email: azade_vaez@yahoo.com)

۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی لرستان، خرم‌آباد، ایران

۳- عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، خرم‌آباد، ایران

ضمن توجه به کیفیت خاک و رعایت بهداشت و ایمنی محیط زیست استفاده گردد. کودهای بیولوژیک و آلی به عنوان یک رهیافت امیدبخش در تغذیه گیاهی در کشاورزی پایدار مطرح گردیده است (۱۲).

امروزه توجه به کودهای بیولوژیک (زیستی) به دلیل توسعه جمعیت و قیمت بالای کودهای شیمیایی و سیستم کشاورزی پایدار افزایش یافته است (۲۲).

از انواع کودهای بیولوژیک می توان نیتروکسین را نام برد. کود بیولوژیک نیتروکسین دارای مجموعه ای از مؤثرترین باکتری های تثبیت کننده نیتروژن از جنس های *Azotobacter* و *Azospirillum* است.

در مورد کاربرد عناصر غذایی کم مصرف در مزارع گندم، آزمایش های فراوانی در کلیه نقاط دنیا انجام شده و نتایج عمدتاً نشان دهنده این است که با کاربرد این عناصر علاوه بر افزایش عملکرد کمی و کیفی میزان عناصر غذایی در دانه نیز افزایش یافته است (۱۸).

به منظور بررسی اثر کود بیولوژیک نیتروکسین بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم رقم سبلان، آزمایشی اجرا شد نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که همه صفات اندازه گیری شده در تیمار نیتروکسین نسبت به شاهد، افزایش یافت (۲۲).

آگراول (۴) ضمن مطالعه نیاز گندم به عناصر کم مصرف حد بحرانی آهن، منگنز، روی و مس در خاک های زیر کشت گندم را به ترتیب ۵، ۵/۵، ۸/۵ و ۰/۷ میلی گرم در کیلوگرم خاک گزارش نموده است، همچنین آگراول اظهار داشت مصرف این عناصر موجب افزایش غلظت همان عناصر در برگ و افزایش عملکرد دانه گندم می شود.

آمال و همکاران (۲) اظهار داشتند که اثر محلول پاشی کود کامل روی گندم به نسبت ۰/۳ درصد، ۰/۶ درصد و ۰/۹ درصد در مقایسه با شاهد روی صفات رویشی، ارتفاع گیاه، تعداد سنبله، عملکرد سنبله، عملکرد دانه، مقدار کاه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، درصد پروتئین و کربوهیدرات دانه معنی دار بوده و بیشترین اثر مربوط به نسبت ۰/۹ درصد بوده است.

عارف و همایی (۷) گزارش دادند محلول پاشی عناصر ریز مغذی تعداد دانه در سنبله گندم را در مقایسه با شاهد ۱۶ درصد افزایش داده است، همچنین وزن هزار دانه در مقایسه با شاهد ۲۸/۸ درصد افزایش داشته است. این نتایج با گزارشات سویلر و همکاران (۳۲) مشابه بوده است.

سویلر و همکاران (۳۲) افزایش معنی دار تعداد سنبله در متر مربع را با محلول پاشی عناصر ریز مغذی مختلف به طور انفرادی و ترکیبی گزارش دادند.

عارف و همایی (۷) گزارش دادند عملکرد بیولوژیک گندم با

محلول پاشی عناصر ریز مغذی دارای افزایش معنی دار بوده است، به طوری که حداکثر عملکرد بیولوژیک به دست آمده با محلول پاشی عناصر ریز مغذی ۴۸۳۳ کیلوگرم در هکتار بوده که در مقایسه با شاهد حداقل عملکرد بیولوژیک ۱۳۴۳ کیلوگرم در هکتار افزایش معنی داری داشته است، این نتایج با گزارشات سویلر و همکاران (۳۲) مطابقت داشته است.

اردکانی (۶) طی تحقیقی گزارش نمود که تلقیح *Azospirillum* با گندم، موجب افزایش ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله در واحد سطح، عملکرد دانه، بیوماس و شاخص برداشت و همچنین باعث افزایش تولید هورمون اکسین، جیبرلین و سیتوکینین گردید. عارف و همایی نیز در سال ۱۳۸۵ افزایش به مقدار ۱/۲ تا ۳۳/۳ درصد را در عملکرد دانه گندم و جو تلقیح شده با *Azotobacter* به همراه سطوح مختلف کود اوره مشاهده کردند (۷).

با توجه به تأثیر مثبت تلقیح با کود زیستی نیتروکسین و محلول پاشی عناصر ریز مغذی و واکنش این ارقام به مصرف این نوع کودها به جای کودهای شیمیایی همچنین نظر به اهمیت گندم به عنوان مهمترین محصول زراعی کشور که نقش مهمی در تأمین غذای مردم دارد، این پژوهش با هدف تعیین مناسب ترین زمان مصرف عناصر ریز مغذی به صورت محلول پاشی با توجه به نیاز گیاه در مراحل مختلف رشد و کاربرد کود زیستی نیتروکسین بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم اجرا شد.

مواد و روش ها

این آزمایش با هدف بررسی اثر زمان مصرف نیتروکسین و محلول پاشی عناصر ریز مغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام جدید گندم طی سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در شرایط اقلیمی شهرستان خرم آباد و در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات کشاورزی خرم آباد اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. سطوح مختلف محلول پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین که شامل: N_0 : عدم تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و بدون محلول پاشی عناصر ریز مغذی (شاهد)، N_1 : تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین، N_2 : محلول پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ساقه رفتن، N_3 : محلول پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ظهور سنبله، N_4 : تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ساقه رفتن، N_5 : تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ظهور سنبله و سطوح رقم که شامل: V_1 : رقم پارس و V_2 : رقم دنا (دوروم) بود.

آزمایش دارای ۳۶ کرت بود. هر تکرار دارای ۱۲ کرت می باشد و مساحت هر کرت آزمایشی $1/2 \times 6 = 3$ متر مربع بود هر پلات آزمایشی شامل شش خط کاشت به طول شش متر با فاصله بین

جدول ۱ - نتایج آزمایش خاک محل اجرای آزمایش
Table 1- Results of soil tests implementation of experimental site

کربن آلی (%) Organic Carbon (%)	ازت کل (%) Total nitrogen (%)	فسفر Phosphorus (ppm)	پتاسیم Potassium (ppm)	آهن Iron (%)	منگنز Manganese (ppm)	روی Zinc (ppm)	مس Copper (ppm)	بر Br (ppm)	شوری خاک EC (dSm ⁻¹)	اسیدیته خاک (pH)	آهک (%) Lime (%)	بافت خاک (Soil texture)
1.42	0.130	8.0	250	2.1	1	0.48	0.52	0.28	0.50	7.8	33.2	رسی - شنی (Clay Sandy)

ردیف‌های کاشت ۲۰ سانتی‌متر و میزان بذر و تراکم کاشت براساس ۴۰۰ بذر در متر مربع تنظیم شد. ارقام مورد استفاده در پژوهش از نظر ژنتیکی تفاوت دارند رقم دنا که به منظور جایگزینی ارقام حساس شده به زنگ زرد و در راستای پیشگیری از شیوع بیماری زنگ سیاه و نیز معرفی ارقام گندم زودرس با کیفیت تولید ماکارونی خوب معرفی شده است میانگین عملکرد ۸۵۸۱ کیلوگرم در هکتار و درصد پروتئین دانه ۱۲ درصد است. رقم پارسا در کلیه مراحل تحقیقاتی نسبت به ارقام شاهد در هر دو اقلیم گرم و معتدل برتری داشت. زودرس‌تر بودن نسبت به ارقام شاهد، عملکرد بالاتر، درصد پروتئین بالا، مقاومت به ریزش و بیماری‌های زنگ و سیاهک ناقص و درصد گلوتن بالاتر از ویژگی‌های این رقم است میانگین عملکرد ۶۸۰۰ کیلوگرم در هکتار و درصد پروتئین دانه ۱۳/۲ درصد است. پارسا از ارقام جدید گندم آبی بوده که طی چند سال اخیر توسط سازمان تحقیقات کشاورزی و مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر معرفی شده‌اند. میزان مصرف کودهای نیتروژنه، فسفره و پتاسه براساس نتایج آزمون خاک بوده است. تمام کودهای فسفره و پتاسه و نیمی از کود نیتروژنه در زمان کاشت و هنگام عملیات تهیه زمین به خاک داده شد و نیم دیگر کود نیتروژنه در دو مرحله یعنی اواخر مرحله پنجه‌زنی و مرحله ظهور سنبله گیاه به صورت سرک مصرف شده است. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. مصرف کود زیستی فسفات بارور به صورت تلقیح با بذر و قبل از کشت بذور انجام شد که جهت اعمال تیمارهای تلقیح، قبل از کاشت بذر با محلول تجاری نیتروکسین تلقیح شد و بعد از خشک شدن در سایه، عملیات کاشت آنها در کرت‌های مربوطه انجام شد. جهت محلول پاشی عناصر ریز مغذی از محلول تجاری عناصر ریز مغذی میکروید (آهن ۳ درصد، منگنز ۰/۵ درصد، روی ۲ درصد، مولیبدن ۰/۳ درصد، مس ۰/۵ درصد، بُر ۱ درصد، منیزیم ۱ درصد) به میزان دو لیتر در هکتار با غلظت ۵ درصد استفاده شد و در مراحل ساقه رفتن و ظهور سنبله گندم براساس تیمارهای مربوطه، عملیات محلول پاشی انجام شد. محلول پاشی عناصر ریز مغذی با استفاده از یک محلول پاش دقیق دستی و با فشار ثابت اعمال شد. جهت برداشت نهایی ضمن حذف دو خط کناری و نیم متر حاشیه بالا و پایین، عملیات برداشت از چهار ردیف میانی به مساحت چهار متر مربع انجام شد. سپس برای تخمین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نمونه‌های برداشت شده به آزمایشگاه منتقل و جهت خشک شدن به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از خشک شدن نمونه‌ها، کلیه اندام‌های هوایی (کاه و کلش) توزین شدند که عدد مربوطه عملکرد بیولوژیک می‌باشد. جهت تعیین عملکرد دانه پس از جدا کردن کاه و کلش، دانه‌های مربوط به هر کرت جداگانه وزن شد.

در برداشت نهایی پس از آن که دانه‌ها جدا و خشک شدند، توسط دستگاه بذر شمار، تعداد هزار دانه شمارش و سپس وزن آنها بر حسب گرم با احتساب ۱۳ درصد رطوبت محاسبه شد. برای شمارش تعداد سنبله‌ها در واحد سطح، در مرحله شیری شدن دانه در سطح ۰/۵ متر مربع برای هر کرت در هر تکرار نسبت به شمارش سنبله‌های بارور اقدام گردید. برای شمارش تعداد سنبلچه در سنبله، از هر کرت ۱۰ بوته به‌طور تصادفی و برای هر تکرار انتخاب و تعداد سنبلچه در سنبله شمارش شد و سپس میانگین محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم افزار MSTAT-C و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین (N) بر عملکرد دانه گندم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین بر صفت عملکرد دانه نشان داد بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ظهور سنبله با ۶۷۴۷/۶ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه مربوط به شاهد با ۵۳۷۱/۳ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳).

همچنین اثر رقم بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده رقم نشان داد بیشترین عملکرد دانه مربوط به رقم دنا با ۶۴۲۸/۱ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه مربوط به رقم پارس با ۵۹۳۴/۴ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳).

اثر متقابل محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین با رقم بر عملکرد دانه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ظهور سنبله در رقم پارس با ۶۸۴۴/۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار عدم تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و بدون محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی (شاهد) در رقم پارس با ۴۶۵۱/۶ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴).

به نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد به دلیل افزایش توسعه ریشه در گیاهان سبب افزایش جذب مواد غذایی در گیاه می‌شوند که این خود موجب افزایش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه و نهایتاً سبب افزایش عملکرد و تولید عملکرد دانه بالاتر می‌شود.

پاندی و همکاران (۲۴) گزارش دادند که تلقیح با *Azospirillum* عملکرد و وزن خشک دانه را در گیاه ذرت افزایش داد و بخشی از این افزایش عملکرد به دلیل تثبیت نیتروژن توسط این باکتری بود. یاداو و همکاران (۳۵) گزارش دادند که تلقیح با گونه‌هایی از *Azospirillum* در یک آزمایش گلخانه‌ای باعث افزایش ارتفاع، بیوماس و عملکرد دانه گندم گردید.

تلقیح گیاه گندم با *Azospirillum* در شرایط مزرعه و آزمایشات گلخانه‌ای، نتایج معنی‌داری در چندین مشخصه گیاه از جمله باعث ماده خشک، عملکرد دانه و وزن دانه‌ها برجای گذاشت (۱۳، ۲۴ و ۳۴) کلپر و همکاران (۱۷) نشان دادند که عملکرد گندم تا ۳۰ درصد در اثر استفاده و تلقیح با *Azotobacter* افزایش یافت.

خاصه سیرجانی و همکاران (۱۶) نتیجه‌گیری نمودند که مصرف *Azotobacter* سبب افزایش معنی‌دار تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه گندم گردید. عجم و همکاران (۵) گزارش دادند که مصرف کود زیستی نیتروکسین سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله گندم نسبت به تیمار (شاهد) عدم تلقیح گردید. شریفی (۲۹) و ساباشینی و همکاران (۳۳) گزارش دادند که کاربرد کودهای بیولوژیک سبب افزایش معنی‌داری بر روی عملکرد برنج شده است.

تأثیر *Azotobacter* با افزایش سطوح نیتروژن و مقدار قابل جذب عناصر N، P، K و برخی از عناصر میکرو، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گندم را افزایش می‌دهد، همچنین مقدار pH و مقدار کربن آلی خاک را بهبود می‌بخشد (۲۳). باکتری‌های جنس *Azotobacter* هورمون‌های اکسین، سیتوکین و جیبرلین سنتز می‌کنند و این مواد محرک رشد، مواد اصلی تنظیم و افزایش رشد در گیاهانی نظیر گوجه فرنگی، پیاز، چغندر قند، گندم و غیره می‌باشند (۱۹). در بین باکتری‌های دی‌ازوتروف، *Azotobacter* بیشترین تولیدکننده سیتوکینین‌ها است (۳۶).

رای و گاور (۲۶) در یک آزمایش گلدانی اثرات *Azotobacter* و *Azospirillum* به تنهایی و با هم بر رشد و عملکرد گندم را مورد مطالعه قرار دادند و نتایج این بررسی را مثبت اعلام کردند. نتایج نشان داد که تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ظهور سنبله باعث افزایش عملکرد دانه در رقم دنا به میزان ۶۴۲۸/۱ کیلوگرم در هکتار گردید. عملکرد دانه برخی از ارقام گندم اساساً به خاطر تعداد دانه در واحد سطح (تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله) بالا می‌باشد (۸).

تیمار تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی بر صفات ارزیابی شده عملکرد دانه معنی‌دار بود که با نتایج آزکون و پاراً (۹)، نیتو و فرانکن (۲۲) مطابقت داشت.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه آزمایش
Table 2- Results of the variance analysis of traits study

Table 2. Results of the variance analysis of the study								
منابع تغییر (Source of Variation)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (Means of square)						
		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg ha ⁻¹)	شاخص برداشت (%) Harvest Index (%)	وزن هزار دانه (گرم) 1000- Grain weight (g)	تعداد سنبله (متر مربع) Spike number per (m ⁻²)	تعداد دانه در سنبله Grain number per spike (Number)	تعداد سنبله در سنبله Spikelet number per spike (Number)
تکرار (Repeat)	2	40641.38 ^{ns}	16016565 ^{**}	64.7 ^{**}	5.6 ^{ns}	5968.9 ^{ns}	13.8 ^{ns}	0.4 ^{ns}
محلول پاشی و نیتروکسین (N)	5	1596586 ^{**}	8470849 [*]	20.7 ^{**}	29.8 [*]	7443.2 ^{ns}	16.6 ^{ns}	1.2 ^{ns}
Foliar application and Nitroxin								
رقم (V) Cultivar	1	2194166 ^{**}	15183.3 ^{ns}	94.1 ^{**}	738.02 ^{**}	47430.9 ^{**}	31.7 [*]	5.4 [*]
رقم× محلول پاشی و نیتروکسین Cultivar× Foliar application and Nitroxin	5	745528.2 [*]	2680836 ^{ns}	28.5 ^{**}	12.4 ^{ns}	3881.9 ^{ns}	16.05 ^{ns}	0.6 ^{ns}
خطا (Error)	22	267238.3	2344464	4.5	8.2	3335.4	6.51	0.8
کل (Total)	35	56757835.9	3982427	16.53	32.6	5410.7	10.5	0.9
ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)		8.36	9.17	5.68	7.21	13.28	7.13	5.13

^{ns}, ^{**}, ^{*} به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۱ درصد و معنی دار در سطح ۵ درصد
ns, **, * Respectively non-significant, significant at level 1 percent and significant at level 5 percent

نیتروکسین در مرحله ساقه رفتن دارای افزایش معنی‌داری بوده است، به طوری که حداکثر عملکرد بیولوژیک به‌دست آمده با محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی $179.03/40$ کیلوگرم در هکتار بود. محلول‌پاشی در زمان ساقه‌دهی که جذب عناصر برای عملکرد بیشتر است باعث شد که بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار N_2 مشاهده شود.

شاخص برداشت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین (N) بر صفت شاخص برداشت گندم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین نشان داد بیشترین درصد شاخص برداشت مربوط به تیمار محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ظهور سنبله با $38/7$ درصد و کمترین درصد شاخص برداشت مربوط به تیمار شاهد عدم تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و بدون محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی با $34/5$ درصد بود (جدول ۳).

همچنین اثر رقم بر شاخص برداشت در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده رقم نشان داد بیشترین درصد شاخص برداشت مربوط به رقم دنا با $38/8$ درصد و کمترین درصد شاخص برداشت مربوط به رقم پارسا با $35/6$ درصد بود (جدول ۳). اثر متقابل محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین با رقم بر صفت شاخص برداشت در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد بیشترین درصد شاخص برداشت مربوط به تیمار تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین در رقم دنا با $41/4$ درصد و کمترین درصد شاخص برداشت مربوط به تیمار عدم تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و بدون محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی (شاهد) در رقم پارسا با $29/9$ درصد بود (جدول ۴). شاخص برداشت بیان‌کننده نسبت مواد فتوسنتزی بین عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک است. این شاخص یکی از معیارهای مورد استفاده در برآورد کارایی توزیع یا انتقال مواد ساخته شده به دانه یا محصول اقتصادی در گیاه می‌باشد (۲۵ و ۲۸).

عوامل محیطی نظیر آب، کود، تاریخ کاشت، تراکم و غیره می‌تواند شاخص برداشت، بیوماس و عملکرد را تحت تأثیر قرار دهد. میزان شاخص برداشت بسته به نوع ژنوتیپ متفاوت است (۱۰).

جنس‌های *Azotobacter* و *Azospirillum* عموماً باعث افزایش تولید اقتصادی و شاخص برداشت گیاهان زراعی مثل ذرت، گندم، برنج، سورگوم و چغندر قند می‌باشد (۱۵).

اثر تلقیح *Azotobacter* روی صفاتی مانند عملکرد بیولوژیک، درصد پروتئین دانه، وزن هزار دانه، شاخص سطح برگ و نیز جذب عناصری مثل N، P، Fe و Zn در بذر گندم رقم مثبت و معنی‌دار بود.

بیشترین مقدار عملکرد دانه در تیمار N_5 و کمترین مقدار عملکرد دانه در تیمار N_0 مشاهده گردید.

تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول‌پاشی در زمان ظهور سنبله که اندام‌های هوایی توسعه یافته بودند باعث شد که بیشترین عملکرد دانه در تیمار N_5 و رقم دنا که میانگین عملکرد بیشتری داشت مشاهده شود.

عملکرد بیولوژیک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین (N) بر عملکرد بیولوژیک گندم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین نشان داد بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ساقه رفتن با $179.03/4$ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین با $153.65/8$ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳).

اثر متقابل محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین با رقم بر عملکرد بیولوژیک غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ظهور سنبله در رقم پارسا با $189.93/6$ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین در رقم پارسا با $148.20/3$ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴).

عارف و همایی (۷) گزارش نمودند در اثر محلول‌پاشی گندم با عناصر ریز مغذی در مرحله سبز شدن، ساقه رفتن، رسیدن، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه افزایش معنی‌داری داشته است. همچنین حداکثر تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک در محلول‌پاشی مرحله رسیدن گزارش شده و حداکثر عملکرد دانه در محلول‌پاشی مرحله ساقه رفتن به‌دست آمده که از نظر آماری با محلول‌پاشی مرحله رسیدن یکسان بوده است.

تیمار تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی بر صفت اثر ساده ارزیابی شده عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود که با نتایج اسم محققین (۷) مطابقت داشت.

بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک در تیمار N_2 و کمترین مقدار عملکرد بیولوژیک در تیمار N_1 مشاهده گردید.

عملکرد بیولوژیک گندم با محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح

اثر متقابل محلول پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین بر وزن هزار دانه غیر معنی دار بود (جدول های ۲ و ۴).

مرادی (۲۱) نیز نشان داد که اثرات مثبت کودهای زیستی از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی سبب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب تولید اسیمیلات بیشتر و بهبود رشد گیاه شده است در نتیجه وزن هزار دانه در مقایسه با تیمار عدم تلقیح افزایش نشان داده است. وی همچنین اظهار نموده است که احتمالاً کاربرد کود شیمیایی، شرایط تغذیه ای مناسب را برای تکثیر و فعالیت باکتری سودوموناس فراهم نموده است.

نتایج ماریوس و همکاران (۱۹) نشان داد که تأثیر تلقیح باکتریایی موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و میزان رنگدانه های کلروفیل، تولید انرژی و در نهایت بهبود رشد آفتابگردان در تیمار کود زیستی نسبت به کنترل شده است. ایدریس (۱۵) نیز اثر مثبت کود زیستی را بر وزن هزار دانه گندم تأیید کرده است.

وزن هزار دانه یکی از اجزای مهم عملکرد بوده و تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی گیاه از نظر پتانسیل تولید تعداد دانه در سنبله، رقابت دانه ها به عنوان مخزن اصلی گیاه، طول دوره پر شدن دانه و شرایط محیطی قبل و بعد از گرده افشانی و اثرات متقابل آنها قرار دارد (۷).

ضیائیان و ملکوتی (۳۶) گزارش نمودند بر اثر کاربرد منگنز تعداد دانه در سنبله گندم از ۳۲/۲ به ۳۵/۲ و وزن ۱۷ درصد افزایش نشان داد. همچنین مصرف روی میزان پروتئین دانه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله افزایش معنی داری را نشان داده است.

نتایج نشان داد که تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ظهور سنبله باعث افزایش وزن هزار دانه در رقم دنا به میزان ۴۴/۳ گرم گردید.

تیمار تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول پاشی عناصر ریز مغذی بر صفت اثر ساده ارزیابی شده وزن هزار دانه معنی دار بود که با نتایج ضیائیان و همکاران (۳۶)، عارف و همایی (۷) مطابقت داشت.

بیشترین مقدار وزن هزار دانه در تیمار N_3 و کمترین مقدار وزن هزار دانه در تیمار N_0 مشاهده گردید.

نتایج حاصل از این بررسی نشان می دهد که مصرف عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین با بذر باعث افزایش وزن هزار دانه می شود. محلول پاشی در زمان ظهور سنبله که اندام های هوایی توسعه یافته بودند وزن افزایش یافته و ریشه فعالیت جذب بیشتری داشته باعث شد که بیشترین وزن هزار دانه در تیمار N_3 و رقم دنا که میانگین عملکرد بیشتری داشت مشاهده شود.

تعداد سنبله در واحد سطح

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر رقم بر

به نظر می رسد دلیل افزایش این شاخص ها در فرآورده های مذکور، در درجه اول مربوط به تولید فیتوهورمون و در درجه دوم تثبیت بیولوژیک ازت است (۲۷).

شیرانی فر (۳۰) در آزمایشی به این نتیجه رسید که اثر رقم بر روی عملکردهای کل، دانه و شاخص برداشت معنی دار بود.

تیمار تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول پاشی عناصر ریز مغذی بر صفات ارزیابی شده شاخص برداشت معنی دار بود که با نتایج بهاری و همکاران (۱۰)، شیرانی فر (۳۰) و رجایی (۲۷) مطابقت داشت.

نتایج نشان داد که تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ظهور سنبله باعث افزایش شاخص برداشت در رقم دنا به میزان ۳۸/۸ درصد گردید.

بیشترین مقدار شاخص برداشت در تیمار N_3 و کمترین مقدار شاخص برداشت در تیمار N_0 مشاهده گردید.

مصرف عناصر ریز مغذی به صورت محلول پاشی و تلقیح نیتروکسین در مرحله ظهور سنبله باعث افزایش درصد شاخص برداشت نسبت به شاهد گردید. محلول پاشی در زمان ظهور سنبله که اندام های هوایی توسعه یافته بودند باعث شد که بیشترین شاخص برداشت در تیمار N_3 و رقم دنا که میانگین عملکرد بیشتری داشت مشاهده شود.

با توجه با این که اکثر خاک های کشور به دلیل کشت و کار و تخلیه مداوم عناصر غذایی از نظر مواد غذایی فقیر شده و تعادل عناصر غذایی آن ها به هم خورده و از باروری آن ها کاسته شده است و همین امر سبب شده است تا مصرف محرک های رشدی از قبیل نیتروکسین که نیتروژن مورد نیاز را تأمین و همچنین فراهمی سایر عناصر غذایی را بیشتر می کنند، تأثیر مثبت بر افزایش عملکرد و به دنبال آن افزایش شاخص برداشت گندم داشته باشد.

وزن هزار دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر محلول پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین (N) بر وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده محلول پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین نشان داد بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار محلول پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ظهور سنبله با ۴۲/۸ گرم و کمترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار شاهد عدم تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و بدون محلول پاشی عناصر ریز مغذی با ۳۶/۳ گرم بود (جدول ۳).

همچنین اثر رقم بر وزن هزار دانه در سطح ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده رقم نشان داد بیشترین وزن هزار دانه مربوط به رقم دنا با ۴۴/۳ گرم و کمترین وزن هزار دانه مربوط به رقم پارسا با ۳۵/۲ گرم بود (جدول ۳).

تعداد سنبله در واحد سطح در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده رقم نشان داد بیشترین تعداد سنبله در واحد سطح مربوط به رقم پارسى با ۴۷۱/۰۶ و کمترین تعداد سنبله در واحد سطح مربوط به رقم دنا با ۳۹۸/۴ بود (جدول ۳). همچنین اثر ساده و اثرات متقابل محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی

و تلقیح نیتروکسین بر تعداد سنبله در واحد سطح غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر ساده و اثرات متقابل محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین بر تعداد سنبله در واحد سطح بیانگر این مطلب بود که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای اعمال شده وجود ندارد (جدول ۳ و ۴).

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر ساده محلول‌پاشی_ نیتروکسین و رقم بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم
Table 3- Results of comparison of average simple effect of foliar application - Nitroxin and cultivar on yield and yield components of wheat

تیمار Treatment	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg ha ⁻¹)	شاخص برداشت (%) Harvest index (%)	وزن هزار دانه (گرم) (1000- Grain weight) (g)	تعداد سنبله (متر مربع) Spike number (m ²)	تعداد دانه در سنبله Grain number per spike (Number)	تعداد سنبله در سنبله Spikelet number per spike (Number)
N ₀	5371.3c	1564.4c	34.5b	36.3b	431.4ab	32.8b	17.5ab
N ₁	5906.9bc	15365.8c	38.4a	40ab	394.6b	37a	17.8ab
N ₂	6262.5ab	17903.4a	35.1b	39.6ab	448.7ab	35.7ab	17.6ab
N ₃	6102.5abc	15848.5bc	38.7a	42.8a	395.9b	37.4a	16.8b
N ₄	6696.7a	17465.8ab	38.4a	41.1ab	452.2ab	36.6a	18.08a
N ₅	6747.6	17888.4a	38.02a	38.5ab	485.3a	35.01ab	17.4ab
V ₁	6428.1a	16666.08a	38.8a	44.3a	398.4b	36.7a	17.9a
V ₂	5371.3c	1564.4c	34.5b	36.3b	431.4ab	32.8b	17.5ab

داده‌ها متوسط سه تکرار می‌باشند. میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد یا پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
The data are an average of three replications. Average that have at least one common letter are based on Duncan's test no significant difference at level 1 percent or 5 percent.

آمال و همکاران (۲) اظهار داشتند که اثر محلول‌پاشی کود کامل روی گندم به نسبت ۰/۳ درصد، ۰/۶ درصد و ۰/۹ درصد در مقایسه با شاهد روی صفات رویشی، ارتفاع گیاه، تعداد سنبله، عملکرد سنبله، شاخص دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، درصد پروتئین و کربوهیدرات دانه معنی‌دار بوده و بیشترین اثر مربوط به نسبت ۰/۹ درصد بوده است.

سلیمان پناه و همکاران (۳۱) در خاک‌های ماسه‌ای و فقیر کشور مصر اقدام به تلقیح بذور باقلا و گندم با *Azotobacter* و *Azospirillum* نمودند و پس از برداشت، افزایش عملکرد خوبی را برای هر دو گیاه مشاهده کردند و به این نتیجه رسیدند که کودهای زیستی علاوه بر افزایش حاصلخیزی خاک‌های ضعیف، عملکرد و اجزای عملکرد را نیز در گیاهانی که به آن‌ها تلقیح شده‌اند، بهبود می‌بخشند.

اردکانی (۶)، طی تحقیقی گزارش نمود که تلقیح *Azospirillum* با گندم، موجب افزایش ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح، عملکرد دانه، بیوماس و شاخص برداشت و همچنین باعث تولید هورمون اکسین، جبریلین و سیتوکینین گردید. براساس گزارشات گات (۱۴) تعداد سنبله در واحد سطح غالباً در ارقام گندم متغیر می‌باشد.

تیمار تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی بر صفت اثر ساده ارزیابی شده تعداد سنبله در واحد سطح معنی‌دار بود که با نتایج سلیمان پناه و همکاران (۳۱) مطابقت داشت. بیشترین تعداد سنبله در واحد سطح مربوط به رقم پارسى با ۴۷۱/۰۶ بود.

تعداد دانه در سنبله

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر رقم بر

تعداد دانه در سنبله در سطح پنج درصد معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده رقم نشان داد بیشترین تعداد دانه در سنبله مربوط به رقم دنا با ۳۶/۷ و کمترین تعداد دانه در سنبله مربوط به رقم پارسی با ۳۴/۸ بود (جدول ۳). همچنین اثر ساده و اثرات متقابل محلول پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین بر تعداد دانه در سنبله غیر معنی دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر ساده و اثرات متقابل محلول پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین بر تعداد دانه در سنبله بیانگر این مطلب بود که اختلاف معنی داری بین تیمارهای اعمال شده وجود ندارد (جدول های ۳ و ۴).

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل محلول پاشی نیتروکسین و رقم بر عملکرد دانه و شاخص برداشت

Table 4- Results of comparison of average of effects of interaction of foliar application - Nitroxin and cultivar on grain yield and harvest index

تیمار Treatment	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg ha ⁻¹)	شاخص برداشت (%) (Harvest index) (%)
N ₀ V ₁	4651.c	29.9d
N ₀ V ₂	6091.01ab	39.2ab
N ₁ V ₁	5245.5c	35.4bc
N ₁ V ₂	6568.4ab	41.4a
N ₂ V ₁	6135.2ab	34.1cd
N ₂ V ₂	6389.8ab	36.11bc
N ₃ V ₁	6026.3b	38.04abc
N ₃ V ₂	6178.9ab	39.5ab
N ₄ V ₁	6703.6ab	40.1ab
N ₄ V ₂	6689.7ab	36.7abc
N ₅ V ₁	6844.3a	36bc
N ₅ V ₂	6650.9ab	40.06ab

میانگین هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح یک درصد یا پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

Average that have at least one common letter are based on Duncan's test no signification difference at level 1 percent or 5 percent.

بیشترین تعداد دانه در سنبله مربوط به رقم دنا با ۳۶/۷ بود.

تعداد سنبلچه در سنبله

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر رقم بر تعداد سنبلچه در سنبله در سطح پنج درصد معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده رقم نشان داد بیشترین تعداد سنبلچه در سنبله مربوط به رقم دنا با ۱۷/۹ و کمترین تعداد سنبلچه در سنبله مربوط به رقم پارسی با ۱۷/۱ بود (جدول ۳).

همچنین اثر ساده و اثرات متقابل محلول پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین بر تعداد سنبلچه در سنبله غیر معنی دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر ساده و اثرات متقابل محلول پاشی عناصر ریز مغذی و تلقیح نیتروکسین بر تعداد سنبلچه در سنبله بیانگر این

عارف و همایی (۷) گزارش دادند محلول پاشی عناصر ریز مغذی تعداد دانه در سنبله گندم را در مقایسه با شاهد ۱۶ درصد افزایش داده است. همچنین در اثر محلول پاشی گندم با عناصر ریز مغذی در مرحله سبز شدن، ساقه رفتن و رسیدن بر صفات تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه افزایش معنی داری داشته است. میدمور و همکاران (۲۰) گزارش کردند که افزایش عملکرد دانه گندم، عمدتاً ناشی از افزایش تعداد دانه در متر مربع و تعداد دانه در سنبله است.

تیمار تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول پاشی عناصر ریز مغذی بر صفت اثر ساده ارزیابی شده تعداد دانه در سنبله معنی دار بود که با نتایج (۷) مطابقت داشت.

مطلب بود که اختلاف معنی داری بین تیمارهای اعمال شده وجود ندارد (جدول های ۳ و ۴).

آگروال (۴) اظهار داشتند ارتفاع گیاه، طول سنبله و تعداد سنبلچه در سنبله بهترین صفات نشان دهنده تفاوت های واریته ای هستند و کمتر از دیگر اجزای عملکرد تحت تأثیر قرار می گیرند.

تیمار تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول پاشی عناصر ریز مغذی بر صفت اثر ساده ارزیابی شده تعداد سنبلچه در سنبله معنی دار بود که با نتایج (۴) مطابقت داشت.

بیشترین تعداد سنبلچه در سنبله مربوط به رقم دنا با ۱۷/۹ بود.

در این تحقیق وجود اختلاف معنی دار بین سطوح مختلف محلول پاشی عناصر ریز مغذی و نیتروکسین از نظر صفات مورد بررسی نشان داد که استفاده از این دو عامل تأثیر مثبتی بر عملکرد گندم دارد و منجر به حصول بیشترین عملکرد می شود.

نتیجه گیری

در این تحقیق وجود اختلاف معنی دار بین سطوح مختلف کود زیستی نیتروکسین و مراحل مختلف محلول پاشی عناصر ریز مغذی نشان داد استفاده مناسب و به موقع از این دو عامل در کشت گندم

منجر به حصول بیشترین عملکرد می شود. نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد اثر محلول پاشی عناصر ریز مغذی و کود زیستی نیتروکسین بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبلچه در سنبله گندم معنی داری بود. همچنین مراحل محلول پاشی عناصر ریز مغذی اثر معنی داری بر عملکرد دانه داشت. بیشترین عملکرد دانه مربوط به کاربرد توأم تیمار تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین و محلول پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله ظهور سنبله و تیمار رقم پارسی بود که رقم پارسی از نظر عملکرد دانه رقم برتر بوده است. نتایج حاصل از این آزمایش بیانگر این است که کاربرد عناصر ریز مغذی می تواند سبب بهبود خصوصیات زراعی و افزایش عملکرد گندم شود. کاربرد کودهای ریز مغذی به صورت محلول پاشی کمکی بر حفظ خاک ها در رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار است. همچنین کاربرد کود بیولوژیک نیتروکسین به دلیل دارا بودن باکتری های مفید خاکزی می تواند در راستای نیل به اهداف کشاورزی پایدار که یکی از اهداف مهم آن کاهش نهاده های شیمیایی و در نتیجه حفاظت آب و خاک مورد استفاده در کشاورزی است بسیار سودمند باشد.

References

1. Abraham, C. P., Viswagith, V., Prabha, S., Sundhar, K., and Malliga, P. 2007. Effect of coir pith based cyanobacterial basal and foliar biofertilizer on *Baseellarubra* L. *Acta Agriculturae Slovenica* pp.59-63: Academy of Science 91: 11-170.
2. Amal, G., Ahmed, M. S., and El-Gazzar, M. M. 2006. Growth and yield Response of tow wheat cultivars to complete Foliar Fertilizer compound «Dogoplus» Field Crops Research Department. National Research Centre, Dokki. Cairo. Egypt. *Journal of Applied Sciences Researches* (1): 20-26.
3. Amirabadi, M., Ardekani, M., Rajali, F., Borji, M., and Khaghani, Sh. 2009. Determination and inoculated mycorrhizal performance under different levels of phosphorus on yield and yield components of maize single cross 704 in Arak. *Journal of Crop Science* 2: 51-450. (in Persian with English abstract).
4. Agrawal, H. P. 1992. Assessing the micronutrient requirement of winter wheat – soil sci. plant Anal 23: 2555-2568.
5. Ajam, H., Vazin, F., and Salmani Biary, E. 2011. Evaluated the effect of physiological properties wheat cultivar to nitrogen sources. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 58: 170-173.
6. Ardekani, M. 2000. Performance evaluation of biofertilizers in sustainable agriculture wheat. Thesis of Agriculture (Agricultural Ecology) Islamic Azad University, Science and Research. (in Persian with English abstract).
7. Aref, M., and Homaei, M. 2006. The effect of foliar micronutrients zinc and manganese on yield and yield components. First Edition. Tarbiat Modarres University Press, 124 p. (in Persian with English abstract).
8. Arduini, W. K., Masoni, I. A., Ercoli, L., and Mariotti, M. 2006. Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seedingrate. *European Journal Agronomy* 23: 309-318.
9. Azcon, R., and Perea, M. 1975. Synthesis of auxins, gibberlins, cytokinins, by *Azotobacter vinelandii* and *Azotobacter chroococcum* related to effect produced on tomato plants. *Journal Plant and Soil* 43: 609-619.
10. Bahari, M. R., Pahlavani, N., Akbari, P., and Ehsanzadeh, A. 2005. Effects of low iron and copper fertilizer on growth and yield of chickpea under rainfed conditions Aligudarz-AZNA area. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 12: 190-200. (in Persian with English abstract).
11. Döbereiner, J. 1997. a importância da fixação biológica de nitrogênio para a agricultura sustentável. *Biotechnologia Ciência and Desenvolvimento - Encarte especial* (1): 2-3.
12. Faheed, F. A., and Abad-El Fattah, Z. 2008. Effect of *Chlorella vulgaris* as bio-fertilizer on growth parameters and metabolic aspects of Lettuce plant. *Journal of Agricultural Sciences* 4: 165-175.

13. Fallik, E., and Okon, Y. 1996. The response of maize (*Zea mays*) to *Azospirillum* inoculation in various types of soils in the field. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 12: 511-515.
14. Gate, P. 1995. *Ecophysiologie double*. Lavoisier Tec and Doc, Paris.
15. Idris, M. 2003. Effect of integrated use of mineral, organic N and *Azotobacter* on the yield, yield components and N-nutrition of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences* (6): 539-543.
16. Khase sirjani, A. H., Farah bakhsh, S. Z., Davari, N., PasandiPour, E., and Karami, A. 2011. The effect of bio-fertilizer, zinc, and nitrogen fertilizer on wheat yield and quality. *Journal of Soil Science (soil and water)* 2: 13-125. (in Persian with English abstract).
17. Kloepper, J. W., Zehnder, G. W., Tuzun, S., Murphy, J. F., Wei, G., Yao, C., and Raupach, G. S. 1996. Toward agriculture implementation of PGPR mediated induced systemic resistance against crop pests. Pages 165-174 in: *Advances in Biological Control of Plant Diseases*. T. Wenhua, R. J., Cook, and Rovira, A. Eds. China Agriculture University Press, Beijing.
18. Malekouti, M. G. 2005. Sustainable agriculture and increase performance by optimizing the use of fertilizers in Iran, dissemination of agricultural education. Karaj. Iran. (in Persian with English abstract).
19. Marius, S., Octavita, S., Eugen, U., and Vlad, A. 2005. Study of a microbial inoculation on several biochemical indices in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Genetic and Molecular Biology* 15: 14-18.
20. Midmore, D. J., Cartwright, P. M., and Fischer, R. A. 1984. Wheat in tropical environments. II. Crop growth and grain yield. *Field Crops Research* 8: 207-227.
21. Moradi, M. 2010. Effect of phosphate solubilizing bacteria on yield and yield components in wheat conditions Mehra. master thesis. Azad University of Dezful. (in Persian with English abstract).
22. Nieto, K. F., and Frankenberger, W. T. 1990. Influence of adenine, isopenthyol alcohol and (*Azotobacter chroococcum*) on the growth of (*Raphanus sativus*), *Plant and Soil* 127: 147-156.
23. Nehra, A. S., and Hooda, I. S. 2002. Influence of integrated use of organic manures and inorganic fertilizers on wheat yields and soil properties. Department of Agronomy CCS Haryana Agricultural University India. *Research on crops* 3 (1): 11-16.
24. Pandey, A., Sharma, E., and Palni, L. M. S. 1998. Influence of bacterial inoculation on maize in upland farming systems of the Sikkim Himalaya. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 379-384.
25. Rahmati, E. 2005. The effect of the change in density on yield and yield components of hybrid sunflower, a Master's thesis of Agriculture, Islamic Azad University of Karaj. (in Persian with English abstract).
26. Rai, S. N., and Gaur, C. 1998. Characterization of *Azotobacter* spp., and Effect of *Azotobacter* and *Azospirillum* as Inoculation on Yield and N-uptake of Wheat crop. *Plant and Soil* 109: 131-134.
27. Rajai, S. 2005. *Azotobacter chroococcum* native strains as biological fertilizer application potential growth in the wheat fields of Chaharmahal and Bakhtiari. Agriculture Master's thesis. (in Persian with English abstract).
28. Salardyn, E. 2005. Soil fertility (Compilation), Tehran University Press, 124 p. (in Persian with English abstract).
29. Shariefi, A. E., El-Kalla, A. T., El-Kassaby, M. H., Ghonema, M. H., and Abdo, G. M. Q. 2006. Effect of biofertilization and times of nutrient foliar application on growth, yield and yield components of rice. *Chemical Journal of Agronomy* 4 (2): 202-208.
30. Shirani Far, B. 1995. Effect of different densities on the plant, tillering and its relations with the three figure Crop weather in Ahvaz, a Master's thesis. University of Chamran martyr. (in Persian with English abstract).
31. Soleiman Panah, M. M. E., Esmaeili, M., Mirniya, Kh., and Cherati Araei, E. 2000. Effect of zinc and manganese on the qualitative and quantitative properties of beets, 383 P. *Proceedings of the Sixth Congress of Crop Iran*. (in Persian with English abstract).
32. Soyler, S. B., Seed, A., Topal, N., Akgun, S., and Gezgin, S. 2005. Responses of Irrigated durum and Bread Wheat Cultivars to Boron Application in Low Boron Calcareous Soil Turk. *Journal Agricultural* 29: 275-286.
33. Subashini, H. D., Malarvannan, S., and Kumaran, P. 2007. Effect of biofertilizers (N-Fixers) on the yield of rice varieties at puducherry, india. *Asian Journal of Agricultural Research* (3): 036-041.
34. Sumner, M. E. 1990. Crop responses to *Azospirillum* inoculation. In: Stewart, B. A. (Ed.). *Advances in Soil Science*. New York: Springer-Verlag (1): 52-123.
35. Yadav, K. S., Singh, D. P., Sunita, N., Neeru, K., Lakshminarayana, S., Suneja, A., and Narula, N. 2000. Effect of *Azotobacter chroococcum* on yield and nitrogen economy in wheat (*Triticum aestivum*) under field conditions. *Environment and Ecology* 18: 109-113.
36. Ziaeeian, A. S., and Malekouti, G. 2000. A new method to increase the efficiency of spraying fertilizers and achieve sustainable agriculture. *Journal of Extension, Technical Publications Department of Agricultural Extension*. (in Persian with English abstract).



The Effect of Nitroxin Biofertilizer and Foliar Application of Micronutrients Time Consumption on Yield and Yield Components of New Wheat Cultivars under Khorramabad Climatic Conditions

A. Vaez^{1*} - A. Khorgamy² - M. Sayyahfar³

Received: 23-05-2014

Accepted: 02-02-2015

Introduction

In order to study the effects of Nitroxin biofertilizer and foliar application of micronutrients time consumption on yield and yield components of new wheat cultivars (*Triticum aestivum* & *T. durum*) under Khorramabad climatic conditions, an experiment was conducted as factorial based on a randomized complete block design with three replications at the research farm Khorramabad during growing season of 2012-2013.

Considering the positive effect of inoculation with bio-fertilizer and foliar Nitroxin micronutrients and reaction of cultivars to this type of fertilizer instead of chemical fertilizers and the importance of wheat as one of the main crops, this study aims to determine the most appropriate time for foliar and Nitroxin application of micronutrients at the different stages of plant growth and bio-fertilizer application on yield and yield components.

Materials and Methods

The first factor was considered in six levels: N₀: The lack of the seed insemination with nitroxin biofertilizer and without the foliar application of micronutrients (control), N₁: the seed inoculation with the nitroxin biofertilizer, N₂: the foliar application of micronutrients at the jointing stage, N₃: the foliar application of micronutrients at the heading stage, N₄: the seed insemination with nitroxin biofertilizer and foliar application of micronutrients at the jointing stage, N₅: the seed insemination with nitroxin biofertilizer and foliar application of micronutrients at the heading stage. The second factor was considered at two levels, consisting: V₁: Parsi cultivar and V₂: Dena cultivar. MSTATC Software was used for data analysis and means were compared by Duncan's multiple range test at the 5% level.

Results and Discussion

In this experiment the grain yield, biological yield, harvest index, 1000- grain weight, spike number per m⁻², grain number per spike and spikelet number per spike of wheat were studied. The results of the data variance analysis has revealed that there was a significant relationship between foliar application of micronutrients and nitroxin biofertilizer of grain yield, biological yield, harvest index, 1000- grain weight, spike number per m⁻², grain number per spike and spikelet number per spike of wheat. The most positive relationship was related to grain and the applying fertilizer treatment of the grain insemination with nitroxin biofertilizer and foliar application of micronutrients at the heading stage. The cultivar factor has also a positive effect on the surveying characteristics such as grain yield, harvest index, 1000-grain weight, spike number per m⁻², grain number per spike and spikelet number per spike. The most positive relationship was related to grain and the applying fertilizer treatment of the grain insemination with nitroxin biofertilizer and foliar application of micronutrients at the heading stage and the treatment of the Parsi cultivar with an average of 6844/3kg/ha⁻¹. Considering the significant increase in the grain yield, the applying fertilizer treatment of the grain insemination with nitroxin biofertilizer and foliar application of micronutrients at the heading stage and the treatment of the Parsi cultivar were proposed for Khorramabad Situation.

Conclusions

In this study, significant differences between the various levels and stages of foliar fertilizer, bio Nitroxin micronutrients showed that appropriate use of these two factors can result in maximum performance of the

1, 2- M.Sc. student and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Lorestan, Khorramabad, Iran

3- Faculty member, Agricultural and natural Resources Research center of Lorestan, Khorramabad, Iran

(*- Corresponding Author Email: azade_vaez@yahoo.com)

wheat. The process of spraying micronutrients had a significant effect on grain yield. The highest yield of seed was obtained in inoculation with the combined application of organic fertilizer and foliar Nitroxin micronutrients in the treatment of stage and heading to the Persian superior varieties of grain yield. The results of this experiment showed that the use of micronutrients can improve agronomic characteristics and increase the grain yield. Micronutrient fertilizers sprayed on soil conservation assistance in achieving the objectives of sustainable agriculture. The application of biological Nitroxin because of beneficial bacteria in the soil can achieve the goals of sustainable agriculture like reducing chemical inputs and thus the protection of soil and water used in agriculture is very helpful. In this study, there were significant differences between different levels of foliar nutrients and Nitroxin the traits under study showed that the use of these two factors had positive impacts on wheat yield and led to maximum performance.

Keywords: Grain insemination, Grain yield, Heading stage, Wheat

اثر پرایمینگ بذر بر رشد رویشی و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط شوری حاصل از نمک‌های قلیایی

حامد بخرد^۱ - بتول مهدوی^{۲*} - اصغر رحیمی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۱۹

چکیده

به منظور ارزیابی اثر پرایمینگ بذر و تنش شوری حاصل از نمک‌های قلیایی بر گیاه کنجد آزمایشی گلدانی در دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل پرایمینگ [شاهد (بدون پرایمینگ)، هیدروپرایمینگ، هالوپرایمینگ با نمک‌های کلرید سدیم و بی‌کربنات سدیم] و سطوح مختلف تنش شوری ناشی از نمک بی‌کربنات سدیم (صفر، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلی‌مولار) بودند. نتایج نشان داد که تنش شوری موجب کاهش طول ساقه و ریشه، وزن خشک اندام هوایی، محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل برگ و پتانسیل عملکرد کوانتوم (F_v/F_m) گردید. با افزایش تنش شوری، تیمارهای مختلف پرایمینگ سبب افزایش طول ریشه، وزن خشک اندام هوایی، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل b و میزان F_v/F_m نسبت به تیمار بدون پرایم شدند و بیشترین وزن خشک اندام هوایی، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل b و میزان F_v/F_m در تیمار هیدروپرایمینگ مشاهده شد. همچنین تنش شوری، میزان پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم گیاه را کاهش داد در حالی که میزان سدیم، میزان کلسیم و منیزیم اندام هوایی افزایش یافت. هیدروپرایمینگ سبب افزایش میزان پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم شد. همچنین کلیه تیمارهای پرایمینگ در سطوح شوری ۱۵ و ۳۰ میلی‌مولار سبب افزایش میزان منیزیم نسبت به تیمار بدون پرایم شدند. بنابراین پرایمینگ بذر به‌ویژه هیدروپرایمینگ می‌تواند یک روش مناسب برای بهبود رشد گیاه کنجد در شرایط شوری حاصل از نمک‌های قلیایی باشد.

واژه‌های کلیدی: بی‌کربنات سدیم، محتوای یونی، هالوپرایمینگ، هیدروپرایمینگ

مقدمه

کنجد در ایران به ترتیب ۴۰۰۰۰ هکتار، ۸۰۰ کیلوگرم، ۳۲۰۰۰ تن و در جهان به ترتیب ۶۶۲۸۲۷۶ هکتار، ۶۱۷ کیلوگرم، ۴۰۹۲۳۳۶ تن بوده است (۱۲).

تنش شوری یکی از محدودیت‌های محیطی است که ۲۰٪ از مزارع آبی جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تنش شوری حاصل از نمک‌های قلیایی مربوط به درصد نمک‌های مثل Na_2CO_3 و NaHCO_3 می‌باشد. قلیائیت خاک در حدود ۵۶۰ میلیون هکتار از زمین‌های جهان را به شدت تحت تأثیر قرار داده و سبب کاهش تولید محصولات کشاورزی شده است. عوامل اصلی که باعث قلیائیت می‌شوند شامل بی‌کربنات‌ها (HCO_3^-) و کربنات‌ها (CO_3^{2-}) هستند، در حالی که هیدروکسید، بورات، آمونیاک، بازهای آلی، فسفات‌ها و سیلیکات‌ها به عنوان عوامل فرعی پیشنهاد شده‌اند. تعدادی از گزارش‌ها ثابت کردند که نمک‌هایی قلیایی (Na_2CO_3 و NaHCO_3) برای گیاهان مخرب‌تر از نمک‌های طبیعی (NaCl و Na_2SO_4) هستند (۳۱). وجود تنش قلیائیت اثر اسیدیته بالا را به همراه دارد. اسیدیته بالا در اطراف ریشه گیاه می‌تواند موجب رسوب

کنجد با نام علمی *Sesamum indicum* L و از خانواده Pedaliaceae یکی از دانه‌های روغنی و خوراکی مهم در کشاورزی سنتی نواحی گرم به‌شمار می‌رود و ظاهراً قدیمی‌ترین دانه روغنی در جهان می‌باشد. کنجد دارای بیشترین و مرغوب‌ترین روغن در میان کلیه گیاهان دانه روغنی بوده است. قسمت اصلی مصرفی کنجد، دانه آن است که نزدیک به ۷۵ درصد آن از چربی و پروتئین تشکیل شده است. بقیه‌ی ۲۵ درصد دانه را املاح معدنی، هیدرات کربن و الیاف تشکیل می‌دهد. روغن کنجد نیز حاوی گلیسریدها، اسیدهای چرب عمده‌ای چون اسید اولئیک و لینولئیک، مقادیر کمی اسید استریک، پالمیتیک و آراچیدیک می‌باشد (۱۹). براساس آمار سازمان فائو، در سال ۲۰۱۲ سطح زیر کشت، عملکرد در هکتار و میزان کل تولید

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان
(*)- نویسنده مسئول: (Email: b.mahdavi@vru.ac.ir)

بی‌کربنات سدیم و هیدروپرایمینگ بر رشد رویشی و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک کنجد رقم GL13 در شرایط تنش شوری حاصل از نمک‌های قلیایی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. میانگین دمای روزانه گلخانه 29 ± 2 سانتی‌گراد و میانگین دمای شبانه آن 18 ± 2 درجه سانتی‌گراد بود و رطوبت گلخانه بین ۷۰-۵۰ درصد نوسان بود. تیمارها شامل پرایمینگ در چهار سطح [شاهد (بدون پرایمینگ)، هیدروپرایمینگ و هالوپرایمینگ با نمک‌های کلرید سدیم و بی‌کربنات سدیم] و تنش شوری در چهار سطح بی‌کربنات سدیم (صفر، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلی‌مولار) بودند. جهت انجام آزمایش از بذور کنجد، رقم GL-13 (توده بومی جیرفت) با ارتفاع ۱۷۵-۱۵۰ سانتی‌متر استفاده شد. این رقم متحمل به خشکی بوده و مناسب کشت در مناطق گرم و خشک است. بذرها را این رقم در زمستان ۹۱ از بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان دریافت گردید.

بستر کشت شامل کوکوپیت و پرلیت بود که به‌ترتیب به نسبت ۱:۱ با هم مخلوط شده و در گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۳۵ و قطر ۳۰ سانتی‌متر ریخته شدند. برای اعمال تیمار پرایمینگ، بذرها به‌طور مجزا به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر و کلرید سدیم ۵۰ میلی‌مولار و ۱۸ ساعت در بی‌کربنات سدیم ۳۰ میلی‌مولار در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و محیط تاریک قرار داده شدند. سپس بذرها را پرایم شده با آب مقطر شسته و به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه خشک شدند و سپس در عمق حدود یک سانتی‌متری در گلدان‌های پلاستیکی کشت شدند. از زمان کشت بذرها تا قبل از مرحله ظهور اولین برگ حقیقی، آبیاری با آب مقطر صورت گرفت. بعد از خروج اولین برگ حقیقی تا مرحله چهار برگی، آبیاری با محلول غذایی هوگلند انجام شد. از مرحله چهار برگی به بعد، برای اعمال تیمارهای شوری، از محلول هوگلند با توجه به تیمار مورد نظر استفاده گردید. غلظت‌های نمک مورد نظر با استفاده از بی‌کربنات سدیم در محلول غذایی هوگلند (۱۷) تهیه و به‌صورت تدریجی، بعد از عمل تنک و نگهداری چهار بوته در هر گلدان و بسته به مرحله رشدی گیاه، هفته‌ای دو الی سه مرتبه به میزان ۲۵۰ میلی‌لیتر به گلدان‌ها اضافه شد. اندازه‌گیری صفات مختلف شامل اندازه‌گیری ارتفاع ساقه و ریشه، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، فلورسانس کلروفیل و میزان عناصر پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم، حدود ۴۵ روز بعد از اعمال بیشترین غلظت

یون‌های فلزی و فسفر، خسارت بر اعمال فیزیولوژیک طبیعی ریشه و تخریب ساختار ریشه گردد (۲۳). تنش قلیائیت جذب یون‌های غیر آلی مانند Cl^- ، NO_3^- و H_2PO_4 را محدود کرده و بر جذب انتخابی K^+ و Na^+ به مقدار زیادی اثر گذاشته و توازن یونی را به هم می‌زند (۳۵ و ۳۷). همچنین اسیدیته قلیایی منجر به تشکیل مواد غذایی غیر محلول مخصوصاً آهن، روی و مس می‌شود که به موجب آن از حالت قابل جذب برای گیاه خارج می‌شوند پیامد این امر به‌صورت زردی در برگ‌های جوان بروز خواهد کرد. همچنین یون‌های بی‌کربنات، جذب عناصر پرمصرف، به‌ویژه فسفر، منیزیم و پتاسیم توسط گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۲۷). گیاهان به غلظت‌های بالای بی‌کربنات از طریق کاهش رشد شاخساره و اکسش نشان می‌دهند و این ممانعت در رشد شاخساره در برگ‌برنده کاهش در تعداد برگ‌ها، وزن تر و خشک و طول ساقه خواهد بود. رشد کاهش یافته شاخساره، به میزان فتوسنتز کمتر در نتیجه زردی تحریک شده به‌وسیله بی‌کربنات در برگ‌ها مربوط می‌شود. میزان فتوسنتز کمتر، از تخریب کلروفیل و سنتز کمتر آن به دلیل انتقال کم آهن یا انحلال کمتر آهن در خاک یا محیط کشت ناشی می‌شود (۲۸). در آزمایشی که توسط کسوری و همکاران (۲۱) صورت گرفت، افزایش غلظت بی‌کربنات باعث کاهش پارامترهای رشد گیاه انگور (*Vitis vinifera*) وزن ساقه، سطح برگ، تعداد برگ و میزان زیست توده) شد. کاهش سریع رشد شاخساره حتی در غلظت‌های پایین بی‌کربنات، به یک پیام رسیده از ریشه، مانند هورمون وابسته است (۲۸).

به دلیل افزایش مشکلات ناشی از شوری، نیاز به توسعه محصولات با تحمل بیشتر نسبت به شوری به‌طور بسیار جدی افزایش یافته است. یکی از تکنیک‌های جدید در این راستا، استفاده از پیش تیمارهای بذری است که در حالت کلی تحت عنوان پرایمینگ یا پیش تیمار بذر نامیده می‌شوند. هدف از پیش تیمار بذر قبل از کاشت، جذب آب توسط بذر تا اندازه‌ای است که فرآیند جوانه‌زنی شروع شود، (ظهور ریشه‌چه به اندازه‌ی سه میلی‌متر) اما به‌طور کامل صورت نگیرد (۲۴). اعمال این تیمار قبل از کاشت، در شرایط نامساعد محیطی، می‌تواند جوانه‌زنی و رشد و نمو را بهبود بخشیده، باعث استقرار هرچه بهتر گیاهچه، پوشش مناسب گیاهی، افزایش تحمل به شوری یا خشکی و افزایش عملکرد شود (۲۶). به‌طور کلی گیاهان در برابر نمک مقاوم نمی‌شوند، مگر آنکه در شرایط شور رشد کنند، به این معنا که باید تحت چنین شرایطی سخت شوند. پیش تیمار بذر با نمک‌های معدنی (هالوپرایمینگ)، تکنیکی آسان، ارزان و کم‌خطر بوده که به‌طور مؤثری در غلبه بر مشکلات ناشی از تنش شوری استفاده می‌شود (۱۹). با توجه به اینکه شوری یک عامل مهم محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در کشور است و از سوی دیگر، اهمیت گیاه کنجد به‌عنوان یک گیاه روغنی مهم، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر تیمار پرایمینگ با دو نمک کلرید سدیم و

نمک (مرحله تشکیل کپسول) صورت گرفت.

قاعده یقه تا رأس بلندترین برگ به عنوان ارتفاع ساقه و محل طوقه تا انتهای طویل ترین ریشه به عنوان طول ریشه در نظر گرفته شد. برای اندازه گیری وزن خشک اندام رویشی گیاه، اندام هوایی از ریشه جدا و پس از شستشو با آب مقطر کاملاً خشک شد. در مرحله بعد، اندام هوایی و ریشه گیاه داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و بعد از خشک شدن اندام هوایی و ریشه، وزن خشک این اندام ها بر حسب گرم در گیاه تعیین شد.

محتوای نسبی آب برگ به روش ریتچی و همکاران (۲۹) اندازه گیری شد. محتوی کلروفیل برگ به روش آرنون (۲) اندازه گیری شد. جذب نوری کلروفیل a و b و $a+b$ در طول موج های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر و کاروتنوئید در طول موج ۴۷۰ قرائت شد. غلظت کلروفیل a ، b ، $a+b$ و کاروتنوئیدها بر حسب میلی گرم بر گرم برگ تازه به دست آمد. برای اندازه گیری فلورسانس کلروفیل از دستگاه Chlorophyll Fluorometer (مدل Pocket PEA) کمپانی Hansatech ساخت کشور انگلستان استفاده گردید. این دستگاه میزان فلورسانس کلروفیل را براساس پارامتر F_v/F_m ثبت نمود. روش کار بدین صورت بود که از هر گلدان چهار برگ بالغ از گیاه انتخاب و در گیره های مخصوص جهت ایجاد شرایط تاریکی به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند و پس از این مدت میزان فلورسانس کلروفیل ثبت گردید.

اندازه گیری غلظت یونها با استفاده از روش سوزاندن و هضم نمونه خشک گیاهی که مخلوطی از برگ و ریشه گیاه بود در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت شش ساعت و واکنش با اسید کلریدریک دو مولار تعیین گردید. عناصر پتاسیم و سدیم به کمک دستگاه فلیم فتومتر (Model PFP7, Germany) و عناصر کلسیم و منیزیم بعد از عصاره گیری با استفاده از دستگاه جذب اتمیک (مدل GBC avanta ساخت کشور استرالیا) اندازه گیری شدند. از نرم افزار SAS برای تجزیه آماری داده ها استفاده و مقایسه میانگین ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده نشان دهنده تأثیر معنی دار پرایمینگ بذر و تنش شوری بر طول ساقه و ریشه است. اثر متقابل شوری و پرایمینگ تنها بر طول ریشه معنی دار بود (جدول ۱). به طور کلی با افزایش غلظت نمک طول ساقه کنگد به طور معنی داری کاهش یافت. درصد کاهش طول ساقه در سطوح شوری ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلی مولار نسبت به تیمار بدون تنش (صفر میلی مولار) به ترتیب ۶/۵، ۱۰/۶ و ۱۱/۰۳ بود. (جدول ۲). این نتایج با یافته های والدز آگلار و رد (۳۳) مبنی بر کاهش رشد گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) با

افزایش نمک بی کربنات سدیم مطابقت داشت. آنان دلیل این امر را افزایش اسیدیته و به هم خوردن توازن یونی در ریزوسفر توسط این تنش می دانند. به طور کلی اغلب اثرات قلیائیت بر رشد گیاه از طریق کاهش در قابلیت حل عناصر به علت افزایش اسیدیته ایجاد می شود (۱). به علاوه کاهش رشد در شرایط تنش نمک بی کربنات سدیم به سرعت پایین فتوسنتز که تحت غلظت بالای بی کربنات اتفاق می افتد نسبت داده می شود که با انتقال کم آهن و یا با غیر قابل حل کردن آهن در محلول محیط کشت که باعث صدمه به سنتر کلروفیل می شود همراه است (۵). تمامی تیمارهای پرایمینگ باعث افزایش طول ساقه در مقایسه با تیمار شاهد (عدم پرایمینگ) شدند و بین تیمارهای مختلف پرایمینگ اختلاف معنی داری از نظر طول ساقه وجود نداشت (جدول ۲). افزایش طول ساقه توسط هیدروپرایمینگ و هالوپرایمینگ با کلرید سدیم در گیاه برنج (*Oryza sativa*) نیز گزارش شده است (۱۴). همچنین دیمر و اوزتوکات (۱۱) دریافتند که طول ساقه در بذره های هندوانه (*Citrullus lanatus*) پرایم شده با هالوپرایمینگ افزایش می یابد. بووس و میشر (۷) دلیل افزایش طول ساقه و ریشه توسط هیدروپرایمینگ را افزایش تقسیم سلول های نوک ساقه بیان کردند. در شرایط تنش شوری، کلیه تیمارهای پرایمینگ سبب افزایش طول ریشه نسبت به تیمار بدون پرایم شدند. بلندترین طول ریشه در تیمار پرایمینگ با سدیم کلرید با سطح شوری ۴۵ میلی مولار مشاهده گردید که با تیمار بدون پرایمینگ و سطح شوری صفر میلی مولار (بدون تنش) تفاوت معنی داری نداشت و کمترین آن نیز مربوط به تیمار بدون پرایمینگ و شوری ۳۰ میلی مولار بود (شکل ۱).

اقبال و اشرف (۱۸) گزارش کردند که هالوپرایمینگ با کلرید سدیم و هیدروپرایمینگ سبب افزایش رشد گندم (*Triticum aestivum*) در شرایط تنش گردید. ویکاز یاداو (۳۴) نیز مشاهده کردند که پرایم بذرها با کلرید سدیم ۱۰۰ میلی مولار طول ساقه و ریشه را در گیاهان نیشکر (*Saccharum officinarum*) قرار گرفته در معرض تنش خشکی افزایش می دهد. بهبود رشد گیاه در بذره های هالوپرایمینگ می تواند به علت افزایش جذب اکسیژن و افزایش راندمان حرکت مواد غذایی از لپه ها به محور جنینی باشد (۱۳). بنابراین به نظر می رسد هالوپرایمینگ بذر گیاه کنگد با افزایش رشد ریشه در شرایط تنش شوری توانسته به گیاه در مقاومت به این تنش کمک کند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که وزن خشک اندام هوایی به طور معنی داری تحت تأثیر شوری و پرایمینگ و اثر متقابل آنها قرار گرفت. در حالی که وزن خشک ریشه فقط تحت تأثیر تیمار پرایمینگ در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۱). با افزایش شوری وزن خشک اندام هوایی کاهش یافت.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش شوری و پرایمینگ بذر بر رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک کنجد

Table 1- Analysis of variance of the effect of salinity and seed priming on growth and some physiological characteristics of sesame

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول ساقه	طول ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	محتوای نسبی آب	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	کاروتنوئید	F _v /F _m
S.O.V	df	Shoot length	Root length	Shoot dry weight	Root dry weight	Relative water content	Chl a	Chl b	Chl a+b	Carotenoids	
تکرار (Replication)	2	21.00 ^{ns}	1.28 ^{ns}	57.83 ^{ns}	0.66 ^{ns}	61.62*	0.0141 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.016 ^{ns}	0.0100 ^{ns}	0.003 ^{ns}
شوری (A) (Salinity)	3	281.40*	4.11*	1387.72**	0.12 ^{ns}	89.99**	0.164**	0.0216**	0.286**	0.0245*	0.022**
پرایمینگ (P) (Priming)	3	425.90*	11.88**	969.82**	2.23*	105.27**	0.0293 ^{ns}	0.207**	0.354**	0.0375**	0.046**
A×P	9	183.37 ^{ns}	4.27**	170.02**	0.54 ^{ns}	35.83**	0.0378 ^{ns}	0.0078**	0.047 ^{ns}	0.0121 ^{ns}	0.006*
A×P×f (Error)	30	95.46	1.12	36.79	0.53	11.81	0.034	0.001	0.037	0.005	0.002
C.V. (%)		11.06	14.65	12.58	17.89	6.59	20.90	8.33	13.70	20.62	7.19

** در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار، * در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار، ^{ns} عدم تفاوت معنی‌دار

**Significant at 1% probability level, * significant at 5% probability level, ^{ns} no significant difference

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات تنش شوری و پرایمینگ بر برخی ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیک کنجد

Table 2- Mean comparison of Effect of salinity stress and seed priming on some growth and physiological characteristics of sesame

سطوح تیماری Treatment levels	طول ساقه Shoot length (cm)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل a+b Chlorophyll a+b	کاروتنوئید Carotenoids
[mg g ⁻¹ (FW)]					
شوری					
Salinity (mM)					
0	95.00±2.73	4.02±0.15	0.944±0.059	1.49±0.063	0.328±0.014
15	88.75±2.66	4.01±0.16	0.941±0.057	1.48±0.078	0.326±0.028
30	84.91±4.19	4.07±0.23	0.943±0.060	1.45±0.084	0.413±0.034
45	84.52±3.47	4.23±0.34	0.709±0.029	1.16±0.050	0.397±0.029
پرایمینگ (Priming)					
NaHCO ₃	90.50±3.82	3.79±0.10	0.873±0.063	1.35±0.078	0.432±0.043
NaCl	91.83±1.81	4.07±0.24	0.915±0.070	1.38±0.072	0.362±0.016
H ₂ O	90.50±3.63	4.70±0.29	0.930±0.059	1.63±0.067	0.375±0.022
Control	79.41±3.13b	3.77±0.11b	0.820±0.042	1.22±0.048	0.296±0.011
LSD	8.11	0.609	0.154	0.159	0.063

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. مقادیر میانگین ۳ تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at %5 probability level, using LSD test. Each value is mean of three replicate with standard error (Mean ± SD).

بیشترین وزن خشک اندام هوایی را داشت و با افزایش شوری به سطوح بالاتر (۴۵ میلی‌مولار) هیدروپرایمینگ و پرایم کلرید سدیم از نظر دارا بودن بیشترین وزن خشک اندام هوایی از سایر پرایم‌ها بهتر بودند. گزارش شده است که در شرایط تنش شوری حاصل از نمک‌های قلیایی وزن خشک اندام هوایی در گیاهان مختلف کاهش می‌یابد (۶ و ۱۰). همچنین گزارش شده که هالوپرایمینگ با کلرید سدیم سبب افزایش وزن خشک در اندام‌های هوایی گندم می‌گردد (۱۹). بهبود وزن اندام‌های گیاه توسط پرایمینگ ممکن است به علت افزایش تقسیم سلولی در مرسبستم انتهایی باشد که سبب افزایش

به‌طوری‌که در بالاترین سطح تنش (۴۵ میلی‌مولار) وزن خشک اندام هوایی ۳۶ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. نتایج اثر متقابل پرایمینگ و شوری نشان داد که تیمارهای مختلف پرایمینگ سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی نسبت به بذره‌های بدون پرایم در شرایط تنش گردید. هیدروپرایمینگ و سطح بدون تنش بیشترین وزن خشک اندام هوایی را به خود اختصاص داد و کمترین آن مربوط به تیمار بدون پرایم (شاهد) و سطح تنش ۳۰ میلی‌مولار بود (شکل ۱). عکس‌العمل گیاه با افزایش شوری در ارتباط با نوع پرایم متفاوت بود. به‌طوری‌که در شوری ۱۵ میلی‌مولار، پرایم با بی‌کربنات سدیم

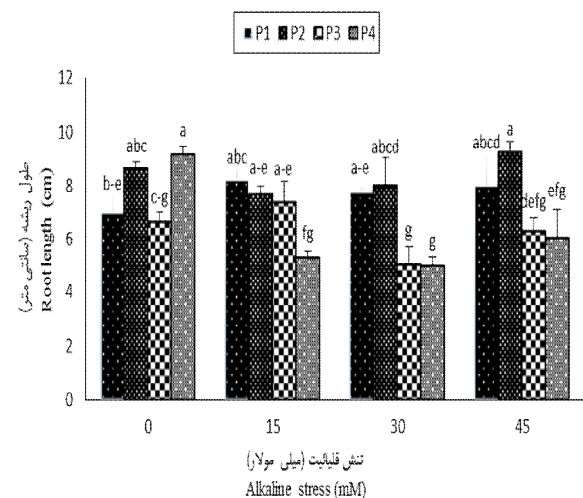
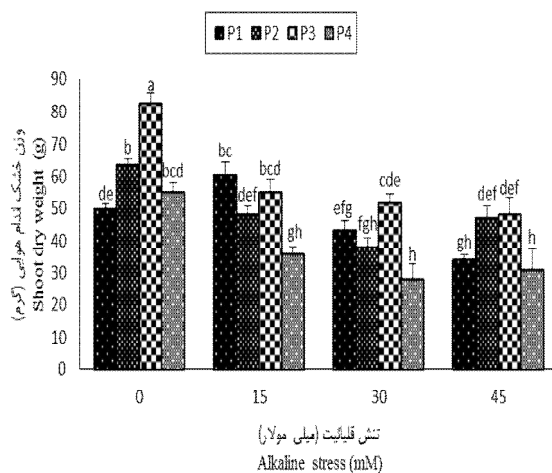
کاهش یافت به طوری که در سطح تنش ۴۵ میلی مولار ۹/۴ درصد نسبت به تیمار بدون تنش کاهش داشت (شکل ۲). محتوای نسبی آب برگ معرف بسیار خوبی از وضعیت آبی گیاه است. با افزایش تنش شوری، پرایمینگ بذر با تیمارهای مختلف سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ نسبت به بذرهای بدون پرایم گردید. هیدروپرایمینگ و سطح ۳۰ میلی مولار تنش بیشترین محتوای نسبی آب برگ را به خود اختصاص دادند و تیمار بدون پرایم در سطوح تنش ۳۰ و ۴۵ میلی مولار کمترین مقدار محتوای نسبی آب برگ را داشت (شکل ۲). کاهش میزان محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش شوری حاصل از نمکهای قلیایی در گیاه گندم نیز گزارش شده است (۱۵). بنابراین به نظر می آید تنش نمکهای قلیایی جذب و مصرف آب را در گیاه محدود می کند. این نتایج همچنین با یافته های یانگ و همکاران (۳۶) مطابقت دارد که مشاهده کردند گیاهان جو (*Hordeum L. vulgare*) قرار گرفته در معرض تنش نمکهای قلیایی محتوای آب برگ کمتری نسبت به گیاهان بدون تنش داشتند. به نظر می رسد در شرایط تنش تیمارهای پرایمینگ با افزایش محتوای نسبی آب برگ و در نتیجه تنظیم اسمزی سلول سبب حفظ و بهبود رشد گیاه می گردند.

رشد گیاه می گردد (۱۳). بسرا و همکاران (۴) گزارش کردند که هیدروپرایمینگ بذرهای گندم سبب افزایش وزن خشک ساقه در شرایط تنش شوری می شوند. همچنین مشخص شده است که پرایمینگ بذر از طریق کاهش یون سدیم و افزایش جذب و غلظت کلسیم، پتاسیم، فسفر و نیتروژن در گیاه سبب کاهش اثرات تنش شوری بر رشد گیاه می گردد (۳۲). نتایج نشان داد وزن خشک ریشه تحت تأثیر تنش شوری قرار نگرفت (جدول ۱). بیشترین وزن خشک ریشه از تیمار هیدرو پرایمینگ به دست آمد و کمترین آن نیز به مربوط به تیمار شاهد بود که با پرایمینگ های بی کربنات سدیم و سدیم کلرید تفاوت معنی داری نداشت (جدول ۲). بسرا و همکاران (۴) نیز افزایش وزن خشک ریشه گندم را توسط هیدروپرایمینگ گزارش کردند که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. همچنین کارسلر و سورینو (۸) دریافتند که هیدروپرایمینگ شدیداً سبب تحریک رشد ریشه گندم می گردد. اقبال و اشرف (۱۸) اثرات منفی هالوپرایمینگ با کلرید سدیم بر رشد ریشه را تغییر در توازن یونی در گیاه بیان کردند.

محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر شوری، پرایمینگ و اثر متقابل آنها قرار گرفت (جدول ۱). محتوای نسبی آب برگ با افزایش شوری

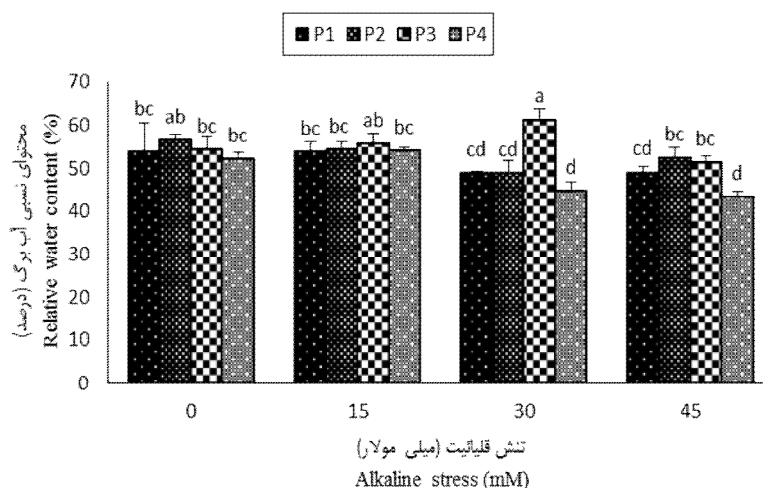
(ب)

(الف)



شکل ۱- تأثیر شوری و پرایمینگ بر طول ریشه (الف) و وزن خشک اندام هوایی (ب) کنجد. P1 پرایمینگ با بی کربنات سدیم، P2 پرایمینگ با کلرید سدیم، P3 هیدروپرایمینگ و P4 شاهد (نشانه های میله ای خطای استاندارد می باشند. میانگین ها با حروف مشابه در هر سطح تنش براساس آزمون LSD ($P < 0.05$) اختلاف معنی داری با هم ندارند).

Figure 1- Effect of salinity and priming on root length and stem dry weight of sesame. Bars represent standard error. P1: Priming with sodium bicarbonate, P2: Priming with sodium chloride, P3: Hydropriming, P4: Control. Means in each stress level followed by similar letter(s) are not significantly different at %5 probability level, using LSD test.



شکل ۲- تأثیر شوری و پرایمینگ بر محتوای نسبی آب برگ کنجد. (نشانه‌های میله‌ای خطای استاندارد می‌باشند. P1 پرایمینگ با بی‌کربنات سدیم، P2 پرایمینگ با کلرید سدیم، P3 هیدروپرایمینگ و P4 شاهد. (میانگین‌ها با حروف مشابه در هر سطح تنش براساس آزمون LSD ($P < 0.05$) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.)

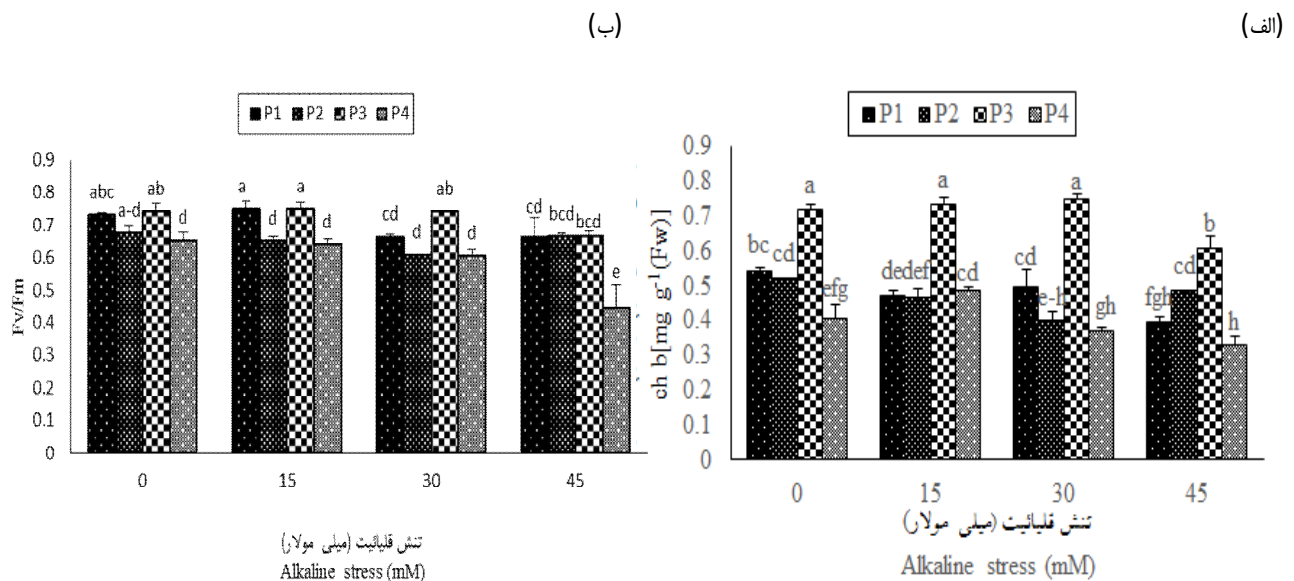
Figure 2- Effect of salinity and priming on relative water content of sesame. Bars represent standard error. P1: Priming with sodium bicarbonate, P2: Priming with sodium chloride, P3: Hydropriming, P4: Control. Means in each stress level followed by similar letter(s) are not significantly different at %5 probability level, using LSD test.

نداشت. همچنین بیشترین میزان کاروتنوئید در تیمار پرایمینگ با بی‌کربنات سدیم مشاهده گردید و کمترین آن در تیمار بدون پرایم بود (جدول ۲). محتوای کلروفیل بالا حداکثر تولید انرژی شیمیایی و متابولیسم را در گیاه القاء می‌کند و بدین طریق سبب بهبود رشد گیاه می‌گردد (۳). بنابراین در این مطالعه بهبود رشد گیاه در بذرها پرایم شده در شرایط تنش شدید شوری را می‌توان به افزایش محتوای کلروفیل b در این شرایط نسبت داد.

پارامتر F_v/F_m نشان‌دهنده حداکثر کارایی کوانتوم فتوسنتز ۲ بوده و شاخص حساسی برای عملکرد فتوسنتزی گیاه می‌باشد (۲۰). پتانسیل عملکرد کوانتوم (F_v/F_m) تحت تأثیر شوری، پرایمینگ و اثر متقابل آنها قرار گرفت (جدول ۱). پتانسیل عملکرد کوانتوم با افزایش تنش شوری کاهش یافت (شکل ۳). کاهش F_v/F_m توسط محققان دیگر هم در شرایط تنش شوری حاصل از نمک‌های قلیایی گزارش شده است (۱۶). این محققین بیان کردند که علت کاهش F_v/F_m تجمع زیاد یون سدیم و همچنین اسیدیته در شرایط تنش نمک‌های قلیایی می‌باشد که سبب ممانعت نوری شده و در نتیجه فعالیت فتوسنتز ۲ را کاهش می‌دهد. نتایج اثر متقابل شوری و پرایمینگ نشان داد که با افزایش تنش شوری به ۴۵ میلی‌مولار، تیمارهای مختلف پرایمینگ سبب افزایش پتانسیل عملکرد کوانتوم در مقایسه به تیمار بدون پرایم شدند (شکل ۳). در تعدادی از گیاهان گزارش شده که با حفظ مقدار بالای عملکرد کوانتوم (F_v/F_m) در شرایط تنش می‌توان خسارت وارده به فتوسنتز ۲ را کاهش داد (۹).

اثر شوری بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل a+b و کاروتنوئید معنی‌دار بود. اثر پرایمینگ بذر بر میزان کلروفیل b، کلروفیل a+b و کاروتنوئید معنی‌دار بود و تنها کلروفیل b تحت تأثیر اثر متقابل پرایمینگ و تنش شوری قرار گرفت (جدول ۱). با افزایش تنش شوری میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل کاهش پیدا کرد در حالی که میزان کاروتنوئید افزایش یافت. بیشترین میزان کلروفیل a و کلروفیل کل در سطح شاهد (بدون تنش) مشاهده گردید که با سطوح ۱۵ و ۳۰ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین آن مربوط به سطح شوری ۴۵ میلی‌مولار بود (جدول ۲). تنش نمک‌های قلیایی از طریق افزایش غلظت یون کربنات و افزایش اسیدیته باعث تخریب کلروپلاست و در نتیجه کاهش مقدار کلروفیل a و b می‌شود (۳۳). یانگ و همکاران (۳۸) نشان دادند که افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم سبب کاهش در میزان کلروفیل در برگ‌های گونه‌ای از یونجه (*Medicago ruthenica*) گردید. تنش نمک‌های قلیایی احتمالاً سبب رسوب یون منیزیم شده و بدین طریق از سنتز کلروفیل جلوگیری می‌کند. همچنین تنش نمک‌های قلیایی ممکن است فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز را افزایش داده و منجر به تجزیه کلروفیل گردد (۳۰).

بیشترین میزان کلروفیل b از هیدروپرایمینگ و سطح شوری ۳۰ میلی‌مولار به‌دست آمد و کمترین آن مربوط به تیمار بدون پرایم و سطح شوری ۴۵ میلی‌مولار بود (شکل ۳). هیدروپرایمینگ سبب افزایش کلروفیل a+b نسبت به تیمار بدون پرایم شد و بین سایر تیمارهای پرایمینگ با تیمار بدون پرایم اختلاف معنی‌داری وجود



شکل ۳- تأثیر شوری و پرایمینگ بر کلروفیل b (الف) و پتانسیل عملکرد کوانتوم (F_v/F_m) (ب) کنجد. P1 پرایمینگ با بی‌کربنات سدیم، P2 پرایمینگ با کلرید سدیم، P3 هیدروپرایمینگ و P4 شاهد (نشانگرهای میله‌ای خطای استاندارد می‌باشند. میانگین‌ها با حروف مشابه در هر سطح تنش براساس آزمون LSD ($P < 0.05$) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

Figure 3- Effect of salinity and priming on Chl b and F_v/F_m of sesame. Bars represent standard error. P1: Priming with sodium bicarbonate, P2: Priming with sodium chloride, P3: Hydropriming, P4: Control. Means in each stress level followed by similar letter(s) are not significantly different at %5 probability level, using LSD test.

sativus L. کاهش می‌یابد در حالی که میزان سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم در آنها افزایش می‌یابد (۳۹). یانگ و همکاران (۳۷) نیز مشاهده کردند که تنش نمک‌های قلیایی سبب کاهش پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در ساقه‌های گندم می‌گردد و میزان سدیم را افزایش می‌دهد. افزایش تجمع سدیم در ساقه ممکن است به علت کاهش در جریان Na^+ باشد. در شرایط تنش نمک‌های قلیایی، کمبود پروتون‌های خارجی ممکن است فعالیت تبادل ناقصین Na^+/H^+ را روی غشای پلاسما کاهش دهد که تجمع Na^+ را در بافت‌های زنده افزایش می‌دهد (۲۵).

بیشترین میزان پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در تیمار هیدروپرایمینگ مشاهده گردید، در حالی که سایر تیمارهای پرایمینگ اختلاف معنی‌داری با تیمار بدون پرایم نداشتند (جدول ۴). اگرچه تیمار پرایمینگ اثر معنی‌داری بر میزان سدیم نداشت اما کمترین میزان سدیم از هیدروپرایمینگ به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای پرایمینگ نداشت (جدول ۴). اقبال و همکاران (۱۸) نیز بیان کردند که هیدروپرایمینگ بذرها سبب افزایش محتوی پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم و کاهش محتوی سدیم در اندام‌های هوایی گندم می‌گردد.

بنابراین به نظر می‌رسد پرایمینگ بذرها در شرایط تنش با حفظ مقدار F_v/F_m اثرات مخرب تنش را بر کارایی شیمیایی فتوسنتز کم‌تر می‌کند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد شوری اثر معنی‌داری بر میزان پتاسیم، میزان سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی داشت. پرایمینگ بذرها اثر معنی‌داری بر میزان پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم داشت. اثر متقابل پرایمینگ و شوری بر میزان پتاسیم، سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی معنی‌دار نبود (جدول ۳). افزایش شوری سبب کاهش معنی‌دار میزان پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی گردید، در حالی که غلظت سدیم در اندام هوایی افزایش داد (جدول ۴). به‌طوری‌که در سطوح شوری ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلی‌مولار غلظت پتاسیم در اندام هوایی به‌ترتیب ۱۷/۳۱، ۱۲/۹۰ و ۲۲/۹۰ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد (جدول ۴). محتوای سدیم در سطوح شوری ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلی‌مولار به‌ترتیب ۱۴، ۵۱ و ۴۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. هرچند که بین سطوح شوری ۳۰ و ۴۵ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). همچنین در سطوح شوری ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلی‌مولار، نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی به‌ترتیب ۲۶، ۴۵ و ۴۵ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد (جدول ۴). گزارش شده است که با افزایش تنش شوری حاصل از نمک‌های قلیایی میزان پتاسیم در ساقه‌های خنجر (*Lathyrus*)

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و پرایمینگ بذر بر محتوای یونی کنجد

Table 3- Analysis of variance of the effect of salinity and seed priming on Ion content of sesame

منابع تغییرات	درجه آزادی	پتاسیم	سدیم	نسبت پتاسیم به سدیم	کلسیم	منیزیم
S.O.V	df	K	Na	K/Na	Ca	Mg
تکرار (Replication)	2	0.0100ns	0.060ns	0.004ns	0.001ns	0.0006ns
شوری (A) (Salinity)	3	0.0900*	0.097ns	0.055*	0.009ns	0.0152**
پرایمینگ (P) (Priming)	3	0.371**	2.046**	0.650**	0.154**	0.0650**
A×P	9	0.038ns	0.097ns	0.021ns	0.012ns	0.0040*
خطا (Error)	30	0.027	0.089	0.019	0.005	0.0010
C.V. (%)		10.70	14.08	17.93	24.01	21.20

** در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار، * در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار، ns عدم تفاوت معنی‌دار

**Significant at 1% probability level, * significant at 5% probability level, ns no significant difference

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات تنش شوری و پرایمینگ بر محتوای یونی کنجد

Table 4- Mean comparison of Effect of salinity stress and seed priming on Ion content of sesame

سطوح تیماری	پتاسیم	سدیم	نسبت پتاسیم به سدیم	کلسیم
Treatment levels	K (%)	Na (%)	K/Na	Ca (%)
شوری				
Salinity (mM)				
0	1.97±1.67	1.68±0.014	1.08±0.014	0.19±0.0005
15	1.52±0.85	1.85±0.017	0.83±0.028	0.25±0.0007
30	1.48±2.09	2.46±0.017	0.61±0.034	0.31±0.0012
45	1.38±1.45	2.48±0.035	0.57±0.029	0.46±0.0016
پرایمینگ (Priming)				
NaHCO ₃	1.53±0.018	2.24±1.68	0.73±0.0009	0.30±0.04
NaCl	1.50±0.009	2.09±1.24	0.74±0.0015	0.27±0.016
H ₂ O	1.67±0.012	2.03±1.34	0.87±0.0006	0.30±0.022
Control	1.48±0.030	2.13±1.51	0.75±0.0014	0.34±0.011
LSD	0.138	0.249	0.116	0.063

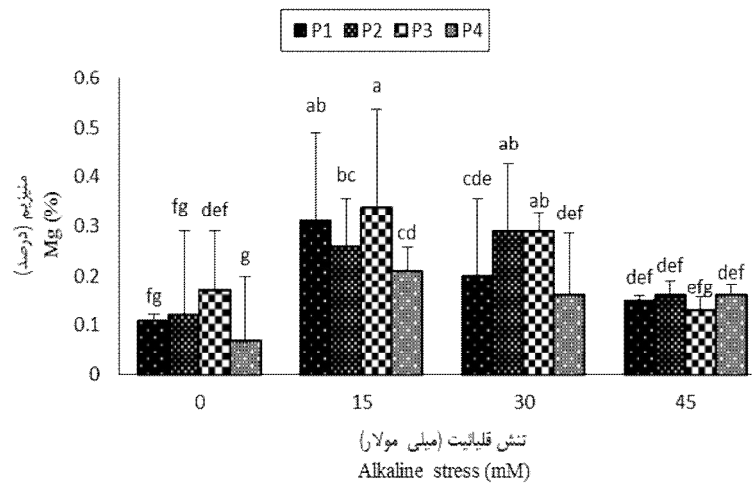
در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. مقادیر میانگین ۳ تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at %5 probability level, using LSD test. Each value is mean of three replicate with standard error (Mean ± SD).

سمیت تنش شوری را کاهش می‌دهد که آن احتمالاً به علت افزایش جذب انتخابی یون‌های پتاسیم است (۲۸). به نظر می‌رسد افزایش میزان کلسیم در اندام‌های هوایی کنجد در تنش شوری حاصل از نمک‌های قلیایی ممکن است یک واکنش خاص به افزایش اسیدیته محیط باشد. میزان کلسیم تحت تأثیر پرایمینگ قرار نگیرد (جدول ۳) در حالی که میزان منیزیم اندام هوایی در تیمار پرایمینگ با آب مقطر و سطح شوری ۱۵ میلی‌مولار بیشترین مقدار بود و کمترین آن در تیمار بدون پرایم و بدون تنش مشاهده گردید (شکل ۴). به‌طور کلی کلیه تیمارهای پرایمینگ در سطوح شوری ۱۵ و ۳۰ میلی‌مولار سبب افزایش میزان منیزیم نسبت به تیمار بدون پرایم شدند (شکل

میزان کلسیم اندام هوایی تنها تحت تأثیر تیمار شوری قرار گرفت در حالی که میزان منیزیم تحت تأثیر تیمار شوری و پرایمینگ و اثر متقابل آنها قرار گرفت (جدول ۳). با افزایش شوری، میزان کلسیم اندام هوایی افزایش یافت. به‌طوری که در سطوح شوری ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلی‌مولار، میزان کلسیم اندام هوایی به‌ترتیب ۱۴۲، ۶۳ و ۳۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت (جدول ۴). افزایش تجمع کلسیم و منیزیم در گیاهان متعددی نظیر کوشیا (*Kochia scoparia*) (۳۵)، جو (۳۶)، آفتابگردان (*Helianthus annuus*) (۲۲) و گندم (۱۵) گزارش شده است. در بعضی موارد نشان داده شده است که تجمع یون‌های کلسیم

۴). بنابراین به نظر می‌رسد تیمارهای پرایمینگ با افزایش میزان منیزیم در شرایط تنش، از گیاه محافظت کرده‌اند.



شکل ۴- تأثیر شوری و پرایمینگ بر روی میزان منیزیم اندام هوایی کنگد. (نشانگرهای میله‌ای خطای استاندارد می‌باشند. P1: پرایمینگ با بی‌کربنات سدیم، P2: پرایمینگ با کلرید سدیم، P3: هیدروپرایمینگ، P4: شاهد. میانگین‌ها با حروف مشابه در هر سطح تنش براساس آزمون LSD ($P < 0.05$) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.)

Figure 4- Effect of salinity and priming on magnesium content of sesame. Bars represent standard error. P1: Priming with sodium bicarbonate, P2: Priming with sodium chloride, P3: Hydropriming, P4: Control. Means in each stress level followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test.

نتیجه‌گیری

خشک اندام هوایی، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل b و میزان F_v/F_m داشت. بنابراین پرایمینگ بذر به‌ویژه هیدروپرایمینگ توانسته از طریق افزایش محتوای نسبی آب برگ، میزان کلروفیل و حفظ مقدار بالای عملکرد کوانتوم (F_v/F_m) اثرات زیانبار تنش شوری حاصل از نمک‌های قلیایی را در کنگد کاهش داده و رشد این گیاه را بهبود بخشد. پیشنهاد می‌شود این آزمایش در مزرعه و تا مرحله برداشت محصول اجرا گردد تا کاربرد عملی آن در حد بیشتری قابل توصیه باشد.

براساس نتایج به‌دست آمده از این مطالعه افزایش تنش شوری حاصل از نمک‌های قلیایی بر تمامی صفات مربوط به رشد گیاه کنگد، تأثیر کاهنده‌ای داشت. همچنین میزان پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی در شرایط تنش شوری کاهش یافت در حالی‌که میزان سدیم، کلسیم و منیزیم افزایش نشان داد. همچنین این مطالعه نشان داد که تمام تیمارهای پرایمینگ بذر در کاهش اثرات تنش شوری مؤثر بودند. بیشترین اثرات مثبت را هیدروپرایمینگ بر وزن

References

- Ahmad, P., and Sharma, S. 2010. Physio-biochemical attributes in two cultivars of mulberry (*Morus alba* L.) under NaHCO_3 stress. International Journal Plant Production 4: 1735-1743.
- Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 4: 1-150.
- Ayumi, T., Masumi, H., and Ryoichi, T. 2004. Chlorophyll metabolism and plant growth. Kagaku Seibutsu 42: 93-98.
- Basra, S. M. A., Afzal, I., Anwar, S., Anwar-ul-haq, M., Shafq, M., and Majeed, K. 2006. Alleviation of salinity stress by seed invigoration techniques in wheat (*Triticum aestivum* L.). Seed Technology 28: 36-46.
- Bavaresco, L., Giachino, E., and Colla, R. 1999. Iron chlorosis paradox in grapevine. Journal of Plant Nutrition 22: 1589-1597.
- Bie, Z., Tadashi, I., and Shinohara, Y. 2004. Effects of sodium sulfate and sodium bicarbonate on the growth, gas exchange and mineral composition of Lettuce. Scientia Horticulturae 99: 215-224.
- Bose, B., and Mishra, T. 1992. Response of wheat seed to pre-sowing seed treatments with $\text{Mg}(\text{NO}_3)$. Annals of Agricultural Research 13: 132-136.
- Carceller, M. S., and Soriano, A. 1972. Effect of treatments given to grain, on the growth of wheat roots under

- drought conditions. Canadian journal of Botany 50: 105-108.
9. Cornic, G. 1994. Drought stress and high light effects on leaf photosynthesis. p. 297-313. In: N.R. Baker and J. Bowyer (ed.) Photoinhibition of photosynthesis. Oxford, Bios Scientific Publishers.
10. De la Guardia, M. D., and Alcantara, E. 2002. Bicarbonate and low iron level increase root to total plant weight ratio in olive and peach rootstock. Journal of Plant Nutrition 25: 1021-1032.
11. Demir, I., and Oztokat, C. 2003. Effect of salt priming on germination and seedling growth at low temperatures in water melon seeds during development. Seed Science and Technology 31: 765-770.
12. F.A.O. 2012. Available (online: <http://www.FAO.org>).
13. Farooq, M., Basra, S. M. A., Rehman, H., Hussain, M., and Amanat, Y. 2007. Pre-sowing salicylate seed treatments improve the germination and early seedling growth in fine rice. Pakistan Journal Agriculture Science 44: 1-8.
14. Goswami, A., Banerjee, R., and Raha, S. 2013. Drought resistance in rice seedlings conferred by seed priming. Protoplasma 250: 1115-1129.
15. Guo, R., Shi, L., and Yang, Y. 2009. Germination, growth, osmotic adjustment and ionic balance of wheat in response to saline and alkaline stresses. Soil Science and Plant Nutrition 55: 667-679.
16. Guo, R., Zhou, J., Hao, W., Gong, D., Zhong, X., Gu, F., Liu, Q., Xia, X., Tian, J., and Li, H. 2011. Germination, growth, photosynthesis and ionic balance in *Setaria viridis* seedlings subjected to saline and alkaline stress. Canadian Journal Plant Science 91: 1077-1088.
17. Hogland, D. R., and Armon, D. I. 1950. The water culture method for growing plants without soil. Circular 347.
18. Iqbal, M., and Ashraf, A. M. 2007. Seed preconditioning modulates growth, ionic relations, and photosynthetic capacity in adult plants of hexaploid wheat under salt stress, Journal of Plant Nutrition 30: 381-396.
19. Karaaslan, D., Boydak, E., Gercek, S., and Simsek, M. 2007. Influence of irrigation intervals and rowspacing on some yield components of sesame grown in Harran region. Asian Journal of Plant Sciences 6: 623-627.
20. Kathiresan, K., Kalyani, V., and Gnanarethim, J. L. 1984. Effect of seed treatments on field emergence, early growth and some physiological processes of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Field Crops Research 9: 255-259.
21. Ksouri, R., M'rah, S., Gharsalli, M., and Lachaâl, M. 2006. Biochemical responses to true and bicarbonate-induced iron deficiency in grapevine genotypes. Journal of Plant Nutrition 29: 305-315.
22. Liu, J., Guo, W. Q., and Shi, D. C. 2010. Seed germination, seedling survival, and physiological response of sunflowers under saline and alkaline conditions. Photosynthetica 48 (2): 278-286.
23. Lu, S., Zhang, S., Xu, X., Korpelainen, H., and Li, C. 2009. Effect of increased alkalinity on Na⁺ and K⁺ contents, lipid peroxidation and antioxidative enzymes in two populations of *Papulus cathartana*. Biologia Planta 53: 597-600.
24. Maurmical, G., and Cavallaro, V. 1996. Effect of seed osmopriming on germination of three herbage grasses at low temperatures. Seed Science and Technology 24: 331-335.
25. Munns, R., and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology 59: 651-681.
26. Murungu, F. S., Nyamugafata, P., Chiduzi, C., Clark, L. J., and Whalley, W. R. 2003. Effects of seed priming, aggregate size and soil matric potential on emergence of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and maize (*Zea mays* L.). Soil and Tillage Research 74: 161-168.
27. Nikolic, M., and Kastori, R. 2000. Effect of bicarbonate and Fe supply on Fe nutrition of grapevine. Journal of Plant Nutrition 23: 1619-1627.
28. Parida, A. K., and Das, A. B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349.
29. Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., and Haloday, A. S. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science 30: 105-111.
30. Shi, D., and Sheng, Y. 2005. Effect of various salt-alkaline mixed stress conditions on sunflower seedlings and analysis of their stress factors. Environmental and Experimental Botany 54: 8-21.
31. Shi, D. C., and Zhao, K. F. 1997. Effects of NaCl and Na₂CO₃ on growth of *Puccinellia tenuiflora* and on present state of mineral elements in nutrient solution. Acta Pratacu 6: 51-61.
32. Sivritepe, N., Sivritepe, H. O., and Eris, A. 2003. The Effects of NaCl priming on salt tolerance in melon seedlings grown under saline conditions. Horticultural Sciences 97: 229-237.
33. Valdez-Aguilar, L. A., and Reed, D. W. 2008. Influence of potassium substitution by rubidium and sodium on growth, ion accumulation, and ion partitioning in bean under high alkalinity. Journal of Plant Nutrition 31: 867-883.
34. Vikas Yadav, P. 2009. Halopriming imparts tolerance to salt and PEG induced drought stress in sugarcane. Agriculture, Ecosystems and Environment 134 (1-2): 24-28.
35. Yang, C., Chong, J., Kim, C., Li, C., Shi, D., and Wang, D. 2007. Osmotic adjustment and ion balance traits of an alkaline resistant halophyte *Kochia sieversiana* during adaptation to saline and alkaline conditions. Plant Soil 294: 263-276.
36. Yang, C., Xu, H. H., Wang, L., Liu, J., Shi, D. C., and Wang, D. 2009. Comparative effects of salt-stress and alkaline-stress on the growth, photosynthesis, solute accumulation, and ion balance of barley plants.

- Photosynthetica 47: 79-86.
37. Yang, C. W., Wang, P., Li, C. Y., Shi, C., and Wang, D. L. 2008. Comparison of effects of salt and alkali stresses on the growth and photosynthesis of wheat. *Photosynthetica* 46: 107-114.
38. Yang, J. Y., Zheng, W., Tian, Y., Wu, Y., and Zhou, D. W. 2011. Effects of various mixed salt-alkaline stresses on growth, photosynthesis, and photosynthetic pigment concentrations of *Medicago ruthenica* seedlings. *Photosynthetica* 49: 275-284.
39. Zhang, J. T., and Chun-Sheng, M. U. 2009. Effects of saline and alkaline stresses on the germination, growth, photosynthesis, ionic balance and anti-oxidant system in an alkali-tolerant leguminous forage *Lathyrus quinquenervius*. *Soil Science and Plant Nutrition* 55: 685-697.



Effect of Seed Priming on Growth and Some Physiological Characteristics of Sesame (*Sesamum indicum* L.) under salinity Stress Condition caused by Alkali Salts

H. Bekhrad¹ - B. Mahdavi^{2*} - A. Rahimi³

Received: 08-06-2014

Accepted: 09-05-2015

Introduction

Sesame (*Sesamum indicum* L.) is an important oil seed crop. Its seed has excellent nutritional value with a high and unique protein composition, making it a perfect food. Salinity is a serious problem in many regions of the world including Iran. Salinity stress is one of the widespread environmental constraints affecting crop productivity. Salinity generally induces osmotic stress and causes direct ion injury by disrupting ion homeostasis and the ion balance within plant cells (25). Seed priming is one of the ways to reduce negative effects of salt which is used for increasing germination percentage and seed resistance in salty zones. Seed priming is a pre-germination treatment that provides a moisture level sufficient to start pre-germination metabolic processes. It entails the partial germination of seeds by soaking them in water (or in a solution of salts) for specified period of time, and then re-dry them just before radicle emerges (24). Priming stimulates many of the metabolic processes involved with the early phases of germination. Given that part of the germination processes have been initiated, seedlings from primed seed grow faster, grow more vigorously, and perform better in adverse conditions (24). The objective of this study was to investigate the effects of salinity stress caused by alkali salts on growth and some physiologic characteristics of sesame.

Materials and Methods

This study was conducted in a greenhouse in Vali-e-Asr University of Rafsanjan as factorial arrangement in randomized complete block design with three replications. Experimental factors included priming (control (unprimed), hydropriming, halopriming with NaCl and NaHCO₃ and level of salinity with sodium bicarbonate salt (Zero, 15, 30 and 45 mM). Seeds were planted in pots filled with perlite and cocopite (1:1). The pots were irrigated with a nutrient solution (with half strength Hoagland's solution). After the fourth true leaves appeared, salinity stress in the pot were created by adding NaHCO₃ to half strength Hoagland's solution. Control plants were only irrigated with half strength Hoagland's solution. Plants were harvested after 45 days of seed sowing. After forty five days, shoot and root height, shoot and root dry weight, relative water content, Fv/Fm, chl a, chl b, total chlorophyll, carotenoid content, potassium, sodium content and sodium to potassium, calcium and magnesium content were measured.

Results and Discussion

Results showed that salinity stress decreased shoot and root height and also shoot dry weight. Valdez-Aguilar and Reed (33) reported a decrease in *Phaseolus vulgaris* L. growth with increasing sodium bicarbonate salt. By increasing sodium bicarbonate, salt relative water content decreased. Also, the decreases in relative water content have been reported in wheat under salinity stress caused by alkali condition (15). Salinity stress decreased leaf chlorophyll content and Fv/Fm. Similarly, Guo *et al.*, (16) observed a decrease in leaf chlorophyll content and Fv/Fm with increasing sodium bicarbonate salt. Different treatments of priming increased root height and shoot dry weight compared with unprimed treatment with increasing salinity stress. Iqbal and Ashraf (18) indicated that priming increased growth in wheat under salinity stress caused by alkali condition. Moreover, relative water content, chl b content and Fv/Fm increased under different treatments of priming and stress. It seems that under stress condition, plants with maintain relative water content, chl b content and Fv/Fm, decreased the harmful effect stress. The highest shoot dry weight, relative water content, chl b content and Fv/Fm was observed at hydropriming treatment. Although salinity stress decreased K⁺ concentration and K⁺/Na⁺, but the Na⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ concentration increased. Zhang and Chun-Sheng (39) concluded that by increasing sodium bicarbonate salt, potassium content decreased in *Lathyrus quinquenervius*, whereas sodium and sodium to potassium ratio increased. Moreover, the increases in calcium and magnesium content have been indicated in sunflower (22) and

1, 2 and 3- MSc Student, Assistant Professor and Associate Professor Agronomy and Plant Breeding Department, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, respectively

(*- Corresponding Author Email: b.mahdavi@vru.ac.ir)

wheat (15) under salinity stress caused by alkali condition. Hydropriming increased K^+ concentration and K^+/Na^+ . Iqbal and Ashraf (18) indicated that priming increased potassium content and potassium to sodium rate and decreased sodium content. All of priming treatments also increased Mg^{2+} concentration compared with unprimed treatment in 15 and 30 mM alkaline stress.

Conclusions

Result showed that salinity stress decreased shoot and root height, shoot dry weight, relative water content, leaf chlorophyll content and Fv/Fm. Different treatments of priming increased root height, shoot dry weight, relative water content, chl content and Fv/Fm compared with unprimed treatment with increasing alkaline stress. The highest shoot dry weight, relative water content, chl content and Fv/Fm also was observed at hydropriming treatment. K^+ concentration and K^+/Na^+ decreased under salinity stress, whereas the Na^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} concentration increased. The highest K^+ concentration and K^+/Na^+ was observed in hydropriming treatment. Also, under 15 and 30 mM salinity stress, all of priming treatments increased Mg^{2+} concentration compared with unprimed. So, seed priming especially hydropriming can be an effective method to improve plant growth of sesame in alkaline stress condition.

Keywords: Bicarbonate sodium, Halopriming, Hydropriming, Ion content

بهینه‌سازی کاربرد کودهای نیتروژن، فسفر و دامی در زراعت گندم پاییزه (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از روش سطح-پاسخ (RSM)

محسن جهان^{۱*} - مهدی نصیری محلاتی^۲ - حمیده خلیل زاده^۳ - ریحانه بیگناه^۴ - احمدرضا رضوی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۳۰

چکیده

نیاز روزافزون به تولید گندم به‌عنوان اصلی‌ترین منبع تأمین انرژی جوامع انسانی، استفاده‌ی گسترده از کودهای شیمیایی را به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه به‌دنبال داشته است. اولین گام در جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی و پیش‌گیری از پی‌آمدهای منفی زیست‌محیطی حاصل، بهینه‌سازی مصرف و افزایش کارایی این نهاده‌ها است. در این راستا و به‌منظور برآورد مقادیر بهینه مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر و کود دامی در زراعت گندم، با استفاده از روش سطح-پاسخ، آزمایشی در قالب باکس-بنکن طراحی و طی دو سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی با توجه به سطوح بالا و پایین کود نیتروژن (صفر و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار)، کود فسفره (صفر و ۲۰۰ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار) و کود گاوی (صفر و ۳۰ تن در هکتار) طراحی شدند، به‌طوری‌که نقطه مرکزی در هر تیمار سه مرتبه تکرار شد و کلاً ۱۵ ترکیب تیماری به‌دست آمد. عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد پنجه‌ی بارور، محتوای نسبی رطوبت، تلفات نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن به‌عنوان متغیرهای وابسته مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. سپس با استفاده از مدل رگرسیونی گام‌به‌گام و برازش تابع درجه‌دو کامل به داده‌ها، سطوح پاسخ متغیرهای وابسته تحت تأثیر تیمارها محاسبه شد. نتایج نشان داد که با افزایش مصرف نیتروژن و فسفر تا سطح ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه افزایش یافت. تعداد پنجه بارور در بوته در سطح ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، با افزایش مصرف فسفر از صفر تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، به‌صورت تقریباً خطی افزایش یافت. محتوای نسبی رطوبت با افزایش سطح مصرف کود دامی افزایش یافت. تلفات نیتروژن به موازات افزایش سطوح مصرف نیتروژن و کود دامی، به‌صورت خطی افزایش یافت. روند افزایش کارایی مصرف نیتروژن، به موازات افزایش کاربرد نیتروژن و فسفر به‌صورت تابع درجه دو کاهشی بود. مقادیر بهینه‌شده کودهای نیتروژن، فسفر و دامی براساس سه سناریوی اقتصادی، زیست‌محیطی و اقتصادی-زیست‌محیطی برآورد شد. در سناریوی اقتصادی، مصرف ۱۴۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۸ تن در هکتار کود دامی، منجر به تولید ۶۵۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه و کارایی مصرف نیتروژن برابر با ۱۰/۴۹ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن مصرفی شد. در سناریوی زیست‌محیطی، با مصرف ۲۱ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، بدون کاربرد فسفر، با مصرف ۱۶ تن در هکتار کود دامی، عملکرد دانه‌ی برابر با ۳۱۶۰ کیلوگرم در هکتار و کارایی مصرف نیتروژن برابر با ۹/۰۸ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن مصرفی حاصل شد. در سناریوی اقتصادی-زیست‌محیطی، کاربرد ۱۴۵ و ۳۴ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب نیتروژن و فسفر و ۳۰ تن در هکتار کود دامی، عملکرد دانه‌ی برابر با ۴۰۳۱ کیلوگرم در هکتار داشت و افزایش ۳۶ درصدی در کارایی مصرف نیتروژن نسبت به سناریوی اقتصادی (۱۶/۵۰ در برابر ۱۰/۴۹) را به‌دنبال داشت. با توجه به نتایج به‌دست آمده، به‌نظر می‌رسد که برای تولید گندم پاییزه، سناریوی اقتصادی-زیست‌محیطی نسبت به دو سناریوی دیگر اولویت داشته باشد، هرچند، منافع و مضار هر سناریو در برابر سناریوهای دیگر، باید در عمل و تحت شرایط واقعی سنجیده و نسبت به کاربرد آن تصمیم‌گیری شود.

واژه‌های کلیدی: تلفات نیتروژن، سناریوی اقتصادی-زیست‌محیطی، طرح باکس بنکن، عملکرد دانه، کارایی زراعی مصرف نیتروژن

مقدمه

(*Triticum aestivum* L.) هم از نظر سطح زیر کشت و هم از نظر

میزان تولید، به‌همراه برنج و ذرت، جزو سه محصول عمده‌ی جهان محسوب می‌شود (۱۹). در ایران نیز، تولید سالانه نزدیک ۷ تا ۹ میلیون تن گندم، در کنار ۴ تا ۶ میلیون تن واردات، سبب شده است تا این محصول به‌عنوان مهمترین گیاه زراعی استراتژیک، از جایگاه ویژه‌ای در امر برنامه‌ریزی، سیاست‌گذاری و تخصیص منابع و نهاده‌ها برخوردار گردد (۴۵). حدود ۴۵ درصد از کالری و ۷۰ درصد از پروتئین

از بین تمام گونه‌های زیر کشت در سطح جهان، گندم

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانشیار، استاد، دانشجویان کارشناسی ارشد و دانشجوی دوره دکتری اگرواکولوژی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: jahan@um.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

کارایی پایین جذب کودها در بسیاری از گیاهان زراعی، عامل مهمی در تشدید تلفات از طریق آبشویی، تصعید و انتشار کودهای شیمیایی محلول است که به راحتی در خاک و اتمسفر رها می شوند (۲).

بین کاربرد کودهای شیمیایی NPK در زراعت گندم و بهره‌وری گیاه زراعی، همبستگی مستقیمی گزارش شده است (۲۳، ۳۰ و ۳۹). از سوی دیگر، کاربرد توأم کودهای شیمیایی با مواد آلی مثل کودهای دامی، می‌تواند به عنوان سیستم مدیریتی صحیح و منطقی علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف کودهای شیمیایی و جلوگیری از اثرات زیان‌آور آن‌ها بر آب‌های سطحی و زیرزمینی، توازن عناصر غذایی در خاک و گیاه و میزان عملکرد را در کشت‌های متوالی بهبود بخشد. همچنین، از آنجایی که یکی از عوامل تأثیرگذار بر هدررفت نیتروژن، عدم تطابق زمان کاربرد با مراحل رشدی گیاه است (۲۱)، بنابراین، کاربرد توأم کودهای آلی مثل کود دامی به سبب آهسته و پیوسته آزاد کردن نیتروژن و برهمکنش با عوامل دیگر، می‌تواند تلفات این عنصر را کاهش دهد. کودهای آلی و انواع مختلفی از کودهای ویژه مانند کودهای گند راه، کودهای با رهش کنترل شده، همچنین، اوره و بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون، بقای بیشتری داشته و به صورت پیوسته عناصر غذایی را در ریزوسفر گیاهان آزاد می‌کنند، بنابراین، کاربرد آن‌ها می‌تواند تلفات زیست‌محیطی عناصر غذایی گیاهی گران‌قیمت را در طی کشت و کار گیاهان زراعی کاهش دهد (۱۴، ۴۳ و ۴۸). نیتروژن اولین عنصر غذایی است که کمبود آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک آشکار می‌شود، زیرا مقدار مواد آلی خاک که عمده‌ترین منبع نیتروژن خاک هستند در این مناطق ناچیز است.

امروزه به علت هزینه‌های سنگین کودهای شیمیایی، لازم است که جذب و مصرف عناصر غذایی از کارایی بالایی برخوردار باشند تا بدین وسیله از هزینه‌های تولید کاسته و سود بیشتری نصیب کشاورزان شود (۱۶). براساس سناریوهای موجود، برای تأمین نیاز جهانی غلات در سال ۲۰۵۰، میانگین کارایی مصرف نیتروژن غلات باید سالانه ۰/۱ تا ۰/۴ درصد افزایش یابد (۱۲). بهبود راندمان نیتروژن، پتانسیل آلودگی‌های محیط‌زیست را کاهش و درآمد اقتصادی را افزایش خواهد داد (۱۶). در مزارع تحقیقاتی حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد از کود نیتروژن مصرف شده از دسترس گیاه خارج می‌شود. با این حال، نتایجی که در کرت‌های آزمایشی به دست می‌آید را نمی‌توان برای برآورد کارایی مصرف نیتروژن در مقیاس منطقه‌ای یا جهانی استفاده کرد، زیرا مقدار تلفات نیتروژن در مزارع کشاورزان بسیار بیشتر از این مقدار است. به طور میانگین حدود ۵۰ درصد از کود نیتروژن مصرف شده در سال اول، از دسترس گیاه زراعی خارج می‌شود (۱۳). آزمایش‌های انجام شده در دهه‌های گذشته بیشتر با هدف بررسی اثرات افزایش مصرف نیتروژن بر عملکرد گیاهان مختلف بوده، درحالی که در حال حاضر بیشتر بر بهینه‌سازی و کاهش مصرف نیتروژن تأکید می‌شود (۴ و ۳۱).

مصرفی جمعیت ایران، از گندم تأمین می‌شود. گندم ۷۲/۴ درصد از سطح زیر کشت غلات و ۶۲/۲ درصد از کل تولید غلات را در سال زراعی ۱۳۸۹-۹۰ به خود اختصاص داد (۴۵). مجموع کود اوره توزیع شده در سطح کشور، ۱/۷ میلیون تن در سال ۱۳۸۹ و ۱/۱ میلیون تن در سال ۱۳۹۰ بوده، که از این مقدار، حدود ۷۶۴۲۶ تن به استان خراسان رضوی اختصاص یافت. میزان واردات طی دو سال مذکور، صفر گزارش شده است. از سوی دیگر، آلودگی‌ها و پی‌آمدهای ناشی از مصرف گسترده‌ی نهاده‌های شیمیایی، سبب تغییر نگرش در زمینه‌ی تولید غذا شده است. یکی از مهم‌ترین این نگرش‌ها، تولید پایدار غذای کافی در کنار توجه به ابعاد اجتماعی، اقتصادی، زیست محیطی است. گلیسمن، اولین گام در جهت رسیدن به این هدف را، بهینه‌سازی و افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها دانسته است.

از بین ۱۶ عنصر ضروری مورد نیاز برای رشد و نمو گیاهان، نیتروژن مقام اول را به خود اختصاص داده، ۲ تا ۵ درصد از وزن خشک گیاهان را نیتروژن تشکیل می‌دهد و کمبود آن بیش از سایر عناصر غذایی، عملکرد کمی و کیفی را محدود می‌سازد (۳۷ و ۴۹). میانگین میزان جذب نیتروژن توسط گیاهان، ۵۰ درصد گزارش شده است (۴۶). در حال حاضر، پنجاه درصد نیتروژن مصرفی مربوط به غلات است و بقیه‌ی آن صرف سایر گونه‌های گیاهی و درختان می‌شود (۲۶).

بیش از ۵۰ درصد نیتروژن مصرف شده می‌تواند از سیستم‌های کشاورزی به شکل‌های مختلف نیتروژن گازی و انواع ترکیبات نیتروژنی فعال شده، هدر رود (۱، ۲۷ و ۴۶). سفر نیز زمانی که به میزان زیادی در مقایسه با سایر عناصر غذایی به کار برده می‌شود، تا ۹۰ درصد از آن به صورت ترکیب با سایر عناصر فلزی در خاک رسوب می‌کند و سبب آلودگی‌های بعدی فسفره می‌شود (۱). گزارش شده است که نیتروژن باقی‌مانده در خاک پس از برداشت محصول معمولاً ۱۸ تا ۴۱ درصد نیتروژن مصرف شده را شامل می‌شود (۱۶). برخی محققان مقدار آبشویی نیترات به آب‌های زیرزمینی را ۳۳ تا ۵۰ درصد کود نیتروژن مصرف شده گزارش کرده‌اند (۱۳ و ۲۷). تلفات کودهای نیتروژنی به روش‌های متفاوتی مانند تصعید آمونیومی در خاک‌های آهکی (۱۰ تا ۷۰ درصد)، نیترات‌زدایی (۹ تا ۲۲ درصد) و آبشویی (۱۵ تا ۴۰ درصد) انجام می‌گیرد. مصرف این کودها به دلایلی همچون ارزان بودن، در دسترس بودن و سهولت تهیه توسط کشاورزان بی‌رویه بوده و کارایی پایینی دارند (۱۶ و ۴۱). اسپارلینگ و همکاران (۴۴) گزارش کردند که با مصرف زیاد و مستمر کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار، اتلاف ازت از طریق آبشویی و انتقال آن به منابع آب‌های زیرزمینی (آلودگی آب) و تصعید این عنصر (آلودگی هوا) افزایش می‌یابد. سرعت تجزیه ماده آلی در خاک نیز تشدید یافته و مقادیر زیادی نیتروژن و دی‌اکسیدکربن به اتمسفر وارد می‌شود که این گازهای گلخانه‌ای در گرمایش جهانی و تغییر اقلیم مؤثر هستند.

(۶).

با استفاده از طرح باکس- بنکن این امکان فراهم می‌شود که بیشترین اطلاعات را از حداقل عملیات اجرایی از طریق توزیع نقاط آزمایشی در محدوده‌ی تیمارها به‌دست آورد. بر این اساس، تیمارهای آزمایشی مورد نیاز با توجه به سطوح پایین و بالای نیتروژن (صفر و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و کود گاوی (صفر و ۳۰ تن در هکتار) توسط نرم‌افزار مشخص شدند. براساس رابطه‌ی (۱) و با در نظر گرفتن سه تکرار برای نقطه‌ی مرکزی، ۱۵ ترکیب تیماری مشخص شد (جدول ۱). مقادیر بیشینه، مرکزی و کمینه‌ی پارامترها به‌ترتیب متناظر با ۱، صفر و ۱- در جدول ۱ نشان داده شده است.

قبل از انجام آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری انجام و به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد. اندازه‌گیری EC و pH خاک به روش تهیه‌ی محلول با نسبت ۲ به ۱ (آب به خاک) (۵) انجام شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است. به‌منظور اعمال کود آلی، میزان عناصر غذایی کود گاوی تعیین و سپس بر حسب نیاز غذایی گندم، عرف منطقه و با توجه به بررسی منابع انجام شده، بر مبنای ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار، یک ماه قبل از کشت به‌طور یکنواخت در سطح کرت‌های مورد نظر پخش و بلافاصله توسط بیل دستی وارد خاک شد. نتایج تجزیه کود گاوی مصرفی نشان داد که دارای ۱/۱۸ درصد نیتروژن، ۰/۲۹ درصد فسفر و ۱/۰۴ درصد پتاسیم بود. کرت‌هایی با ابعاد ۳ در ۴ متر ایجاد و در داخل هر کرت ۶ ردیف دوطرفه برای کاشت در نظر گرفته شد. سپس قسط اول کود نیتروژن و تمام کود فسفر با توجه به تیمارهای مورد نظر به کرت‌ها اضافه و با خاک مخلوط شد. به‌منظور جلوگیری از اختلاط آب آبیاری کرت‌ها با یکدیگر فاصله کرت‌ها از یکدیگر ۱ متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در هر دو سال آزمایش در یک تاریخ یکسان (۹۱/۷/۳۰ و ۹۲/۷/۳۰) در دو طرف پشته و در ردیف‌هایی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر انجام شد.

رقم گندم مورد استفاده، گاسکوژن (حساس به تنش، بدون ریشک و مناسب شرایط آب‌وهوایی منطقه) بود. زمین زیر کشت در دو سال آزمایش متفاوت و مجاور یکدیگر و سال قبل از آزمایش تحت آیش بود. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی، به فاصله هر ۱۰ روز یکبار به‌روش شیاری انجام شد. وجین علف‌های هرز در دو نوبت و به روش دستی انجام گرفت. در کلیه‌ی مراحل آماده‌سازی زمین، کاشت و همچنین در طول دوره‌ی رشد، هیچ‌گونه علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد. هر کرت به دو قسمت تقسیم شد. یک بخش برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و اجزای عملکرد آن در نظر گرفته شد و بخش دیگر برای نمونه‌گیری‌های تخریبی در طول فصل رشد اختصاص یافت.

روش سطح-پاسخ، مجموعه‌ای از روش‌های آماری و ریاضی است که برای آنالیز و مدل‌سازی پاسخ‌های یک فرآیند استفاده می‌شود و هدف نهایی آن بهینه‌سازی فرآیند است (۳۸). طرح مرکب مرکزی، باکس-بنکن، و دهلرت^۱ سه روش اصلی طراحی سطح-پاسخ هستند. هدف از روش سطح-پاسخ یافتن مقادیر مناسب هر یک از متغیرها برای رسیدن به مطلوب‌ترین پاسخ‌ها است. می‌توان از شبیه‌سازی با مدل ساخته‌شده به‌جای انجام آزمایش‌های واقعی که مستلزم وقت و هزینه‌ی زیاد هستند، جهت بررسی عوامل گوناگون استفاده نمود. تعداد آزمایش‌های مورد نیاز یا سناریوهای شبیه‌سازی در این روش، برای تعداد مشخصی پارامتر ورودی، بسیار کمتر از دیگر روش‌ها (مانند آزمایشات فاکتوریل) است. این موضوع به‌ویژه با افزایش تعداد پارامترهای ورودی اهمیت دوچندان می‌یابد. همچنین، به‌دلیل آن‌که برای هر پارامتر سه مقدار ورودی تعیین می‌شود، طرح باکس-بنکن امکان بررسی و اندازه‌گیری تأثیر ترکیبات دوتایی از پارامترها علاوه بر تأثیر جداگانه و مستقیم هر یک از آن‌ها را فراهم می‌آورد (۱۵).

از آن‌جا که در زمینه‌ی بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه بررسی اثر تلفیقی کودهای شیمیایی با کود دامی با استفاده از الگوها و مدل‌های ریاضی مبتنی بر داده‌های تجربی، پژوهش‌چندانی صورت نگرفته، بنابراین، پژوهش حاضر با تأکید بر بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی و آلی در کشت گندم پاییزه در شرایط مشهد، بررسی روند تغییرات و اثر نسبت‌های مختلف کودهای نیتروژن، فسفر و دامی بر ویژگی‌های گندم و روند تغییرات آن، همچنین مقایسه میزان تأثیر کود دامی با کود شیمیایی بر کارایی مصرف نیتروژن و افزایش عملکرد گندم طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱ در قالب طرح باکس-بنکن در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه‌ی شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه‌ی شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل ترکیبی از کودهای نیتروژن، فسفر و کود گاوی در مقادیر مختلف بود. تعداد کل آزمایش‌های مورد نیاز (یا همان تیمارها)، ۱۵ تیمار شامل ۱۲ ترکیب فاکتوریل و ۳ بار تکرار نقطه مرکزی بود. طرح باکس-بنکن اساساً با یک تکرار قابل اجرا و آنالیز است، البته برای برازش معادلات سطح پاسخ لازم است تا نقاط مرکزی که معرف میانگین سطوح بالا و پایین هر یک از فاکتورهای تحت بررسی هستند حداقل سه بار تکرار شوند

جدول ۱- مقادیر و ضرایب تیمارها با توجه به طرح باکس- بنکن
Table 1- Values and coefficients of treatments based on Box-Behnken design

شماره تیمار Treatment Number	ضرایب Coefficients			مقادیر تیمارها* Treatment values*		
	نیتروژن Nitrogen (X ₁)	فسفر Phosphorus (X ₂)	کود دامی Manure (X ₁)	نیتروژن Nitrogen (kg ha ⁻¹)	فسفر Phosphorus (kg ha ⁻¹)	کود دامی Manure (ton ha ⁻¹)
1	+1	-1	0	300	0	15
2	0	-1	0	150	0	15
3	+1	0	+1	300	100	30
4	+1	0	-1	300	100	0
5	-1	0	+1	0	100	30
6	0	0	0	150	100	15
7	0	-1	+1	150	0	30
8	-1	0	-1	0	100	0
9	0	-1	-1	150	0	0
10	0	+1	-1	150	200	0
11	0	+1	+1	150	200	30
12	0	0	0	150	100	15
13	-1	+1	0	0	200	15
14	+1	+1	0	300	200	15
15	0	0	0	150	100	15

* ۱، ۰ و -۱، به ترتیب سطوح بالا، پایین و میانگین هر فاکتور را نشان می‌دهد.

* +1, -1, and 0 indicates up, down and medium level of each factor

به منظور مطالعه شاخص‌های رشدی گیاه، نمونه‌برداری‌های تخریبی هر دو هفته یکبار انجام شد و در این نمونه‌ها، سطح برگ و وزن خشک گیاهان اندازه‌گیری شد. اعمال سطوح مختلف تیمار نیتروژن به صورت سرک در سه نوبت انجام شد. نوبت اول همزمان با کاشت، نوبت دوم در مرحله‌ی پنجه‌دهی و نوبت سوم در مرحله‌ی خوشه‌دهی (نیمه‌ی اسفند ماه) صورت گرفت. قبل از برداشت نهایی، پنج بوته به صورت تصادفی انتخاب و تعداد پنجه‌ی بارور در آن‌ها تعیین شد. جهت تعیین عملکرد دانه، زمانی که قسمت اعظم بوته‌ها زرد شدند، برداشت گیاهان از بخش اختصاص یافته به این منظور (سطح چهار متر مربع) با حذف دو ردیف کناری و ۲۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان اثر حاشیه‌ای انجام شد. گیاهان برداشت شده در هوای آزاد خشک شدند، سپس عملکرد بیولوژیک (مجموع عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش) آنها اندازه‌گیری شد. بعد از بوجاری بذرها، میزان عملکرد دانه هر کرت تعیین و شاخص برداشت محاسبه گردید. پس از برداشت نهایی (سوم خرداد ماه)، نمونه‌برداری از گیاهان هر تیمار به منظور تعیین محتوای نیتروژن گیاه انجام شد. جهت تعیین محتوای نیتروژن اندام هوایی از دستگاه کج‌لدال استفاده گردید. پروتئین دانه و میزان نیتروژن خاک به روش AOAC (4.2.04) Official Method 968.06 براساس تعیین نیتروژن به روش کج‌لدال و با استفاده از دستگاه Semi Automated

به روش کج‌لدال و با استفاده از دستگاه Semi Automated

$$ANUE = \frac{Y_s}{N_{initial} + N_{fertilizer}} \quad (2)$$

که در این معادله، Y_s : عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) می‌باشد.

تلفات نیتروژن و کارایی نیتروژن به‌صورت جداگانه محاسبه شدند؛ X_i : متغیر مستقل i و $X_i X_j$: اثر متقابل متغیر مستقل i و j و متغیر مستقل i و j ، X_i^2 و X_j^2 : توان دوم متغیر مستقل i و j و β_{ii} تا β_{jj} ضرایب معادله بودند. پس از به‌دست آوردن نتایج شبیه‌سازی، با استفاده از محاسبات و روش‌های آماری، یک چندجمله‌ای درجه دوم حاصل می‌شود که میزان پاسخ (عملکرد) را به‌صورت تابعی از متغیرهای ورودی بیان می‌کند. در پایان و پس از بهینه‌سازی رابطه‌ی به‌دست آمده و حذف جملات کم‌اثر، با استفاده از آزمون‌های آماری و معیارهایی چون مقدار آزمون F ، آزمون عدم برازش P_{value} و ضریب تبیین R^2 ، یک رابطه‌ی نهایی برای پیش‌بینی عملکرد و سایر متغیرهای پاسخ مورد نظر در پژوهش حاضر محاسبه شد (رابطه ۵). رابطه‌ی به‌دست آمده، صرفاً در محدوده‌های تعریف شده برای پارامترهای ورودی صادق بوده و در خارج از این محدوده، قدرت پیش‌بینی ندارد.

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_1^2 + a_5 X_2^2 + a_6 X_3^2 + a_7 X_1 X_2 + a_8 X_1 X_3 + a_9 X_2 X_3 \quad (5)$$

در این معادله، Y : متغیر وابسته است و با توجه به عملکرد دانه گندم، عملکرد بیولوژیک، تعداد پنجه بارور، محتوای نسبی رطوبت، تلفات نیتروژن و کارایی نیتروژن به‌صورت جداگانه محاسبه شدند؛ X_1 : متغیر مستقل کود نیتروژن و X_2 : متغیر مستقل کود فسفر، X_3 : متغیر مستقل کود دامی و a_1 تا a_9 ضرایب معادله بودند. مقادیر بهینه نیتروژن، فسفر و کود دامی مصرفی با توجه به سه سناریوی اقتصادی، زیست محیطی و اقتصادی-زیست محیطی تعیین گردید. بدین ترتیب که در سناریوی اقتصادی، عملکرد دانه گندم؛ در سناریوی زیست محیطی، تلفات نیتروژن و در سناریوی اقتصادی-زیست محیطی، کارایی استفاده از منابع نیتروژن به‌عنوان مبنای بهینه‌سازی در نظر گرفته شدند. در ادامه، سطوح بهینه فاکتورها برای حصول هریک از سناریوهای تعریف شده براساس الگوریتم محاسباتی بهینه‌سازی تعیین گردید.

در نهایت نتایج برازش شده با داده‌های مشاهده شده مورد مقایسه قرار گرفتند و اعتبار مدل‌های رگرسیون با استفاده از آزمون‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا^۳ (رابطه ۶) و رگرسیون خطی یک به یک ارزیابی شدند.

$$RMSE (\%) = \frac{100}{\bar{O}} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (6)$$

که در این معادله $\bar{O}$: میانگین مشاهدات، P : مقادیر برازش شده و O_i : مقادیر مشاهده شده می‌باشد.

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی خاک زمین محل انجام آزمایش

Table 2- Physical and chemical properties of experimental field soil before planting

عمق خاک		
Soil depth (cm)		
15-30	0-15	
0.068	0.077	نیتروژن کل
		Total N (%)
7	11	فسفر قابل دسترس
		Available P (ppm)
465	480	پتاسیم قابل دسترس
		Available K (ppm)
12.5	13.2	نسبت کربن به نیتروژن
		C/N
7.6	7.8	pH (عصاره اشباع)
0.52	0.58	کربن آلی
		Organic C (%)
22	24.3	ظرفیت نگهداری آب
		Water holding capacity (%)
1.54	1.42	وزن مخصوص ظاهری
		Bulk density (g cm ⁻³)
1.1	1.2	هدایت الکتریکی
		Electrical Conductivity (dS m ⁻¹)
		بافت خاک
		Soil Texture
		لوم سیلتی لوم سیلتی

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ‌ها^۱، اواسط مرحله گلدهی از برگ‌های یکسان بوته‌های مربوط به هر تیمار قطعه‌های ۲×۲ سانتی‌متری بریده شد و با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت یک هزارم گرم، وزن تر (FW) آن‌ها تعیین گردید. قطعات بریده شده به‌مدت شش ساعت در دمای آزمایشگاه در آب مقطر قرار داده شدند و پس از اندازه‌گیری وزن آن‌ها و در نظر گرفتن آن به‌عنوان وزن آماس (TW) به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با درجه حرارت ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند، سپس وزن آن‌ها به‌عنوان وزن خشک (DW) برگ یادداشت شد و در نهایت با استفاده از رابطه‌ی (۳) محتوای نسبی آب برگ محاسبه شد (۲۹):

$$RWC = \frac{(FW - DW)}{(TW - DW)} \quad (3)$$

در روش باکس-بنکن، متغیر پاسخ (y) توسط رابطه‌ی (۴) برآورد می‌شود:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i X_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^m \beta_{ii} X_i^2 \quad (4)$$

در این معادله، y : متغیر وابسته است و با توجه به عملکرد دانه گندم، عملکرد بیولوژیک، تعداد پنجه بارور، محتوای نسبی رطوبت،

2- Lack of Fit

3- RMSE (Root mean square error)

1- Relative Water Content

ضرایب رگرسیون برای مدل‌های برازش شده در مورد هریک از صفات مورد مطالعه در آزمایش در جدول ۴ ذکر شده است. ضرایب تبیین (R^2) نشان‌دهنده درصد تغییرات هر کدام از متغیرهای وابسته تحت تأثیر متغیرهای مستقل است و ضرایب تبیین بالا در این معادلات نشان‌دهنده برازش خوب مدل برآورد شده است (جدول ۴).

عملکرد دانه

نمودار رگرسیون خطی مقادیر برازش داده شده و مشاهده شده در مورد عملکرد دانه گندم در شکل ۱ نشان داده شده است. مقدار پایین $RMSE$ نشان‌دهنده برازش خوب مدل می‌باشد. به علاوه، اختلاف معنی‌داری بین عرض از مبدأ و شیب خط رگرسیون و شیب و عرض از مبدأ معادله خط ۱:۱ مشاهده نشد.

کمترین مقدار عملکرد دانه مشاهده شده گندم (۲۳۵۰) کیلوگرم در هکتار) در نتیجه‌ی کاربرد صفر کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۳۰ تن در هکتار کود دامی به دست آمد و با افزایش سطوح متغیرهای مستقل در تیمارها، عملکرد دانه نیز افزایش یافت (شکل ۱).

سطح- پاسخ تغییرات عملکرد دانه با توجه به متغیرهای مستقل (کود نیتروژن و فسفر) در مقدار ثابت ۳۰ تن در هکتار کود دامی، در شکل ۲ نشان داده شده است. از آنجا که اثر کود دامی بر عملکرد تنها به صورت خطی معنی‌دار بود (جدول ۳) و فرم درجه دوم آن اثر معنی‌داری بر عملکرد نداشت، جهت ارائه‌ی بهتر تأثیر/ نتایج کود شیمیایی، این اثر در بالاترین سطح کود دامی بررسی شد. بیشترین مقدار عملکرد دانه (۶۳۰۰، ۶۲۵۰ و ۶۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب از تیمارهای ۱۵۰-۰-۰؛ ۱۵۰-۲۰۰-۰؛ ۱۵۰-۳۰۰-۰ که به ترتیب N-P-M از چپ به راست، بر حسب کیلوگرم در هکتار/کیلوگرم در هکتار/ تن در هکتار می‌باشند، به دست آمد. با توجه به نتایج آزمایش، برهمکنش اثرات کود نیتروژن و فسفر بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود.

مراقبی و همکاران (۳۵) گزارش کردند که با افزایش میزان مصرف نیتروژن (از صفر تا ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص) عملکرد دانه، درصد پروتئین و عملکرد پروتئین دانه افزایش یافت. هاتفیلد و همکاران (۲۲) گزارش کردند که کود نیتروژن از طریق افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه باعث افزایش عملکرد دانه گندم شد.

واکنش عملکرد دانه گندم در کلیه‌ی سطوح نیتروژن، در سطح بالای کود فسفر (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، بیشتر از سطوح پایین و میانی فسفر بود، ضمن این که فرم درجه‌ی ۲ واکنش به نیتروژن در تمام سطوح فسفر ثابت مانده و افزایش عملکرد ناشی از افزایش فسفر بود (شکل ۲ و جدول ۳). این موضوع نشان‌دهنده‌ی آن است که در

$RMSE$ به صورت درصد اختلاف نسبی مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر واقعی بیان می‌شود و براساس تعریف، قدرت پیش‌بینی مدل در صورتی که مقدار $RMSE$ کمتر از ۱۰ درصد باشد، عالی، اگر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد، خوب، اگر بین ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد، متوسط و اگر بالاتر از ۳۰ درصد باشد، ضعیف برآورد می‌شود (۳۸). همچنین، برای ارزیابی مدل می‌توان از نمودار مقادیر مشاهده شده در برابر مقادیر برازش شده استفاده کرد. بر این اساس معادله خط راست مقادیر مشاهده شده و برازش شده با توجه به مدل‌های نهایی که در هریک از صفات انتخاب شدند رسم شد (رابطه ۷).

$$P_i = a + b O_i \quad (7)$$

قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها، از نرمال بودن توزیع آن‌ها اطمینان حاصل شد. برای داده‌های شمارشی، عملیات تبدیل داده انجام گرفت. به منظور اطمینان از یکنواختی واریانس تیمارها، آزمون بارتلت بر روی داده‌ها انجام و صحت آن‌ها تأیید شد. از آنجا که بین دو سال آزمایش از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، بنابراین، داده‌ها تجزیه‌ی مرکب شدند و میانگین هر صفت طی دو سال آزمایش گزارش شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها براساس طرح آماری مورد استفاده، توسط نرم‌افزارهای MINITAB Ver. 14, Ver. 17 MS Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه دو کامل^۱ برای هر کدام از متغیرهای وابسته شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد پنجه بارور، محتوای نسبی رطوبت، تلفات نیتروژن و کارایی نیتروژن در جدول ۳ نشان داده شده است. در مورد عملکرد دانه، اثرات نیتروژن و فسفر از جزء خطی مدل رگرسیونی و اثرات درجه دو آن‌ها از جزء درجه دو مدل رگرسیونی براساس آزمون F به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳)، در حالی که اثر متقابل معنی‌داری بین کوددهی نیتروژن و فسفر، نیتروژن و کود دامی و فسفر و کود دامی در متغیرهای تلفات نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن مشاهده نشد. اثر درجه دو متغیرهای مستقل نیتروژن (نیتروژن × نیتروژن) و فسفر (فسفر × فسفر) بر صفات عملکرد دانه ($p \leq 0.01$)، تعداد پنجه بارور ($p \leq 0.01$) و کارایی مصرف نیتروژن ($p \leq 0.05$)، معنی‌دار بود. همچنین، اثر متقابل نیتروژن × فسفر و فسفر × کود دامی بر تعداد پنجه بارور گندم معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$). آزمون عدم برازش، عدم وجود اختلاف معنی‌دار تجزیه رگرسیونی برای کلیه صفات مورد بررسی (به جز محتوای رطوبت نسبی) را با روش تجزیه واریانس نشان داد، که بیانگر قابلیت بالای برازش مدل بود.

صورت وجود نیتروژن کافی در دسترس، فسفر نقش تعیین‌کننده در عملکرد دانه خواهد داشت (۱۷ و ۲۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه دو کامل
Table 3- Analysis of variance of the full quadratic regression model

منابع تغییر Source of Variation	درجه آزادی Degree of Freedom	عملکرد دانه Seed Yield	عملکرد بیولوژیک Biological Yield	تعداد پنجه بارور Fertile tiller number	محتوای نسبی رطوبت Relative Water Content	تلفات نیتروژن Nitrogen Loss	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen Use Efficiency
مقدار ثابت Constant		**	**	**	**	*	**
مدل رگرسیون Regression model	9	2.2907*	6.7192ns		28.1721ns	13742*	62.776**
خطی Linear	3	1.1854ns	4.8728ns	0.6478**	23.2676ns	21374*	128.86**
نیتروژن Nitrogen (N)	1	2.1275*	0.9773ns	0.3729ns	0.5822ns	62121**	345.229*
فسفر Phosphorus (P)	1	1.6689*	12.3070*	0.3679ns	66.2452*	1407ns	0.081ns
کود دامی Manure (M)	1	0.5512ns	2.3086ns	0.9375**	1.4238ns	1100.2ns	17.877ns
درجه ۲ 2 Order	3	5.3810*	7.6513ns	0.0450ns	21.5724ns	16584*	44.878*
نیتروژن × نیتروژن N×N	1	7.7415**	0.0601ns	0.6381**	32.5710ns	13492*	33.179*
فسفر × فسفر P×P	1	4.5876**	2.9008ns	0.8214**	24.8508ns	3105ns	35.361*
کود دامی × کود دامی M×M	1	0.1060ns	19.6578*	1.5623**	13.1493ns	21375*	27.479ns
اثر متقابل Interaction	3	0.4975ns	9.0963ns	0.0007ns	24.9888ns	774ns	3.516ns
نیتروژن × فسفر N×P	1	0.9848ns	7.9929ns	0.4458**	29.7493ns	256.2ns	0.175ns
نیتروژن × کود دامی N×M	1	0.0351ns	0.2576ns	0.2475**	1.7889ns	22.8ns	7.378ns
فسفر × کود دامی P×M	1	0.4726ns	19.0205*	0.0900ns	43.4281ns	2044.8ns	2.993ns
عدم برازش Lack of Fit	3	0.2795ns	2.6974ns	1.0000**	18.1179ns	1396.4ns	7.180ns

** و * به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱٪ و ۵٪ و ns عدم وجود تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهد.

*, ** and ns represent significant at 5% level, Significant at 1% level and non-significant

عملکرد بیولوژیک

همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود در تمام سطوح کاربرد فسفر تا سطح میانی کاربرد کود دامی، عملکرد بیولوژیک افزایش و پس از آن تا سطح بالای کود دامی کاهش یافت، با این تفاوت که شدت این کاهش در سطوح میانی و بالای فسفر بیشتر از سطح پایین فسفر بود. به نظر می‌رسد که برهمکنش بین فسفر و کود دامی در

سطح بالای کود دامی (۳۰ تن در هکتار) با افزایش میزان فسفر (از صفر تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) تشدید شد. قابلیت دسترسی فسفر به میزان زیادی وابسته به pH است (۳۴)، احتمالاً با افزایش سطح کود دامی و افزایش pH از میزان فراهمی فسفر کاسته شد و بنابراین این عنصر در افزایش عملکرد بیولوژیک مؤثر واقع نشد. برخلاف نیتروژن که جابه‌جایی آن در خاک به‌طور عمده توسط حرکت توده‌ای انجام

می‌گیرد، جابه‌جایی فسفر در خاک وابسته به شیب انتشار است و بنابراین افزایش رطوبت ناشی از کود دامی و اثر آن بر دسترس‌پذیری فسفر برای گیاه، منفی است (۲۳).

جدول ۴- ضرایب رگرسیون و تبیین معادله

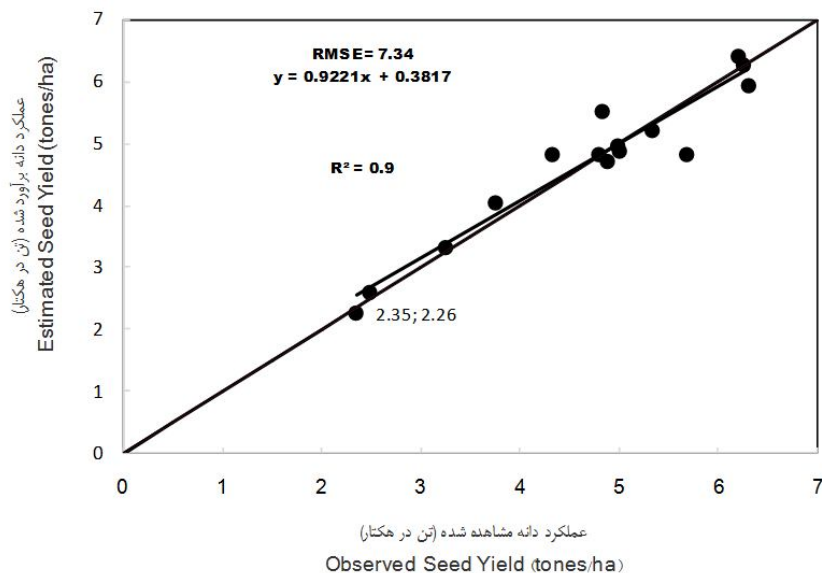
Table 4- Regression coefficients of the equation of

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_1^2 + a_5X_2^2 + a_6X_3^2 + a_7X_1X_2 + a_8X_1X_3 + a_9X_2X_3^*$$

متغیرهای پاسخ Response Variables						ضرایب Coefficient
کارایی نیتروژن NUE	تلفات نیتروژن N Losses	محتوای نسبی رطوبت RWC	تعداد پنجه بارور Fertile tiller No.	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	
12.64	65.5	78.97	2.863	15.11	2.939	a₀
0.0008	-0.136	-0.0258	-0.00852	-0.0155	0.03063	a₁
0.0606	0.640	-0.0821	-0.00836	0.0077	-0.01522	a₂
-0.424	-11.36	-0.496	0.0203	0.410	-0.0108	a₃
0.000148	0.00298	0.000146	0.000023	-0.000006	-0.000071	a₄
-0.000326	-0.00306	0.000274	0.000069	-0.000094	0.000118	a₅
0.01252	0.349	0.00866	-0.000067	-0.01059	-0.00078	a₆
0.000019	-0.00073	-0.000247	0.000023	0.000128	-0.000045	a₇
0.000604	0.00106	0.000297	0.000067	0.000117	-0.000042	a₈
0.000577	0.0151	0.00220	-0.000333	-0.001454	0.000229	a₉
95.31	92.86	82.02	98.24	83.08	92.06	R²

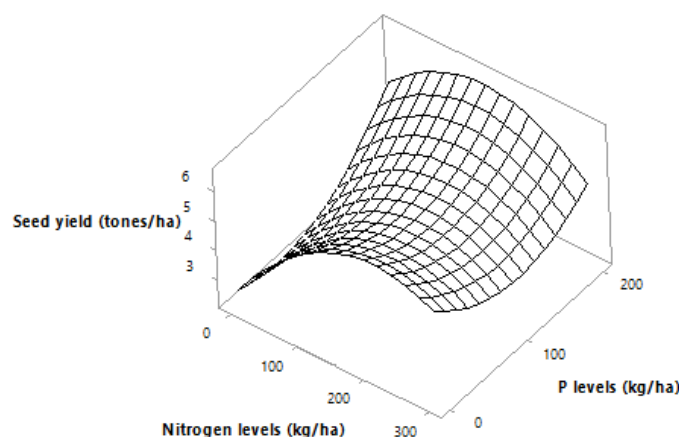
X_1 ، X_2 و X_3 به ترتیب متغیرهای مستقل کود نیتروژن، کود فسفر و کود دامی هستند.

X_1 , X_2 and X_3 indicates independent variables of nitrogen fertilizer, phosphorus fertilizer and manure, respectively

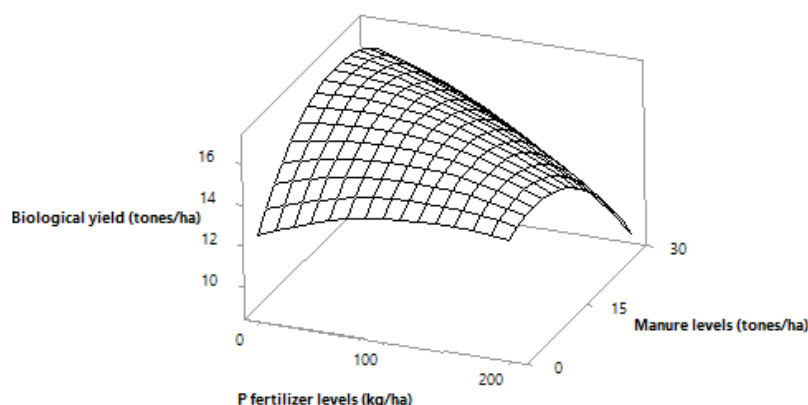


شکل ۱- نمودار و معادله خط رگرسیون مقادیر برازش داده شده و مقادیر مشاهده شده برای عملکرد دانه و مقدار RMSE با توجه به مدل رگرسیون درجه دو کامل

Figure 1- Graph and equation of the regression line and the value of RMSE for observed and predicted values of the wheat seed yield based on full quadratic regression model



شکل ۲- سطح- پاسخ عملکرد دانه گندم نسبت به سطوح مختلف کودهای نیتروژن و فسفر در سطح ثابت ۳۰ تن در هکتار کود دامی
Figure 2- Response surface for seed yield in different nitrogen and phosphorus fertilization at constant level of 15 tonnes/ha of manure



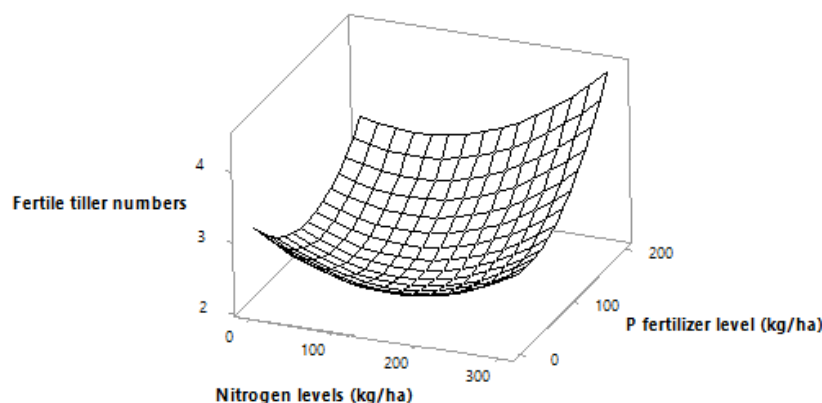
شکل ۳- سطح- پاسخ عملکرد بیولوژیک گندم نسبت به سطوح مختلف کودهای فسفر و دامی در سطح ثابت ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن
Figure 3- Response surface for biological yield in different phosphorus and manure fertilization at constant level of 150 kg/ha of nitrogen

احتمالاً به دلیل محدود شدن اثر نیتروژن در غیاب فسفر بود. همین اتفاق برای اثر برهمکنش نیتروژن و فسفر برای عملکرد دانه نیز دیده شد (شکل ۲).

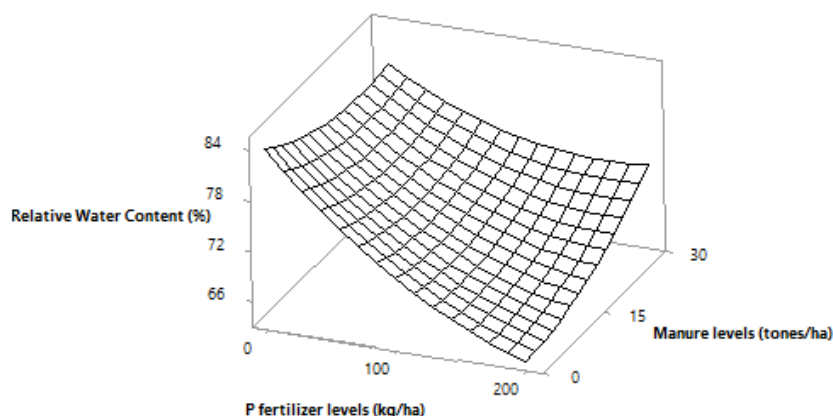
نیتروژن علاوه بر مشارکت در ساختار بیوشیمیایی پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و کلروفیل (۳۴) سبب تقسیم و بزرگ‌شدن سلول‌ها، افزایش سطح و دوام برگ و افزایش تعداد پنجه و دوام آن می‌شود که در نهایت افزایش ظرفیت سیستم فتوسنتزی گیاه و تولید ماده‌ی خشک را به‌دنبال دارد (۱۱). ظاهراً نیتروژن تعداد پنجه (رشد رویشی) را زیاد می‌کند نه پنجه‌ی بارور را. باروری به فسفر وابسته است، بنابراین، وقتی مقدار فسفر زیاد شده تعداد پنجه بارور هم زیاد شده است. در فسفر کم، نیتروژن زیاد، پنجه‌ی بارور را کم می‌کند.

تعداد پنجه بارور در بوته

تعداد پنجه بارور با افزایش سطح کاربرد فسفر افزایش یافت و شیب این افزایش در سطح ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بیشتر از سطوح ۱۵۰ و صفر آن بود، ضمن این‌که افزایش مصرف نیتروژن از صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، اثر منفی بر تولید پنجه بارور در گندم داشت، اگرچه این اثر منفی در سطوح پایین و میانی فسفر بیشتر از سطح بالای کاربرد فسفر بود (شکل ۴). قبلاً نیز اشاره شد که اثرات مثبت نیتروژن بر رشد و نمو گیاه، در صورت وجود مقادیر کافی از سایر عناصر به‌ویژه فسفر به‌ظاهر می‌رسد. در پژوهش حاضر، اثر مثبت نیتروژن در افزایش تعداد پنجه بارور در سطوح میانی و بالای فسفر کاملاً آشکار بود، اما در سطح صفر فسفر این تأثیر دیده نشد که



شکل ۴- سطح- پاسخ تعداد پنجه بارور در بوته گندم نسبت به سطوح مختلف کودهای نیتروژن و فسفر در سطح ثابت ۱۵ تن در هکتار کود دامی
Figure 4- Response surface for fertile tiller number of wheat in different nitrogen and phosphorus fertilization at constant level of 15 tones/ha of manure



شکل ۵- سطح- پاسخ محتوای نسبی رطوبت گندم نسبت به سطوح مختلف کودهای دامی و فسفر در سطح ثابت ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار
Figure 5- Response surface for relative water content of wheat in different phosphorus and manure fertilization at constant level of 300 kg/ha of nitrogen

می‌گردد و در گیاهانی که از درصد آب بیشتری برخوردارند، محتوای کلروفیل هم بیشتر است. دمای محیط ریشه می‌تواند جذب نیترات را تحت تأثیر قرار دهد. از آن‌جا که مواد آلی از جمله کود گاوی می‌توانند ظرفیت نگهداری آب در خاک را افزایش دهند، بنابراین از این طریق بر نگهداری و جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن تأثیر می‌گذارند. نتایج برخی تحقیقات نشان داده‌اند که در دامنه‌ی دمای بین ۴ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد جذب نیترات بیشتر از آمونیوم تحت تأثیر افزایش دما قرار می‌گیرد (۴۷). در شرایط سمیت نیتروژن، تنفس گیاه بالا خواهد بود و در نتیجه کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد. گزارش شده است که مقدار پروتئین دانه شاخصی از مقدار نیتروژن در دسترس گیاه و بیانگر وضعیت آب گیاه است (۱۶).

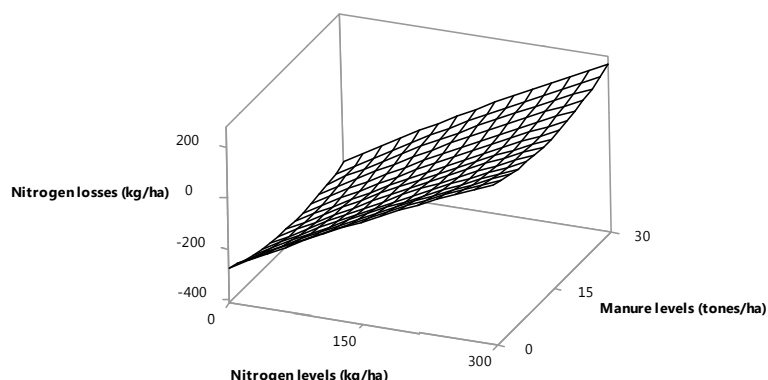
تلفات نیتروژن

تلفات نیتروژن به موازات افزایش سطوح کاربرد کود نیتروژن و کود دامی، با روند درجه‌ی ۲ افزایش یافت (شکل ۶).

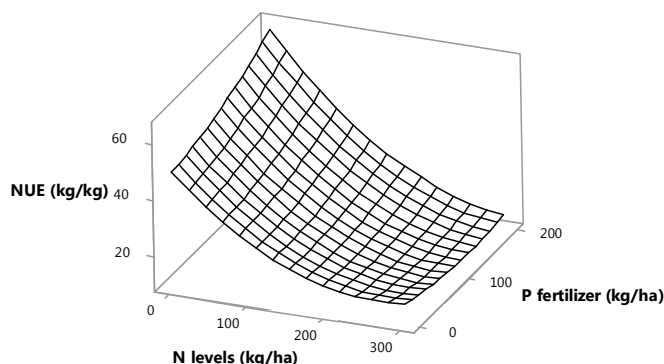
محتوای نسبی رطوبت

اثر خطی فسفر بر محتوای رطوبت نسبی معنی‌دار بود (جدول ۳) به‌طوری‌که با افزایش سطوح کاربرد فسفر، محتوای رطوبت نسبی کاهش یافت و این کاهش در سطوح صفر و میانی کود دامی شدیدتر از سطح بالای کود دامی بود (شکل ۵). نتیجه‌ی حاصل اندکی غیر عادی به‌نظر می‌رسد، شاید دلیل احتمالی آن اثر مثبت فسفر بر توسعه‌ی سیستم ریشه و اختصاص مواد فتوسنتزی به آن باشد (۳۴). اثر احتمالی دیگر، همان‌گونه که قبلاً نیز بیان شد، تأثیر بیشتر فسفر بر رشد زایشی نسبت به رشد رویشی است که با کاهش محتوای رطوبت گندم در دوره‌ی زایشی مطابقت دارد.

شلمر و همکاران (۴۲) گزارش کردند که کمبود نیتروژن موجب کاهش پتانسیل آب، افزایش میزان اسید آسبزیک در برگ می‌شود، بنابراین نقش مهمی در فرآیند پیری ایفا می‌کند. آن‌ها همچنین بیان کردند که نیتروژن سبب افزایش محتوای نسبی آب در گیاهان



شکل ۶- سطح- پاسخ تلفات نیتروژن نسبت به سطوح مختلف کودهای نیتروژن و دامی در سطح ثابت ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار
Figure 6- Response surface for nitrogen losses different nitrogen and manure levels fertilization at constant level of 100 kg/ha of phosphorus



شکل ۷- سطح- پاسخ کارایی نیتروژن نسبت به سطوح مختلف کودهای نیتروژن و فسفر در سطح ثابت ۳۰ تن در هکتار کود دامی
Figure 7- Response surface for nitrogen use efficiency in different nitrogen and phosphorus levels fertilization at constant level of 30 t/ha of manure

مورد کارایی نیتروژن گندم در شکل ۸ نشان داده شده است. مقدار پایین $RMSE$ نشان‌دهنده برازش خوب مدل می‌باشد. به‌علاوه، اختلاف معنی‌داری بین عرض از مبدأ و شیب خط رگرسیون و شیب و عرض از مبدأ معادله خط ۱:۱ مشاهده نشد.

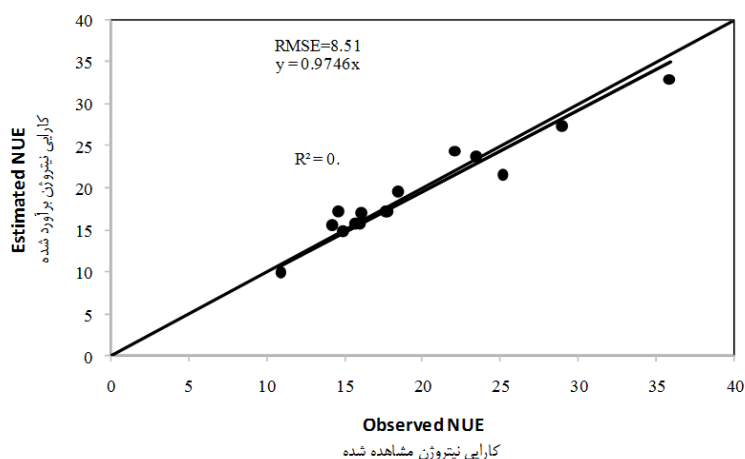
بهینه‌سازی منابع

بهینه‌سازی مقادیر کوددهی نیتروژن، فسفر و کود دامی با توجه به سه سناریوی اقتصادی، زیست‌محیطی و اقتصادی-زیست‌محیطی صورت گرفت.

کارایی مصرف نیتروژن

کارایی مصرف نیتروژن با افزایش سطوح مصرف کود نیتروژن کاهش یافت (شکل ۷). مارینو و همکاران (۳۳) گزارش کردند که کارایی مصرف نیتروژن گندم با افزایش سطح کود نیتروژن از ۵۰ به ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار، ۶۰ درصد کاهش یافت و از ۴۴/۲ به ۱۷/۶ کیلوگرم ماده خشک بر کیلوگرم نیتروژن رسید.

مراقبی و همکاران (۳۵) گزارش کردند که با افزایش میزان مصرف نیتروژن (از صفر تا ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص) عملکرد دانه افزایش ولی کارایی مصرف نیتروژن و کارایی فیزیولوژیک نیتروژن به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. نمودار رگرسیون خطی مقادیر برازش داده شده و مشاهده شده در



شکل ۸- نمودار و معادله خط رگرسیون مقادیر برازش شده و مشاهده شده برای کارایی نیتروژن و مقدار RMSE با توجه به مدل رگرسیونی درجه دو کامل

Figure 8- Graph and equation of the regression line and the value of RMSE for observed and predicted values of the wheat nitrogen use efficiency based on full quadratic regression model

جدول ۵- مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین توابع برازش شده برای متغیرهای پاسخ
Table 5- RMSE values and coefficients of determination of fitted equations for response variables

متغیرهای پاسخ Response Variables						
عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	تعداد پنجه بارور	محتوای نسبی رطوبت	تلفات نیتروژن	کارایی مصرف نیتروژن	
Seed yield	Biological yield	Fertile tiller No.	RWC	N Losses	NUE	
7.34	6.35	6.47	2.67	18.98	8.51	RMSE (%)
0.92	0.81	0.91	0.78	0.92	0.92	R ²

۱۱۶۹۲ کیلوگرم در هکتار و کارایی مصرف نیتروژن ۹/۰۸ برآورد شد (جدول ۶).

در سناریوی اقتصادی - زیست محیطی، کارایی مصرف نیتروژن، تلفات نیتروژن و عملکرد دانه، به عنوان عوامل تعیین کننده در بهینه سازی منابع مصرفی مورد توجه قرار گرفت و کاربرد ۱۴۴/۷۳ و ۳۴/۳ کیلوگرم در هکتار به ترتیب نیتروژن و فسفر و ۳۰ تن در هکتار کود دامی، منجر به عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک به ترتیب ۴۰۳۱ و ۱۵۳۱۱ کیلوگرم در هکتار شد و افزایشی ۳۶ درصدی در کارایی مصرف نیتروژن نسبت به سناریوی اقتصادی (۱۶/۵۰ در برابر ۱۰/۴۹) را به دنبال داشت.

در سناریوی اقتصادی - زیست محیطی، علاوه بر توجه به جنبه اقتصادی تولید (عملکرد دانه) به صورت همزمان مسائل زیست محیطی تولید که در این مطالعه تلفات نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن را شامل می شد، نیز در نظر گرفته شد. لذا به نظر می رسد که مصرف منابع با توجه به مقادیر بهینه سازی شده براساس این سناریو (به ترتیب ۱۴۵ و ۳۴ کیلوگرم نیتروژن و فسفر در هکتار و ۳۰ تن کود دامی در هکتار) می تواند به عنوان مناسب ترین سطوح مصرف کودهای

در سناریوی اقتصادی عملکرد دانه گندم به عنوان عامل اصلی تعیین کننده مقادیر بهینه منابع در نظر گرفته شد. بدین ترتیب، نتایج نشان داد که با کاربرد ۱۴۵/۴۵ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار، ۲۰۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار و مقدار ۱۸/۴۸ تن کود دامی در هکتار در طول فصل رشد می توان به عملکرد دانه ای برابر با ۶۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و عملکرد بیولوژیک ۱۳۱۳۰ کیلوگرم در هکتار دست یافت. در چنین شرایطی کارایی مصرف نیتروژن ۱۰/۴۹ و تلفات نیتروژن معادل ۶۱ کیلوگرم در هکتار خواهد بود (جدول ۶).

در سناریوی زیست محیطی، کاهش تلفات نیتروژن، عامل تعیین کننده در بهینه سازی منابع مصرفی در نظر گرفته شد. در واقع هدف از این سناریو کاهش آلودگی های زیست محیطی ناشی از مصرف زیاد کودهای نیتروژن، فسفر و احتمالاً کود دامی بود و عملکرد اقتصادی اهمیت کمتری داشت. با توجه به این سناریو، کوددهی نیتروژن به میزان ۲۱/۲۱ کیلوگرم در هکتار، بدون کاربرد فسفر در کنار مصرف ۱۶/۳۶ تن کود دامی در هکتار، تلفات نیتروژن را به صفر رساند. با توجه به مقدار بهینه منابع مصرفی در این سناریو میزان عملکرد دانه ۳۱۶۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد بیولوژیک

نیتروژن، فسفر و کود دامی در این پژوهش در نظر گرفته شوند.

جدول ۶- مقادیر بهینه سازی شده کود نیتروژن، کود فسفر و کود دامی به منظور دستیابی به متغیرهای وابسته مورد انتظار در سناریوهای مختلف

Table 6- Optimized values of nitrogen fertilizer and irrigation for reaching the dependent variables based on evaluated scenarios

متغیرهای وابسته (Y) Dependent variables (Y)						متغیرهای مستقل (X) Independent Variables (X)			
کارایی نیتروژن NUE (kg DM/ kg N)	تلفات نیتروژن N Losses (kg ha ⁻¹)	محتوای نسبی رطوبت RWC (%)	پنجه بارور Fertile Tiller No	عملکرد بیولوژیک Biological Yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد دانه Seed Yield (kg ha ⁻¹)	کود دامی Manure (ton ha ⁻¹)	فسفر Phosphorus (kg ha ⁻¹)	نیتروژن Nitrogen (kg ha ⁻¹)	سناریوهای مختلف Scenarios
10.49	61.04	68.38	3.16	13130	6500	18.48	200	145.45	اقتصادی Economic
9.08	0	72.79	3.03	11692	3160	16.36	0	21.21	زیست محیطی Environmental
16.50	0	71.04	2.51	15311	4031	30	34.3	144.73	محیطی Eco- Environmental

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که میزان مصرف کودهای نیتروژنی و فسفره که معمولاً برای زراعت گندم پاییزه در مشهد به کار برده می‌شود، بازتاب دقیقی از نیازهای واقعی کودی برای گیاهان زراعی مختلف در نواحی اگروکلیماتیکی متفاوت این منطقه نیست و نیاز به بازبینی دارد. در پژوهش حاضر، استفاده از ۱۵ تن کود دامی در هکتار (در سناریوی اقتصادی-زیست محیطی)، سبب دسترس پذیری بیشتر نیتروژن و فسفر و احتمالاً سایر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و افزایش بهره‌وری گیاه زراعی شد. علاوه بر این، به دام افتادن و حبس عناصر غذایی در ماتریکس آلی کود دامی، که یک نهاده‌ی بوم‌سازگار و کم‌هزینه محسوب می‌شود و امکان تهیه آن به صورت محلی وجود دارد، اثربخشی کودهای شیمیایی را در طول زمان بهبود می‌بخشد. کاربرد کود دامی به همراه کودهای نیتروژن و فسفر، افق‌های جدیدی

به سوی گسترش تجارتی کودهای آلی که می‌توانند بهره‌وری گیاه زراعی را به موازات کودهای شیمیایی حفظ کنند و هم‌زمان دوست‌دار محیط‌زیست، به صرفه و غنی‌کننده‌ی خاک هستند، می‌گشاید. با توجه به نتایج به دست آمده، به نظر می‌رسد که برای تولید گندم پاییزه، سناریوی اقتصادی-زیست محیطی نسبت به دو سناریوی دیگر اولویت داشته باشد، هرچند، منافع و مضار هر سناریو در برابر سناریوهای دیگر، باید در عمل و تحت شرایط واقعی سنجیده و نسبت به کاربرد آن تصمیم‌گیری شود.

سپاسگزاری

هزینه‌ی انجام یک سال این تحقیق توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح پژوهش به شماره ۱۹۸۰۰ تأمین شده است که بدین وسیله قدردانی می‌شود.

References

- Adesemoye, A. O., Torbert, H. A., and Klopfer, J. W. 2009. Plant growth promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microbial Ecology* 58: 921-929.
- Akiyama, H., Tsuruta, H., and Watanabe, T. 2000. N₂O and NO emission from soils after the application of different chemical fertilizers. *Chemosphere- Global Change Science* 2: 313-320.
- Al Imran, M., and Rengel, Z. 2013. Physiology of nitrogen-use efficiency. In: Improving water and nutrient use efficiency in food production system. Rengel, Z. (Ed.). 2013. WILEY-BLACKWELL. ISBN: 978-0-8138-1989-1.
- Alexandratos, N., and Bruinsma, J. 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. Global Perspective Studies Team, FAO Agricultural Development Economics Division.
- Black, C. A., Evans, D. D., White, J. L., Ensminger, L. E., and Clark, F. E. 1965. Methods of soil analysis. In:

- page A.L. (Eds.). American Society of Agronomy, p. 1562.
6. Box, G., and Behnken, D. 1960. Some new three level designs for the study of quantitative variables. *Technometrics* 2: 455-475.
 7. Carly, S., Dupre, C., Edu, D., Gaudnik, C., Gowing, D. J. G., Bleeker, A., Diekmann, M., Alard, D., Bobbink, R., Fowler, D., Corcket, E., Mountford, J. O., Vandvik, V. A., Per A., Muller, S., and Dise, N. B. 2010. Nitrogen deposition threatens species richness of grasslands across Europe. *Environmental Pollution* 158 (9): 2940-2945.
 8. Cassidy, E. S., West, P. C., Gerber, J. S., and Foley, J. A. 2013. Redefining agricultural yields: from tonnes to people nourished per hectare. *Environmental Research Letters*. 8 (2013) 034015 (8pp).
 9. Ciampitti, I. A., and Vyn, T. J. 2012. Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. *Field Crops Research* 133: 48-67.
 10. Conant, R. T., Berdanier, A. B., and Grace, P. R. 2013. Patterns and trends in nitrogen use and nitrogen recovery efficiency in world agriculture. *Global Biogeochemical Cycles* 27 (2): 558-566.
 11. Davis, J. G., Westfall, D. G., Mortvedt, J. J., and Shanahan, J. F. 2002. Fertilizing winter wheat. *Agronomy Journal* 84: 1198-1203.
 12. Doberman, A., and Cassman, K. G. 2005. Cereal area, yield and nitrogen use efficiency and drives for future nitrogen fertilizer consumption. *Science in China* 48: 745-758.
 13. Dobermann, A., and Cassman, K. G. 2004. Environmental dimension of fertilizer N: what can be done to increase nitrogen use efficiency and ensure global food security? In: *Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer use on Food Production and the Environment* (ed. Mosier AR), pp. 261-278. Island Press, Washington, DC.
 14. Emilsson, T., Brendtsson, J. C., Mattsson, J. E., and Rolf, K. 2007. Effect of using conventional and controlled release fertilizer on nutrient runoff from various vegetated roof systems. *Ecological Engineering* 29: 260-271.
 15. Eriksson, L., Johansson, E., Kettaneh-Wold, N., Wikstrom, C., and Wold, S. 2008. *Design of Experiments-Principales and Applications*. 3rd Edition, UMETRICS Academy, Sweden.
 16. Fageria, N. K. 2014. *Nitrogen Management in Crop Production*. New York: CRC Press. ISBN: 978-1-4822-2283-8.
 17. Fageria, N. K., and Baligar, V. C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*, 88: 97-185.
 18. FAO Country Profiles for IRAN. 2014. Available at: <http://www.fao.org/countryprofiles/index/en/?iso3=IRN>
 19. FAO Statistical Yearbook: World Food and Agriculture. 2013. Available at: <http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e00.htm>
 20. FAO. 2012. *The State of Food and Agriculture 2012 - Investing in Agriculture for a Better Future*, FAO, Rome, Italy. Available at: <http://www.fao.org/docrep/017/i3028e/i3028e.pdf>
 21. Gastal, F., and Lemaire, G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany* 53 (370): 789-799.
 22. Hatfield, J. L., and Prueger, J. H. 2004. Nitrogen over-use, under-use, and efficiency. *Crop Science* 26: 156-168.
 23. Hawkesford, M. J., and Barraclough, P. 2011. *The Basis of Nutrient Use Efficiency in Crops*. WILEY-BLACKWELL, USA. ISBN: 978-0-8138-1992-1.
 24. Horwitz, W., and Latimer, G. W. 2005. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 18th Edition. Maryland, USA.
 25. Hosseini, R., Galeshi, S., Soltani, A., and Kalateh, M. 2012. The effect of nitrogen on yield and yield component in modern and old wheat cultivars. *Electronic Iranian Journal of Crop Production* 4: 187-199. (in Persian with English abstract).
 26. International Fertilizer Industry Association. 2009. *Statistics (Online)*. Assessment of fertilizer use by crop at the global level. Available at: www.fertilizer.org (verified 17 May 2010), Paris, France.
 27. Jarvis, S., Hutchings, N., Brentrup, F., Olesen, J. E., and Van Der Hock, K. W. 2011. Nitrogen flows in farming systems across Europe. In: *The European Nitrogen Assessment: source, effects and policy perspectives*. Sutton, M. A., Howard, C. M., Erismann, J. W., Billen, G., Bleeker, G., Grennfelt, A., Grinsven, H. V., and Grizzetti, B. 2011. Cambridge University Press. Part III, Chapter 10.
 28. Kell, D. B. 2012. Large-scale sequestration of atmospheric carbon via plant roots in natural and agricultural ecosystems: why and how. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 367 (1595): 1589-1597.
 29. Kramer, P. 1988. Measurement of plant water status: Historical perspectives and current concerns. *Irrigation Science* 9: 275-287.
 30. Kumar, M., and Nanwal, R. K. 2006. Effect of integrated nutrient management on productivity and uptake of N and P in Pearl millet-wheat cropping system. *Indian Journal of Fertilizer* 2 (4): 49-53.
 31. Lawlor, D. W., Lemair, G., and Gastal, F. 2001. Nitrogen, plant growth and crop yield. In: *Plant nitrogen*. Lea, P. J., and Morot Guarday, J. F. (Eds.). Berlin: Springer-Verlag.
 32. Lehmeier, C. A., Wild, M., and Schnyder, H. 2013. Nitrogen Stress Affects the Turnover and Size of Nitrogen Pools Supplying Leaf Growth in a Grass. *Plant Physiology* 162 (4): 2095-2105.

33. Marino, M. A., Mazzanti, A., Assuero, S. G., Gastal, F., Echeverria, H. E., and Andrade, F. 2004. Nitrogen dilution curves and nitrogen use efficiency during winter-spring growth of annual ryegrass. *Agronomy Journal* 96: 601-607.
34. Mengel, K., and Kirkby, E. H. 2001. Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers, Boston. 849pp. ISBN: 978-1-4020-0008-9.
35. Moraghebi, F., Akbari Famile, M., and Hooshmandfar, A. 2011. The effect of amount and time application of nitrogen on seed protein percentage and ANU of wheat cultivar Pishtaz in Saveh region. *Quarterly of Plant and Ecosystem* 7 (1-29): 65-76. (in Persian with English abstract).
36. Mosier, A., Syers, J. K., and Freney, J. R. 2013. Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment. Island Press, USA. 344 pages. ISBN: 1-55963-710-2.
37. Mosier, A. R., and Syers, J. K. 2004. Nitrogen fertilizer: an essential component of increased food, feed and fiber production in agriculture and the nitrogen cycle: Assessing the impacts of fertilizer use on food production and the environment. Mosier, A. R., Syers, J. K., Freney, J. R., (Eds.) SCOPE, Island Press, Washington DC, USA 65: 3-15.
38. Myers, R. H., and Montgomery, D. C. 1995. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. John Wiley & Sons, New York, USA.
39. Osborne, S. L. 2007. Utilization of existing technology to evaluate spring wheat growth and nitrogen nutrition in South Dakota. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 38: 949-958.
40. Rathke, G. W., Behrens, T., and Diepenbrock, W. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 117: 80-108.
41. Raun, W. R., and Johnson, G. V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal* 91: 357-363.
42. Schlemmer, M. R., Francis, D. D., Shanahan, J. F., and Schepers, J. S. 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agronomy Journal* 97: 106-112.
43. Seiling, K., Brase, T., and Svib, V. 2006. Residual effect of different N fertilizer treatments on growth, N uptake and yield of oilseed rape, wheat and barley. *European Journal of Agronomy* 25: 40-48.
44. Sparling, G. P., Wheeler, D., Vesely, E. T., and Schipper, L. A. 2006. What is soil organic matter worth? *Journal of Environmental Quality* 35: 548-557.
45. The Office for data and information technology of the ministry of Jihad Keshavarzi. 2011. Agricultural data, Vol. 1: Crops, year of 2010-2011. Publication of Deputy for Planning, Economic and International, The Office for Data and Information Technology. <http://www.maj.ir/Portal/Home/Default.aspx?CategoryID=95a8e7d0-e5f0-4f2d-a241-792106c74dcc> (Available On-line at: 9.8.2014).
46. Weligama, C., Sale, P. W. G., Conyers, M. K., Liu, D. L., and Tang, C. 2010. Nitrate leaching stimulates subsurface root growth of wheat and increase rhizosphere alkalization in a highly acidic soil. *Plant and Soil* 328: 119-132.
47. Wuest, S. B., and Cassman, K. G. 1992. Fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated wheat: II. Partitioning efficiency of preplant versus late-season application. *Agronomy Journal* 84: 689-694.
48. Zamen, M., and Blennerhassett, J. D. 2010. Effects of the different rates of ureas and nitrification inhibitors on gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, nitrate leaching and pasture production from urine patches in an intensive grazed pasture system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 136: 236-246.
49. Zhao, D., Reddy, K. R., Kakani, V. G., and Reddy, V. R. 2005. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis and hyper spectral reflectance properties of sorghum. *European Journal of Agronomy* 22: 391-403.



Optimizing of Nitrogen, Phosphorus and Cattle Manure Fertilizers Application in Winter Wheat Production Using Response-Surface Methodology (RSM)

M. Jahan^{1*} - M. Nassiri Mahallati² - H. Khalilzade³ - R. Bigonah⁴ - A. R. Razavi⁵

Received: 28-07-2014

Accepted: 21-12-2014

Introduction

It is estimated that up to 50 percent of applied nitrogen would drift from agricultural systems as gaseous compounds and other types of activated nitrogen (27 and 46). When applied in high amounts, up to 90% of phosphorous fertilizers could be fixed in soil together with metallic elements as insoluble forms leading to further phosphorus pollution (1). In many crops, low absorption efficiency of fertilizers is the main reason of losses through leaching, volatilization and diffusion of soluble chemical fertilizers which easily released to soil and air. It has been reported that between 18-41 percent of applied nitrogen retain in soil after crop harvesting (Fageria, 2014). Nitrogen losses happens in different ways as ammonium volatilization in lime soils (10-70%), denitrification (9-22%) and leaching (14-40%) (13).

Chemical fertilizers are widely used by farmers due to low costs, easy availability and easy applicability. Chemical fertilizers increase the rate of organic matter decomposition in soil, thus increase the amount of greenhouse gasses such as N, CO₂ released in air which aggravate global warming and climate change (2)

This research was aimed to emphasize on optimizing of chemical and organic fertilizer use in winter wheat production in Iran, study the trend of change in different N, P and cattle manure levels and their effects on wheat characteristics and its changes trend also, comparison of the effectiveness of manure by chemical fertilizer related to NUE and yield increase of wheat.

Materials and Methods

By conducting Box-Behnken design, it is possible to obtain the most information from the least operational practices due to distribution of experimental points through treatments confined. The design points were defined based on low and high levels of N (0, 300 kg ha⁻¹), P (0, 200 kg ha⁻¹) and manure (0, 30 tones ha⁻¹) as shown in Table 2. Manure was analyzed for N, P and K content (1.18% of N, 0.29% of P and 1.04% of K). The high and low levels of manure were determined based on nutrient content and local recommendations.

Response of measured variables (y) to experimental factors (X) was estimated by using second order polynomials with interaction (Equation 1):

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i X_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^m \beta_{ii} X_i^2 \quad (1)$$

Where β_0 is constant and β_i , β_{ij} and β_{ii} are coefficients for linear, interaction and quadratic terms, respectively.

After simulation, using statistical methods, the result is a second order polynomial which states the estimated of response (yield) as a function of inputs variables. Finally, after optimizing of resulted function and eliminating of low effect terms, using statistical tests and criteria such as, F test, lack of fit test, coefficient of determination (R^2), a final function to predict yield and other expected variables was calculated (Equation 2):

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_1^2 + a_5 X_2^2 + a_6 X_3^2 + a_7 X_1 X_2 + a_8 X_1 X_3 + a_9 X_2 X_3 \quad (2)$$

In this function, Y is a dependent variable, X is the independent variable of N fertilizer, X₂ is independent variable of P fertilizer, X₃ is independent variable of manure, and a₀ to a₉ are coefficients of function. The equation is functional only in the defined range of input variables and could not predict values out of the range.

The optimized rates of N, P and manure, determined considering 3 scenarios including: economic, environmental and eco-environmental, which seed yield, N loss and NUE and N loss were the main determining factors, respectively.

1, 2, 3, 4, 5- Associate professor, Professor, M.Sc. students, and Ph.D. student of Agroecology respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(* - Corresponding Author Email: jahan@um.ac.ir)

To obtain optimized levels, response-surface methodology was used. Finally, the fitted values compared to observed values then validity of regression models evaluated by *RMSE* test (Equation 3) and 1:1 regression line.

$$(\%) RMSE = \frac{100}{\bar{O}} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (3)$$

Results and Discussion

Optimization of nitrogen, phosphorus and manure fertilization were done according to 3 scenarios of economic, environmental and eco-environmental. In economic scenario, wheat seed yield was considered as the main determining factor of optimized resource, thus the result showed by applying of 145.45 kg ha⁻¹ N, 200 kg ha⁻¹ P and 18.48 tones ha⁻¹ manure, it would be attained the seed yield of 6500 kg ha⁻¹ and dry matter yield of 13130 kg ha⁻¹. In eco-environmental scenario, the determining factor for optimizing resource was considered as nitrogen losses. The main objective of this scenario was reduction of environmental hazards resulted from the high rates of using of N, P and possibly manure, so, the economic yield had less importance. According to this scenario N application by 21.21 kg ha⁻¹ with no use of P, plus 16.36 tones ha⁻¹ of manure, minimize N losses (0 kg ha⁻¹). Considering the optimized amount of used resource in this scenario, seed yield, dry matter yield and NUE were estimated of 3160 kg ha⁻¹, 11692 kg ha⁻¹ and 9.08 kg DM/kg N, respectively.

Under eco-environmental scenario the main determining factors for optimizing resource, were considered as NUE, N losses and seed yield. As applying of 144.73 and 34.3 kg ha⁻¹ of N and P, respectively, and 30 tones ha⁻¹ of manure, resulted in seed yield of 4031 and dry matter yield of 15311 kg ha⁻¹, respectively, which showed an increase of 36 percent for NUE compared to economic scenario (16.50 vs. 10.49).

Conclusions

The results of this study showed that N and P fertilizers which used for wheat production did not reflect the actual needs of different crops under different agro-climatic areas indeed, as it should be reconsidered. In this experiment, applying of 30 tones ha⁻¹ of manure in eco-environmental scenario caused high availability of N, P and possibly other needed nutrients for plant, finally improved crop productivity. Moreover, trapped and retained nutrients in manure matrix which considered as an ecofriendly and low cost input, which simply preparable locally, improve effectiveness of chemical fertilizer in long term use.

Acknowledgements

Financial support of Ferdowsi University of Mashhad (ratified no. 19800) for conducting this experiment is acknowledged.

Keywords: ANUE, Box-Behnken design, Eco-Environmental scenario, Nitrogen losses, Seed yield



بررسی تأثیر همزیستی با میکوریزا، ورمی کمپوست و اسید هیومیک بر عملکرد اسانس و کلونیزاسیون ریشه گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill)

ایمان اکبری^۱ - احمد غلامی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۳۰

چکیده

به منظور بررسی اثر قارچ میکوریزا، کاربرد ورمی کمپوست و اسید هیومیک بر درصد کلونیزاسیون و عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی رازیانه، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه اجرا شد. ورمی کمپوست در سه سطح شامل: V_1 (عدم مصرف)، V_2 (چهار تن در هکتار) و V_3 (هشت تن در هکتار)، قارچ میکوریزا در دو سطح m_1 (عدم تلقیح) و m_2 (تلقیح قارچ) و اسید هیومیک نیز در دو سطح h_1 (عدم مصرف) و h_2 (مصرف اسید هیومیک) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که اثر اصلی هر سه عامل یعنی ورمی کمپوست، میکوریزا و اسید هیومیک بر عملکرد دانه، عملکرد اسانس و درصد اسانس دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس بیانگر آن بود که اثرات متقابل ورمی کمپوست و میکوریزا بر عملکرد دانه و درصد اسانس دانه معنی‌دار بود. به طوری که مصرف ۸ تن در هکتار و میکوریزا سبب شد تا عملکرد دانه ۴۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یابد. همچنین نتایج نشان داد که اثرات سه جانبه تنها بر روی عملکرد اسانس و درصد اسانس رازیانه تأثیر معنی‌داری داشت. در این بررسی بیشترین مقدار آنتول از ترکیب تیماری کاربرد هشت تن در هکتار ورمی کمپوست همراه با اسید هیومیک و تلقیح میکوریزا به دست آمد. همچنین با افزایش در مقدار آنتول مقادیر استراگول، فنکون و لیمونن در اسانس دانه کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: آنتول، کود آلی، کود زیستی، میکوریزای آرباسکولار

مقدمه

به کار می‌روند (۲۶). تأکید کشاورزی پایدار بر افزایش کیفیت و پایداری عملکرد محصولات می‌باشد. مطالعات انجام شده بر روی گیاهان دارویی مبین آن است که استفاده از نظام کشاورزی پایدار بهترین شرایط را برای تولید این گیاهان فراهم آورده و حداکثر عملکرد کمی و کیفی در چنین شرایطی حاصل می‌شود. بنابراین رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی به سمت به کارگیری این نظام‌ها می‌باشد. از این رو استفاده از یک نظام مبتنی بر کاربرد کودهای آلی و زیستی به منظور بهبود عملکرد دانه در جهت افزایش عملکرد کیفی از اهمیت به سزایی برخوردار است. از بین کودهای زیستی و آلی می‌توان قارچ‌های میکوریزای آرباسکولار، ورمی کمپوست و اسید هیومیک را نام برد که با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه در مصرف نهاده‌های شیمیایی به منظور افزایش کمیت، کیفیت و پایداری عملکرد محصول مورد استفاده قرار می‌گیرند (۸ و ۳۳). قارچ‌های میکوریزا یکی از ریز موجودات همزیست با ریشه گیاهان هستند که دارای کارکرد چند منظوره در بوم نظام‌های زراعی بوده و به طور بالقوه سبب بهبود کیفیت فیزیکی (از طریق گسترش میسلوم‌های قارچ) شیمیایی (از طریق افزایش جذب عناصر غذایی) و

زیان‌های اقتصادی و زیست محیطی ناشی از استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در کشاورزی در سطح جهانی شناخته شده و بدیهی است که باید جایگزین مناسبی برای این نوع کودها در نظر گرفته شود (۱). هدف اصلی کشاورزی پایدار که به وجود آمدن آن برای حیات انسانی یک ضرورت است، کاهش نهاده‌های مصرفی، افزایش چرخه داخلی عناصر غذایی خاک از طریق کاهش عملیات خاکورزی و استفاده از کودهای زیستی و آلی به جای کودهای شیمیایی در جهت افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و تولید غذای بیشتر است (۲۰). کودهای زیستی حاوی مواد نگهدارنده‌ای با جمعیت متراکم یک یا چند ارگانیسم مفید خاکزی و یا به صورت فرآورده متابولیک این موجودات می‌باشند که به منظور بهبود حاصلخیزی خاک و عرضه مناسب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در یک نظام کشاورزی پایدار

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- دانشیار زراعت، دانشگاه صنعتی شاهرود

(Email: ahgholami@yahoo.com)

*- نویسنده مسئول:

عملکرد اسانس در گیاه گشنیز گردید (۱۸). عزیزی و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی تأثیر سطوح مختلف ورمی کمپوست (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی) و آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیک و میزان اسانس بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) اظهار داشتند که افزایش مصرف ورمی کمپوست باعث بهبود معنی‌دار ارتفاع بوته، عملکرد گل، طول نهج و قطر نهج گردید (۶). درزی و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی کاربرد مقادیر ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی فسفات (کود فسفات زیستی مورد تأیید مؤسسه تحقیقات خاک و آب حاوی سنگ فسفات معدنی و یک گونه از باکتری‌های حل‌کننده فسفات به نام *Pseudomonas striata* بود که در هر گرم از آن در حدود 10^5 باکتری فعال وجود داشت) به همراه ورمی کمپوست (۱۰ تن در هکتار) بیشترین ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته، میزان اسانس دانه، عملکرد اسانس و درصد همزیستی ریشه را در گیاه رازیانه گزارش نمودند (۷). آستارایی (۲۰۰۶) در بررسی تأثیر کمپوست زباله شهری و ورمی کمپوست بر عملکرد و اجزای عملکرد اسفرزه (*Pimpinella anisum* L.) به این نتیجه رسید که کاربرد ۲۰ درصد ورمی کمپوست و ۸۰ درصد خاک در مقایسه با شاهد باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد و وزن دانه و وزن هزار دانه شد (۴). بررسی درزی و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که ورمی کمپوست از طریق تأثیر بر اجزاء عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی انیسون موجب بهبود عملکرد دانه و همچنین درصد اسانس و عملکرد اسانس شد (۹). استفاده از ورمی کمپوست به میزان پنج و ده تن در هکتار در کشت گیاه دارویی مرزه (*Plantago psyllum* L.) سبب شد تا ارتفاع بوته و درصد برگ در این گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یابد (۲۳).

نتایج مطالعات نشان داده است که اسید هیومیک می‌تواند به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد برای تنظیم سطح هورمون‌ها، بهبود رشد گیاهان و افزایش تحمل به تنش مورد استفاده قرار گیرد (۲۹). در شرایط تنش خشکی محلول‌پاشی اسید هیومیک باعث افزایش نگهداری آب برگ و میزان فتوسنتز شده و متابولیسم آنتی اکسیدانی را کاهش می‌دهد (۱۱). به‌علاوه مواد هیومیکی افزوده شده به خاک باعث بروز اثرات سودمند در ساختار خاک و جمعیت میکروبی آن می‌شود. در شرایط خشکی محلول‌پاشی گندم با اسید هیومیک و تغذیه با نیتروژن باعث پر شدن دانه‌ها می‌شود (۳۴). اسید هیومیک به‌عنوان یک اسید آلی حاصل از هوموس از طریق اثرات هورمونی و بهبود جذب عناصر غذایی سبب افزایش بیوماس ریشه و اندام هوایی می‌شود (۲۴). قربانی و همکاران (۲۰۱۰) به منظور بررسی کاربرد اسید هیومیک در آب آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) آزمایشی شامل سطوح مختلف اسید هیومیک

زیستی خاک (از طریق شبکه غذایی خاک) می‌شوند. این قارچ‌ها از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مثل فسفر و برخی عناصر کم مصرف، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا، سبب بهبود کمیت و کیفیت گیاهان می‌زبان می‌شوند (۳۱).

رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill) در بین گیاهان دارویی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. به‌طوری‌که از اسانس حاصل از دانه آن در صنایع مختلف داروسازی، غذایی، آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شود. آنتول مهمترین ترکیب تشکیل‌دهنده اسانس دانه رازیانه می‌باشد (۷). در رابطه با نقش کودهای زیستی بر کمیت و کیفیت اسانس رازیانه کاپور و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که همزیستی ریشه رازیانه با دو گونه از قارچ‌های میکوریزای وزیکولار آرباسکولار به‌طور معنی‌داری موجب بهبود میزان اسانس و کیفیت آن شد، به نحوی که میزان ماده ارزشمند آنتول در اسانس این گیاه در مقایسه با شاهد افزایش یافت ولی میزان فنکون و لیمون آن کاهش پیدا کرد (۱۵). در پژوهش دیگری، مشخص شد که تلقیح گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) با دو گونه قارچ میکوریزا سبب افزایش بارز کمیت و کیفیت اسانس شد به نحوی که اجزاء مهمی چون ژرانیول و لینالول در ترکیب اسانس به‌طور چشمگیری افزایش اما میزان آنتول و بتا لمن موجود در اسانس در مقایسه با شاهد کاهش یافت (۱۵). در تحقیق فریتاس و همکاران (۲۰۰۴) بر روی گیاه دارویی نعناع (*Mentha longifolia* L.) روشن شد که کاربرد گونه‌های قارچ میکوریزای آرباسکولار *Glomus clarum*, *Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarita*, *Acaulospora scrobiculata* موجب بهبود مقدار اسانس و میزان منتول نسبت به شاهد شد (۱۰). در بررسی مشابهی که بر روی دو گیاه دارویی شوید (*Anethum graveolens* L.) و زیره (*Cuminum cyminum* L.) انجام گرفت، ملاحظه شد که کاربرد دو گونه قارچ میکوریزای آرباسکولار *Glomus fasciculatum* و *Glomus macrocapum* به‌طور قابل توجهی کمیت و کیفیت اسانس دانه را در مقایسه با کنترل بهبود بخشید، به نحوی که این افزایش در شوید اختصاص به مقادیر اسانس لیمون و کارون و در زیره (*Cuminum cyminum* L.) متعلق به مقدار اسانس تیمول داشت، در این بررسی میزان دیل آپپول در اسانس شوید و میزان پاراسیمین در اسانس زیره نسبت به شاهد کاهش یافت (۱۶). در دو مطالعه که گوپتا و همکاران (۲۰۰۲) روی گیاه دارویی نعناع، خواساد و همکاران (۲۰۰۶) بر روی گیاه مرزنجوش (*Origanum vulgare* L.) انجام دادند، مشخص شد که کاربرد قارچ میکوریزای آرباسکولار سبب افزایش چشمگیر میزان اسانس در مقایسه با شاهد شد (۱۴ و ۱۹). نتایج تحقیقی بر روی گیاه گشنیز نشان داد که قارچ میکوریزا، سبب افزایش درصد اسانس و نهایتاً

(صفر، ۵۰۰، ۱۵۰۰، ۲۵۰۰، ۳۵۰۰ و ۴۵۰۰ گرم در هکتار) را به اجرا درآوردند. نتایج آنها نشان داد که اسید هیومیک بر شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در ردیف و طول بلال تأثیر معنی‌داری داشت. تیمارهای ۳۵۰۰ و ۴۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک، به دلیل شاخص و دوام سطح برگ بالاتر، عملکرد دانه بالاتری را به‌خود اختصاص دادند. آنها نتیجه‌گیری کردند که اسید هیومیک از طریق افزایش دوام بافت‌های فتوسنتزی موجب بهبود عملکرد دانه شد (۱۲) در تحقیق یلدرم (۲۰۰۷) محلول‌پاشی اسید هیومیک به مقدار صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌لیتر بر روی گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) نتایج نشان داد که اسید هیومیک باعث افزایش مقدار اسید اسکوربیک در میوه‌های گوجه‌فرنگی شد. بیشترین میزان افزایش عملکرد میوه، تعداد میوه و اسید اسکوربیک مربوط به مصرف ۲۰ میلی‌لیتر اسید هیومیک بود (۳۵). هدف از اجرای این تحقیق بررسی نحوه تأثیر متقابل کود آلی ورمی‌کمپوست و هیومیک اسید و کودزیستی میکوریزا بر خصوصیات رشد و کمیت و کیفیت اسانس در گیاه دارویی آویشن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این طرح به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ اجرا شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ آورده شده است. در این آزمایش ورمی‌کمپوست در سه سطح شامل: ۷۱ (عدم مصرف)، ۷۲ (چهار تن در هکتار) و ۷۳ (هشت تن در هکتار)، قارچ میکوریزا (*Glomus intraradices*) در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح) و اسید هیومیک نیز در دو سطح (مصرف و عدم مصرف) در نظر گرفته شد. ورمی‌کمپوست در شیارهای ایجاد شده در حاشیه خطوط قرار گرفت. ورمی‌کمپوست مورد استفاده از کود گاوی تهیه شده و خصوصیات آن در جدول ۲ نشان داده شده است. هر کرت آزمایشی دارای پنج ردیف کاشت با فاصله ۵۰ سانتی‌متر و به طول پنج متر در نظر گرفته شد برای مایه تلقیح قارچ از گونه *Glomus intraradices* استفاده گردید. مایه تلقیح شامل خاک، بقایای ریشه‌ی گیاه شبدر و اندام‌های قارچی بود که از شرکت زیست فناور توران تهیه شد. استفاده از مایه تلقیح بدین صورت انجام شد که قبل از کاشت در کرت‌های مربوط به تیمار قارچی مقدار ۱۰ گرم مایه تلقیح در عمق سه سانتی‌متر در زیر بذر قرار داده شد. هر گرم از این ماده تلقیح حاوی ۲۰ عدد اسپور بود. اسید هیومیک در سه مرحله رویشی (۳۰ روز پس از سبز شدن)، زایشی (شروع گلدهی) و مرحله خمیری شدن دانه‌ها طبق مقدار توصیه شده

(۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در دستورالعمل نحوه استفاده از این کود محلول‌پاشی برگی شد. اسید هیومیک مورد استفاده با نام تجاری هومی استار دارای ۶۶ درصد اسید هیومیک و ۱۵ درصد فولویک اسید بود. آبیاری هر هفت روز یکبار انجام شد. در انتهای فصل و پس از رسیدگی ۵۰ درصد بوته‌ها، با حذف ردیف‌های حاشیه اقدام به نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات شد. به‌منظور تعیین مقدار اسانس در دانه، از هر کرت آزمایشی یک نمونه ۵۰ گرمی تهیه و بعد از آسیاب نمودن به مدت سه ساعت با استفاده از روش تقطیر با آب به‌وسیله دستگاه کلونجر اسانس‌گیری به‌عمل آمد. بازده اسانس، نیز پس از رطوبت زدایی آب توسط سولفات سدیم محاسبه شد (۱۵). جهت تعیین درصد دقیق ترکیبات موجود در اسانس نظیر آنتول، فنکون، لیمون و استراگول از دستگاه کروماتوگراف گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (Agilent Technologies 5975 - GC/MS) مجهز به ستون HP5-MS به طول ۳۰ متر، قطر ۰/۲۵ میلی‌متر، ضخامت لایه فاز ساکن در آن ۰/۲۵ میکرومتر و گاز حامل هلیوم استفاده شد. طیف‌های به‌دست آمده از طریق مقایسه با طیف‌های جرمی ترکیب‌های استاندارد شناسایی شده و سپس با استفاده از محاسبه شاخص بازداري^۱ (RI) و با تزریق هیدروکربن‌های نرمال مورد تأیید قرار گرفتند. درصد هریک نیز با توجه به سطح زیر منحنی آن در طیف کروماتوگرام حاصل با استفاده از روش Area Normalization به‌دست آمد (۲۸). درصد ترکیبات موجود در اسانس فقط در یک نمونه مرکب حاصل از سه تکرار برای هر تیمار تعیین شد. برای تعیین درصد همزیستی میکوریزایی، ابتدا لایه سطحی خاک کنار زده شده و سپس از ریشه گیاه به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری شد. سپس ریشه‌ها پس از شستشوی کامل با آب جهت رنگبری به محلول KOH ده درصد منتقل و به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس ریشه‌ها شسته شده و جهت خنثی کردن محیط قلیایی به مدت دو دقیقه در محلول HCl یک دهم مولار قرار داده شدند. سپس ریشه‌ها در محلول رنگ‌آمیزی تریپان بلو به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. بعد از رنگ‌آمیزی، نمونه‌ها در محلول ۱:۱ گلیسرین و اسید لاکتیک نگهداری شدند. برای مشاهده و بررسی درصد آلودگی، از روش خطوط متقاطع^۲ استفاده شد (۱۳). در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش و رسم شکل‌های مربوط به آنها توسط نرم افزارهای MSTAT-C و Excel صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام پذیرفت.

1- Retation index

2- Gridline Intersect Method

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- Some soil physical and chemical properties

عمق Depth cm	ازت N %	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)	pH	رس Clay %	لای Silt %	شن Sand %	EC (dS m ⁻¹)	کربن آلی Organic C %
0-30	0.054	13.7	147	7.4	14	42	44	11.6	0.71

جدول ۲- خصوصیات نمونه ورمی کمپوست مورد استفاده

Table 2- Properties of vermicompost used in this exp.

O.C (%)	EC (dS m ⁻¹)	Cl ⁻ meq l ⁻¹	O.M (%)	pH	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	N _t (%)	C/N (%)
32.7	2.1	15.5	65	6.8	3.19	0.61	2.52	7.66

نتایج و بحث

عملکرد دانه: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)

اثرات اصلی ورمی کمپوست، تلقیح میکوریزایی و اسید هیومیک در سطح یک درصد و اثر متقابل ورمی کمپوست و میکوریزا در سطح ۵ درصد بر عملکرد دانه معنی دار گردید. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد دانه در تیمار تلقیح میکوریزا (۱۱۹۹/۳۷) کیلوگرم در هکتار) نسبت به شاهد (۱۱۰۴/۵۸) کیلوگرم در هکتار) افزایش ۸/۵ درصدی داشت (جدول ۴). همچنین بین سطوح مختلف ورمی کمپوست از نظر تأثیر بر عملکرد دانه نیز تفاوت قابل ملاحظه‌ای وجود داشت. به‌طوری‌که عملکرد دانه با کاربرد هشت تن ورمی کمپوست (۱۳۱۵) کیلوگرم در هکتار) نسبت به مصرف چهار تن ورمی کمپوست (۱۱۲۵) کیلوگرم در هکتار) و شاهد (۱۰۱۶) کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب ۱۷ و ۲۹/۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). در خصوص اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک بر عملکرد دانه، جدول مقایسه میانگین نشان داد که عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک (۱۲۴۷/۶) کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با تیمار شاهد (۱۰۵۶/۶) کیلوگرم در هکتار) به میزان ۱۸ درصد افزایش یافت (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل ورمی کمپوست و میکوریزا بر روی عملکرد دانه نشان داد که تیمار تلقیح میکوریزا و مصرف هشت تن ورمی کمپوست (۱۳۴۹) کیلوگرم در هکتار) نسبت به شاهد (۹۲۴) کیلوگرم در هکتار) افزایش ۴۵ درصدی را نشان داد (شکل ۱). افزایش عملکرد دانه در تیمار تلقیح میکوریزا می‌تواند ناشی از تأثیر این قارچ‌ها باشد. قارچ‌های میکوریزا از طریق بهبود جذب عناصر غذایی خصوصاً عناصر غیر متحرک سبب افزایش رشد گیاه شده و نهایتاً عملکرد و اجزای عملکرد را افزایش می‌دهند. نتایج تحقیقات کاپور و همکاران (۲۰۰۴) بیانگر این مطلب بود که تلقیح با میکوریزا با *Glomus fasciculatum* و *Glomus macrocarpum* سبب بهبود عملکرد رازیانه نسبت به شاهد شد (۱۵). ورمی کمپوست از طریق تأثیر بر قدرت جذب و نگهداری رطوبت و عناصر غذایی مانند

نیتروژن، فسفر و پتاس بر اجزای عملکرد رازیانه تأثیر گذاشته و موجب بهبود عملکرد دانه گردیده است. در مطالعه عزیزی و همکاران (۲۰۰۸) با موضوع بررسی تأثیر مقادیر متفاوت ورمی کمپوست بر شاخص‌های رشد ریحان (*Ocimum basilicum* L.) اصلاح شده مشخص شد که سطوح مختلف ورمی کمپوست (صفر، ۱۰، ۵ و ۱۵ درصد وزنی) تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، زود گلدهی، عملکرد گل، طول نهنج و قطر نهنج ریحان داشتند، به‌طوری‌که در تیمار ۲۵ درصد ورمی کمپوست بالاترین میزان بذر به‌دست آمد که نسبت به شاهد و سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (۵). قربانی و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که کاربرد اسید هیومیک از طریق افزایش دوام بافت‌های فتوسنتزی موجب بهبود عملکرد دانه ذرت شد. آنها اظهار داشتند که مقادیر ۳۵۰۰ و ۴۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک، به دلیل شاخص و دوام سطح برگ بالاتر، عملکرد دانه بالاتری را به‌خود اختصاص دادند. همچنین بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک ذرت نیز به‌ترتیب در تیمارهای ۴۵۰۰ گرم در هکتار و شاهد حاصل شد (۱۲). نتایج مصرف مقادیر صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک بر دو رقم گندم پاییزه سایونز و سیلان نشان داد که اسید هیومیک به‌طور معنی‌داری نسبت ریشه به برگ و همین‌طور کلروفیل برگ را افزایش داد (۲۴). اسید هیومیک از طریق اثرات مثبت فیزیولوژیکی از جمله اثر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی باعث افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (۲۲).

درصد اسانس: با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر هر سه فاکتور اصلی تلقیح میکوریزا، ورمی کمپوست و اسید هیومیک و اثر متقابل میکوریزا و ورمی کمپوست و نیز اثر متقابل سه جانبه بر درصد اسانس دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین درصد اسانس دانه در تیمارهای مختلف نشان داد که تیمار تلقیح میکوریزا (۲/۶۷ درصد) نسبت به شاهد (۲/۳۵ درصد) افزایش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس کمیت و کیفیت رازیانه تحت تأثیر ورمی کمپوست (V)، میکوریزا (M) و اسید هیومیک (H)

Table 2- Analysis of variance of quantitative and qualitative of *Foeniculum vulgare* as affected by vermicompost, mycorrhiza and humic acid

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	درصد کلونیزاسیون Colonization %	درصد اسانس Essence %	عملکرد اسانس Essence yield	عملکرد دانه Seed yield
بلوک Blok	2	32.2	0.009	3.919	6278.26
ورمی کمپوست (V) Vermicompost	2	159.68**	1.48**	603.9**	274591.82**
میکوریزا (M) Mycorrhiza	1	5400.53**	0.92**	251.91**	80863.36**
میکوریزا×ورمی کمپوست (V×M) Vermicompost× Mycorrhiza	2	2.93	0.129**	1.47	18268.85*
اسید هیومیک (H) Humic acid	1	7.94	0.269**	306.77**	326191.15**
ورمی کمپوست× اسید هیومیک (V×H) Vermicompost× Humic acid	2	14.47	0.024	2.95	10389.4
میکوریزا×اسید هیومیک (M×H) Mycorrhiza × Humic acid	1	40.61	0.00	16.71	16977.62
اسید هیومیک×میکوریزا×ورمی کمپوست (V×M×H) Vermi. × Humic. × Mycorrhiza	2	11.41	0.071**	30.63**	12784.02
خطا Error	22	16.18	0.044	5.12	4509.62
ضریب تغییرات c.v. درصد %		11.45	3.67	7.8	5.83

** و * به ترتیب بیانگر اختلاف معنی دار در سطح پنج و یک درصد می باشد

* , ** significant difference at 5 and 1 percent, respectively.

جدول ۳- اثرات ساده ورمی کمپوست، میکوریزا و اسید هیومیک بر کمیت و کیفیت گیاه رازیانه

Table 3- Effects of vermicompost, mycorrhiza and humic acid on quantity and quality of *Foeniculum vulgare*

تیمار Treatment	درصد کلونیزاسیون Colonization (%)	عملکرد اسانس Essence yield (kg ha ⁻¹)	درصد اسانس Essence (%)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)
عدم تلقیح میکوریزا (m ₁) Control	23.89b	26.38b	2.35ab	1104.58b
تلقیح میکوریزا (m ₂) Mycorrhizal inoculation	47.39a	31.67a	2.67a	1199.37a
عدم مصرف ورمی کمپوست (v ₁) Control	30.94b	22.04c	2.15c	1016.16c
مصرف ۴ تن در هکتار (v ₂) 4 ton ha ⁻¹ vermi.	36.97a	28.82b	2.54b	1225.12b
مصرف ۸ تن در هکتار (v ₃) 8 ton ha ⁻¹ vermi.	37.52a	36.22a	2.83a	1315.12a
عدم محلول پاشی اسید هیومیک (h ₁) Control	22.58	26.11b	2.42b	1056.6b
محلول پاشی اسید هیومیک (h ₂) Humic acid	23.74	31.95a	2.6a	1247.62a

* میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی داری براساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح ۵ درصد نمی باشد.

* Means with the same letter(s) have no significant difference at 5%.

مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهنده‌ی وجود اختلاف معنی‌داری بر روی درصد اسانس دانه بین سطوح مختلف ورمی کمپوست بود. به‌طوری‌که درصد اسانس دانه در کاربرد هشت تن ورمی کمپوست ($2/83$ درصد) در مقایسه با شاهد ($2/15$ درصد) و کاربرد چهار تن ورمی کمپوست ($2/54$ درصد) افزایش معنی‌داری نشان داد. همچنین مقایسات میانگین درصد اسانس دانه تفاوت معنی‌داری را در نتیجه محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی اسید هیومیک نشان دادند به نحوی‌که میزان اسانس دانه در تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک ($2/60$ درصد) نسبت به تیمار شاهد ($2/42$ درصد) افزایش معنی‌داری را نشان داد (شکل ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل دو فاکتور ورمی کمپوست و میکوریزا نیز اختلاف معنی‌داری را نشان داد به‌طوری‌که میزان اسانس در دانه در ترکیب تیماری تلقیح میکوریزا و سطح سوم ورمی کمپوست ($3/09$ درصد) نسبت به ترکیب تیماری عدم مصرف ورمی کمپوست و عدم تلقیح میکوریزا ($2/11$ درصد) افزایش معنی‌داری را نشان داد (شکل ۲). مقایسه میانگین میزان اسانس دانه تحت تأثیر اثر متقابل سه جانبه نیز اختلاف معنی‌داری را نشان داد به نحوی‌که میزان اسانس دانه در ترکیب تیماری تلقیح مایکوریزا و محلول‌پاشی اسید هیومیک و مصرف هشت تن در هکتار ورمی کمپوست ($3/09$ درصد) برتری معنی‌داری را نسبت به تیمار شاهد ($1/99$ درصد) نشان داد (شکل ۳). افزایش مقادیر ورمی کمپوست از طریق فراهمی جذب بیشتر فسفر و نیتروژن که در اجزاء متشکله اسانس گیاه رازیانه است باعث افزایش میزان اسانس شد. نتایج تحقیق درزی و همکاران (2008) مؤید آن است که کاربرد ورمی کمپوست (صفر و ۵ و ۱۰ تن در هکتار) در سطوح مختلف باعث افزایش درصد اسانس در رازیانه شد (۷). همچنین نتایج تحقیقات دیگر نیز حاکی از افزایش میزان اسانس و بهبود کیفیت اسانس ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در اثر کاربرد ورمی کمپوست (صفر، ۱۰، ۵ و ۱۵ درصد وزنی) بوده است (۵). در پژوهشی که با استفاده از مقادیر مختلف ورمی کمپوست بر روی گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L. cv. *Vikas Sudha*) صورت گرفت، انوار و همکاران (2005) در بررسی خود از شش ترکیب کودی شامل کود آلی (کود حیوانی همراه با ورمی کمپوست) و کود شیمیایی (NPK) استفاده کردند. آنها نشان دادند که مصرف ۵ تن ورمی کمپوست همراه با کود شیمیایی NPK ($50.25.25$) برتری محسوسی از نظر میزان اسانس نسبت به شاهد داشت. آنها اظهار داشتند که افزودن ورمی کمپوست به خاک نه تنها فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را افزایش می‌دهد، بلکه با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک ضمن ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه، موجبات افزایش دسترسی به عناصر معدنی و در نهایت بهبود میزان اسانس را نیز فراهم آورده است (۲). در این بررسی مصرف ماده

تلقیح میکوریزایی سبب بهبود میزان اسانس در دانه شد. در این ارتباط می‌توان اظهار داشت که اسانس‌ها ترکیب‌هایی ترپنوئیدی هستند و واحدهای سازنده آنها (ایزوپرنوئیدها) مانند ایزوپنتنیل پیروفسفات^۱ و دی متیل آلیل پیروفسفات^۲ نیاز مبرم به (ATP و NADPH) دارند و با توجه به این موضوع که حضور عناصری نظیر نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیب‌های اخیر ضروری می‌باشد، از این رو همزیستی میکوریزایی از طریق جذب کارآمد فسفر و تا حدودی نیتروژن توسط ریشه رازیانه، موجب افزایش اسانس این گیاه دارویی می‌شود (۲۱). در همین خصوص در مطالعه دیگری که روی گیاه دارویی نعنای انجام گرفت، گوپتا و همکاران (2002) گزارش کردند که تلقیح گیاه نعنای با قارچ میکوریزا به‌طور قابل ملاحظه‌ای میزان اسانس را افزایش داد (۱۴). آن‌ها دریافتند که همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه گیاه نعنای از طریق افزایش جذب آب و عناصر پر مصرف در بهبود میزان اسانس مؤثر بوده است. در همین رابطه در تحقیق انجام شده بر روی گیاه دارویی گشنیز مشاهده شد که همزیستی میکوریزایی سبب افزایش چشمگیر میزان اسانس در دانه می‌شود (۱۷). اسید هیومیک به‌عنوان اسید آلی حاصل از هوموس و سایر منابع طبیعی می‌تواند از طریق اثرات هورمونی، بهبود جذب عناصر غذایی و کلات‌کنندگی عناصر و جلوگیری از آشفته‌ی عناصر و در اختیار گذاشتن این عناصر برای گیاه سبب افزایش میزان اسانس دانه شود. مقادیر بسیار کم از اسیدهای آلی به دلیل وجود ترکیبات هورمونی اثرات مفیدی در افزایش تولید و کیفیت محصولات کشاورزی دارند (۲۷).

عملکرد اسانس: باتوجه به نتایج جدول تجزیه واریانس اثر هر سه فاکتور میکوریزا، ورمی کمپوست و اسید هیومیک و نیز اثر متقابل سه جانبه آنها بر میزان عملکرد اسانس دانه در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بین تلقیح میکوریزایی ($31/67$ کیلوگرم در هکتار) و عدم تلقیح ($26/38$ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری وجود داشت به نحوی‌که عملکرد اسانس در تلقیح میکوریزایی حدود ۲۰ درصد بیشتر از عدم تلقیح بود (جدول ۴). مقایسات میانگین نشان‌دهنده‌ی وجود اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف ورمی کمپوست بر روی عملکرد اسانس دانه بود، به‌طوری‌که عملکرد اسانس در کاربرد ۸ تن در هکتار ورمی کمپوست ($36/22$ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با سطح شاهد ($22/04$ کیلوگرم در هکتار) و کاربرد چهار تن در هکتار ($28/82$ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب افزایش ۶۴ و ۲۵ درصد را نشان داد (جدول ۴). مقایسات میانگین تفاوت قابل ملاحظه‌ای را بین سطح محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی بر روی عملکرد اسانس دانه نشان

1- IPP

2- DMAPP

داد به نحوی که عملکرد اسانس دانه در تیمار محلول پاشی اسید هیومیک (۳۱/۹۵ کیلوگرم در هکتار) نسبت به عدم محلول پاشی (۲۶/۱۱ کیلوگرم در هکتار) ۲۲ درصد بیشتر بود (جدول ۴).

جدول ۴- درصد ترکیبات موجود در اسانس گیاه رازیانه تحت تیمارهای مختلف کودی

Table 4- Essence compounds percent in different fertilizer treatments

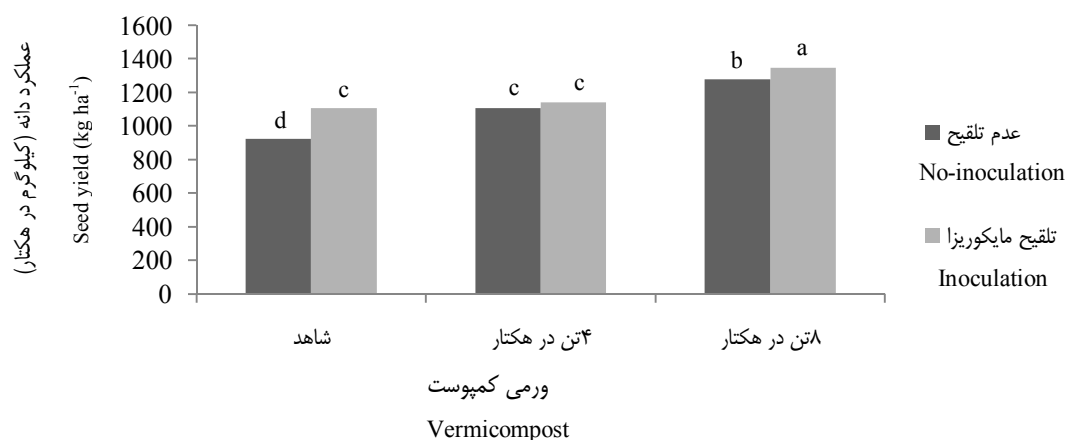
تیمار Treatment	میزان لیمونن اسانس Limonene (%)	میزان فنکون اسانس Fenkon (%)	میزان استراگول اسانس Stragol (%)	میزان آنثول اسانس Anethole (%)	درصد اسانس Essence %
v ₁ m ₁ h ₁	5.52	12.21	6.54	64.24	1.99
v ₁ m ₁ h ₂	4.82	11.12	6.02	65.66	2.22
v ₁ m ₂ h ₁	4.6	10.08	4.52	69.78	2.18
v ₁ m ₂ h ₂	4.43	10.02	4.58	70.22	2.22
v ₂ m ₁ h ₁	5.12	11.21	5.08	67.20	2.30
v ₂ m ₂ h ₂	5.2	11.05	4.59	69.68	2.42
v ₂ m ₁ h ₁	3.02	9.68	3.65	70.20	2.48
v ₂ m ₁ h ₂	3.08	9.65	3.88	73.32	2.97
v ₃ m ₁ h ₁	4.95	11.08	4.78	69.72	2.51
v ₃ m ₁ h ₂	3.55	11.45	3.83	70.22	2.66
v ₃ m ₂ h ₁	3.05	9.08	3.51	74.20	3.08
v ₃ m ₂ h ₂	3.01	8.23	3.22	75.89	3.09

*۱- ورمی کمپوست در ۳ سطح v₁ (صفر تن در هکتار) v₂ (۴ تن در هکتار) و v₃ (۸ تن در هکتار)، میکوریزا در ۲ سطح m₁ (عدم تلقیح میکوریزا) و m₂ (تلقیح میکوریزا) و اسید هیومیک نیز در ۲ سطح h₁ (محلول پاشی اسید هیومیک) و h₂ (عدم محلول پاشی).

vermicompost: v₁ (control), v₂ (4 ton ha⁻¹), v₃ (8 ton ha⁻¹); m₁ (control), m₂ (mycorrhizal fungi); h₁ (control), h₂ (humic acid).

*- هر یک از میانگین‌های جدول از میانگین ۳ تکرار حاصل آمده‌اند.

*Each means derived from results of 3 replication

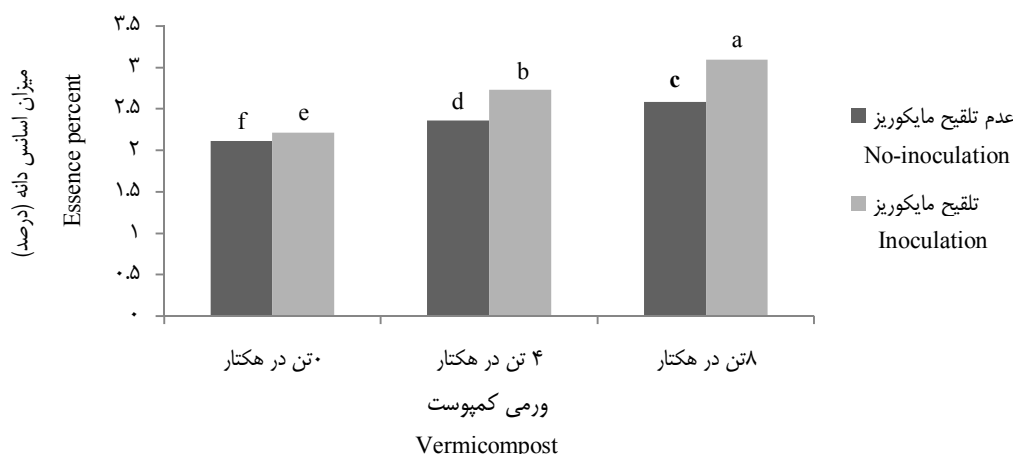


شکل ۱- اثر متقابل ورمی کمپوست در میکوریزا بر عملکرد دانه

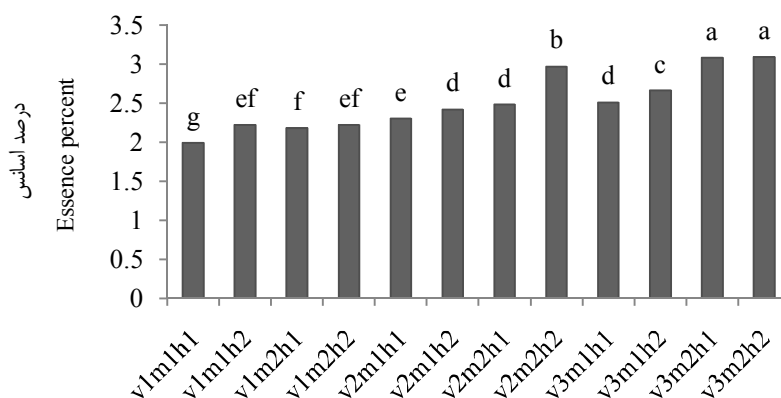
Figure 1- Effects of vermicompost with mycorrhiza interaction on seed yield

معنی‌دار عملکرد گل، درصد اسانس و عملکرد اسانس گیاه دارویی بابونه شد (۲۵). در بررسی که توکلی دینانی (۲۰۰۹) بر روی گیاه شوید انجام داد، کاربرد کودهای زیستی باعث افزایش چشمگیر درصد اسانس، عملکرد بذر و به دنبال آن عملکرد اسانس شد. همچنین بین عملکرد دانه و عملکرد اسانس همبستگی مثبت مشاهده شد که می‌توان آن را در رابطه با اثر مستقیم وزن دانه در بوته با عملکرد نهایی اسانس گیاه دانست (۳۲).

همچنین مقایسات میانگین اثر سه جانبه عوامل مورد بررسی در آزمایش، تفاوت معنی‌داری را بر روی عملکرد اسانس دانه نشان داد. به نحوی که عملکرد اسانس دانه در تیمار کودی شامل کاربرد ۸ تن ورمی کمپوست در هکتار و تلقیح میکوریزا و محلول پاشی اسید هیومیک (۴۰/۰۷ کیلوگرم در هکتار) حدود ۳۶ درصد بیشتر از تیمار کودی کاربرد ۸ تن ورمی کمپوست و عدم تلقیح میکوریزا و عدم محلول پاشی (۲۹/۲۹ کیلوگرم در هکتار) بود (شکل ۴). نتایج صالحی و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که کاربرد ورمی کمپوست باعث افزایش



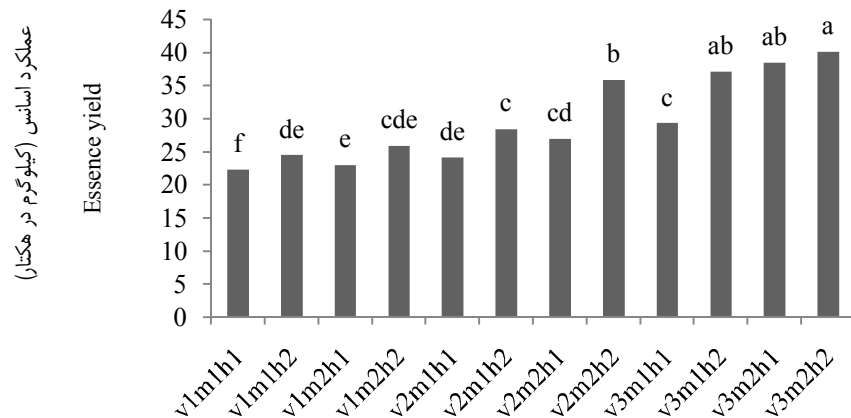
شکل ۲- اثر متقابل ورمی کمپوست در میکوریزا بر میزان اسانس دانه
Figure 2- Effects of vermicompost with mycorrhiza interaction on seed essence percent



شکل ۳- تأثیر سطوح مختلف کودی بر میزان اسانس گیاه دارویی رازیانه (V، M و H به ترتیب ورمی کمپوست v₁ (عدم مصرف)، v₂ (۴ تن در هکتار) و v₃ (۸ تن در هکتار)، میکوریزا m₁ (عدم تلقیح) و m₂ (تلقیح قارچ) و اسید هیومیک h₁ (عدم مصرف) و h₂ (مصرف اسید هیومیک)
Figure 3- Effects of fertilizer treatments on essence percent. V, M, H; vermicompost: v₁ (control), v₂ (4 ton ha⁻¹), v₃ (8 ton ha⁻¹); m₁ (control), m₂ (mycorrhizal fungi); h₁ (control), h₂ (humic acid)

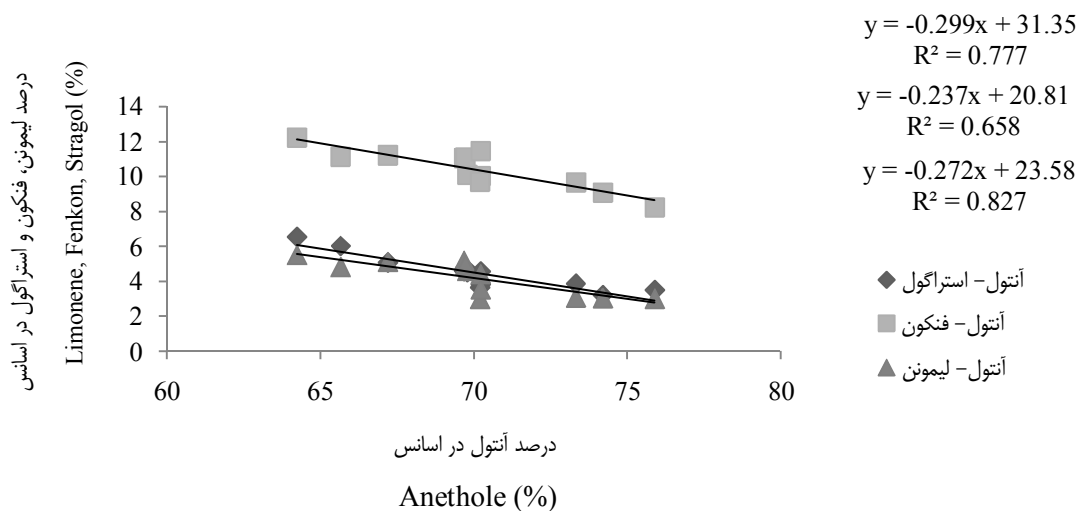
جمعیت این قارچ به طور قابل توجهی در مقایسه با شاهد افزایش یافته و به همین دلیل سبب بهبود درصد همزیستی ریشه در رازیانه شده است. در همین رابطه کاپور و همکاران (۲۰۰۴) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. آنها مشاهده نمودند که درصد همزیستی ریشه رازیانه در تلقیح با دو گونه قارچ میکوریزا *Glomus macrocarpum* و *Glomus fasciculatum* به طرز چشمگیری بیشتر از تیمار عدم تلقیح بود (۱۵). همچنین مقایسات میانگین اثر تیمارها بر روی درصد کلونیزاسیون نشان داد که بین مصرف چهار و هشت تن ورمی کمپوست در هکتار از نظر تأثیر بر درصد کلونیزاسیون تفاوت آماری وجود نداشت. هرچند که بین کاربرد چهار و هشت تن ورمی کمپوست با تیمار شاهد تفاوت معنی داری وجود داشت.

درصد کلونیزاسیون ریشه: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) بیانگر آن است که اثرات اصلی دو فاکتور تلقیح میکوریزا و ورمی کمپوست در سطح احتمال یک درصد بر کلونیزاسیون ریشه معنی دار گردید. مقایسه میانگین نتایج نشان داد که بین تلقیح میکوریزا و عدم تلقیح، از نظر تأثیر بر روی کلونیزاسیون ریشه تفاوت قابل ملاحظه‌ای دیده می‌شود به طوری که درصد همزیستی ریشه در تیمار تلقیح میکوریزا (۴۷/۳۹ درصد) نسبت به شاهد (۲۳/۸۹ درصد) افزایش معنی داری را نشان داد (جدول ۴). افزودن ورمی کمپوست به خاک به عنوان کود آلی با بهبود شرایط فیزیکی خاک محیط مناسبی را برای گسترش و فعالیت ریز موجودات و فرایندهای زیستی خاک فراهم می‌کند (۲). می‌توان استنباط کرد که با تلقیح میکوریزایی،



شکل ۴- تأثیر تیمار مختلف کودی بر عملکرد اسانس (V، M، H به ترتیب ورمی کمپوست v_1 (عدم مصرف)، v_2 (۴ تن در هکتار) و v_3 (۸ تن در هکتار) میکوریزا m_1 (عدم تلقیح) و m_2 (تلقیح قارچ و اسید هیومیک) h_1 (عدم مصرف) و h_2 (مصرف اسید هیومیک) (مصرف اسید هیومیک)

Figure 4- Effects of fertilizer treatments on essence yield. (V, M, H; vermicompost: v_1 (control), v_2 (4 ton ha^{-1}), v_3 (8 ton ha^{-1}); m_1 (control), m_2 (mycorrhizal fungi); h_1 (control), h_2 (humic acid)



شکل ۵- رابطه بین آنتول و دیگر ترکیبات (فنکون، استراگول و لیمونن) موجود در اسانس دانه گیاه رازیانه

Figure 5- Correlation between Anethole and other compounds in seed essence

به طوری که کمترین میزان آنتول در تیمار شاهد (۶۴/۲۴ درصد) و بیشترین میزان آنتول در تیمار کاربرد هشت تن ورمی کمپوست، تلقیح میکوریزا و محلول پاشی اسید هیومیک (۷۵/۸۹ درصد) به دست آمد (جدول ۵). درزی و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که کاربرد کود زیستی فسفات زیستی حاوی سنگ فسفات معدنی و یک گونه از باکتری‌های حل کننده فسفات به نام *Pseudomonas striata* به همراه مقادیر ورمی کمپوست (پنج و ۱۰ تن در هکتار) باعث افزایش کیفیت اسانس و افزایش آنتول گیاه دارویی رازیانه می شود. دلیل آن مهیا شدن شرایط مطلوب غذایی توسط کودهای زیستی بیان

به طوری که درصد همزیستی ریشه در کاربرد هشت تن ورمی کمپوست معادل ۳۷/۵۲ درصد و درصد همزیستی در سطح چهار تن ورمی کمپوست معادل ۳۶/۹۷ درصد بود که نسبت به شاهد به ترتیب ۶/۶ و ۶ درصد افزایش نشان دادند (جدول ۴).

درصد آنتول: نتایج حاصل از کروماتوگراف متصل به طیف سنج جرمی اسانس رازیانه نشان داد که در کلیه تیمارها میزان آنتول موجود در اسانس نسبت به بقیه ترکیبات سهم بیشتری را به خود اختصاص داد (جدول ۵). در این بررسی، درصد آنتول در اسانس در نتیجه اعمال تیمارهای مختلف در مقایسه با شاهد افزایش قابل ملاحظه ای یافت.

ورمی کمپوست و تلقیح میکوریزا و محلول پاشی اسید هیومیک کمترین میزان فنکون (۸/۲۳ درصد) را داشتند (جدول ۵). به نظر می‌رسد که همزیستی میکوریزایی از طریق بهبود میزان آنتول رازیانه، سبب کاهش میزان فنکون در اسانس آن می‌شود (شکل ۵). نتیجه این پژوهش با تحقیقات کاپور و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد (۱۵). نتایج شریفی عاشورآبادی و همکاران (۲۰۰۲) و کاپور و همکاران (۲۰۰۴) مبین آن است که مصرف کودهای زیستی و آلی موجب تقلیل فنکون در اسانس رازیانه می‌گردد (۱۵ و ۳۰). در بین تیمارهای کودی، تیمار شاهد بیشترین میزان لیمون در اسانس (۵/۵۲ درصد) و ترکیب تیماری سطح سوم ورمی کمپوست همراه با تلقیح میکوریزا و محلول پاشی اسید هیومیک کمترین میزان (۳/۰۱ درصد) لیمون را داشتند (جدول ۵). همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود با افزایش میزان آنتول در اسانس، درصد لیمون کاهش می‌یابد (شکل ۵). درزی و همکاران (۲۰۰۸) با مطالعه اثر کودهای زیستی بر ترکیبات اسانس رازیانه گزارش کردند که کاربرد میکوریزا، ورمی کمپوست و تلفیق آنها با افزایش در میزان آنتول باعث کاهش میزان لیمون در اسانس این گیاه می‌شود (۷). تیمارهای کودی به کار رفته در این بررسی با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک، ضمن ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه، فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه رازیانه را افزایش داده و در نهایت سبب افزایش در میزان آنتول در اسانس شدند، که این افزایش در میزان آنتول همزمان سبب کاهش در میزان لیمون شد.

نتیجه‌گیری

انجام این تحقیق به خوبی تأثیر قابل ملاحظه مصرف ورمی کمپوست، تلقیح با قارچ میکوریزا و کاربرد محلول پاشی اسید هیومیک را بر کمیت و کیفیت گیاه رازیانه نشان داد. به‌طوری‌که عملکرد دانه، درصد و عملکرد اسانس، میزان آنتول در اسانس و درصد کلونیزاسیون در گیاه رازیانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر این عوامل قرار گرفت. این عوامل بدون ایجاد صدمات زیست محیطی و با حفظ پایداری محیط و فراهم‌آوری عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، سبب افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی می‌شوند. در چند دهه‌ی اخیر مصرف نهاده‌های شیمیایی در اراضی کشاورزی موجب معضلات زیست محیطی عدیده‌ای از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی، کاهش میزان حاصلخیزی خاک‌ها، مسمومیت انسان، دام و آبزیان، از بین رفتن حشرات مفید و میکروفلور خاک گردیده است. کشاورزی پایدار برپایه مصرف کودهای زیستی با هدف حذف یا تقلیل چشمگیر در مصرف نهاده‌های شیمیایی، یک راه حل مطلوب جهت غلبه بر این مشکلات به‌شمار می‌آید.

شده است (۴). مقدار آنتول بیشتر در اسانس رازیانه، نشان‌دهنده کیفیت مطلوب اسانس این گیاه دارویی است و به نظر می‌رسد که همزیستی میکوریزایی از طریق تأثیر بر جذب عناصر غذایی و بهره‌گیری مطلوب از عوامل رشدی توسط گیاه رازیانه، موجب افزایش میزان آنتول در اسانس شده است. در همین زمینه کاپور و همکاران (۲۰۰۴) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند (۱۵). آنها نشان دادند که همزیستی ریشه گیاه دارویی رازیانه با دو گونه از قارچ‌های میکوریزا *Glomus fasciculatum* و *Glomus macrocarpum* موجب بهبود میزان آنتول در اسانس شد. نتایج پژوهش دیگری (۳) که در آن به ارزیابی اثر قارچ‌های میکوریزا بر روی کیفیت اسانس گیاه دارویی گشنیز پرداخته شده بود، نشان داد که تلقیح میکوریزایی سبب بهبود کیفیت اسانس گردید به نحوی که مقادیر اجزاء مهمی چون ژرانیول و لینالول در ترکیب اسانس نسبت به شاهد به‌طور چشمگیری افزایش یافت. از آنجا که در پژوهش مذکور غلظت فسفر در گیاه افزایش یافته بود. این محققان بهبود کیفیت اسانس را به بهبود جذب فسفر ارتباط دادند (۳). ورمی کمپوست غنی از عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف بوده و در بهبود فرآیندهای حیاتی خاک نقش مؤثری ایفا می‌کند. بنابراین مصرف آن می‌تواند موجب افزایش بیوماس گیاهی و تسریع در گلدهی شود. انوار و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهش خود بر روی ریحان نشان دادند که در صورت مصرف ورمی کمپوست، کیفیت اسانس نسبت به کنترل برتری محسوسی داشت، به‌طوری‌که مقادیر لینالول و متیل کایوکول موجود در اسانس بیشتر بود (۲). نتیجه به‌دست آمده از مقایسه اسانس بین تیمارهای مختلف کود زیستی و شاهد مؤید این است که کاربرد تیمارهای مطلوب کود زیستی، می‌تواند عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف را در مراحل مختلف رشد در اختیار گیاه رازیانه قرار داده و منجر به افزایش کیفیت اسانس یعنی میزان آنتول شود.

درصد استراگول فنکون و لیمون: درصد استراگول در کلیه تیمارهای کودی در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت (جدول ۵). در بین تیمارهای کودی، ترکیب تیماری کاربرد ۸ تن ورمی کمپوست در هکتار همراه با تلقیح میکوریزا و محلول پاشی اسید هیومیک دارای کمترین مقدار استراگول در اسانس (معادل ۳/۲۲ درصد) و تیمار شاهد دارای بیشترین میزان استراگول (معادل ۶/۵۴ درصد) در اسانس بودند (جدول ۵). اسانس‌ها ترکیبات ترپنوئیدی هستند و واحدهای سازنده آنها یعنی ایزوترپنوئیدها نیاز مبرم به ATP و NADPH دارند. با توجه به این که عناصری مانند نیتروژن برای تشکیل ترکیبات اخیر لازم است، در نتیجه می‌توان گفت که تیمارهای کودی مورد آزمایش با بهبود میزان این ترکیبات نسبت به شاهد باعث بهبود میزان آنتول اسانس شدند (۷)، از سوی دیگر افزایش در میزان این ترکیب باعث کاهش در ترکیبات دیگر از قبیل استراگول شد. در بین تیمارهای کودی تیمار شاهد بیشترین درصد (۱۲/۲۱) و تیمار کاربرد ۸ تن

References

1. Abbott, L. K., and Murphy, D. V. 2007. Soil Biology Fertility: A key to sustainable land use in agriculture. Springer. pp 268.
2. Anwar, M., Patra, D. D., Chand, S., Alpesh, K., Naqvi, A. A., and Khanuja, S. P. S. 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. Communications in Soil Science and Plant Analysis 36: 1737-1746.
3. Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C., and Metzger, J. D. 2004. Influence of vermicomposts on field strawberries: effect on growth and yields. Bioresource Tech. 93: 145-153.
4. Astaraei, A. 2006. Effects of Municipal solid waste compost and vermicompost on yield and yield components of *Pimpinella anisum* L. Scientific and Research Journal of Iranian Medicinal and Aromatic Plants 22 (3): 180-187. (in Persian with English abstract).
5. Azizi, M., Lakzian, A., and Baghani, M. 2004. Study the effects of various amounts of vermicompost on growth characters and essence yield of *Ocimum basilicum* L. Proceeding of 2nd congress of medicinal plants. Shahed University. (in Persian with English abstract).
6. Azizi, M., Rezvani, F., Hasan zadeh, M., Lakzian, A., and Nemati, H. 2008. Effects of various vermicompost and irrigation levels on morphological and essence yield of *Matricaria recutita* L. Iranian Medicinal and Aromatic Plant Research 24 (1): 82-93. (in Persian with English abstract).
7. Darzi, M. T., Ghalavand, A., and Rajali, F. 2008. Study the effects of mycorrhiza, vermicompost and biophosphate on flowering, biological yield and colonization of *Foeniculum vulgar* MiLL. Journal of Iranian Crop Science 10 (1): 88-109. (in Persian with English abstract).
8. Darzi, M. T., Ghalavand, A., Rajali, F., and Sefidkan, F. 2006. Study the effects of biofertilizers on yield and yield components of *Foeniculum vulgar* MiLL. Scientific and Research Journal of Iranian Medicinal and Aromatic Plants 22 (4): 276-292. (in Persian with English abstract).
9. Darzi, M. T., Rajali, F., and Haj seid javadi, M. H. 2009. The effects of biofertilizers on quantity and quality of *Pimpinella anisum* L. National Conference on the development of iranian medicinal plants. Tehran, Iran. (in Persian with English abstract).
10. Freitas, M. S. M., Martins, M. A., and Vieiral, J. C. 2004. Yield and quality of essential oils of *Mentha arvensis* in response to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 9: 887-894.
11. Fujiu, C., Dao, Y., and Quing Sheng, W. 1995. Physiological effects of humic acid on drought resistance of wheat (in Chinese). Yingyong Shengtai Xuebao 6: 363-367.
12. Ghorbani, S., Khazaei, H. R., Kafi, M., and Banayan aval, M. 2010. Effects of humic acid on yield and yield components of maize. Journal of Agroecology 2 (1): 111-118. (in Persian with English abstract).
13. Giovannetti, M., and Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytologist 84: 489-500.
14. Gupta, M. L., Prasad, A., Ram, M., and Kumar, S. 2002. Effect of the vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. Bioresource Technology 81: 77-79.
15. Kapoor, R., Giri, B., and Mukerji, K. G. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgar* on mycorrhizal inoculation supplemented with P fertilizer. Bioresource Technology 93: 307-311.
16. Kapoor, R., Giri, B., and Mukerji, K. G. 2002. *Glomus macrocarpum*: a potential bioinoculant to improve essential oil quality and concentration in dill (*Anethum graveolens* L.) and carum (*Trachyspermum ammi*). World Journal of Microbiology and Biotechnology 18 (5): 459-463.
17. Kapoor, R., Giri, B., and Mukerji, K. G. 2002. Mycorrhization of coriander (*Coriandrum sativum*) to enhance the concentration and quality of essential oil. Journal of the Science of Food and Agriculture 82 (4): 339-342.
18. Kapoor, R., Giri, B., and Mukerji, G. 2001. Mycorrhization of coriander (*Coriandrum sativum* L) to enhance the concentration and quality of essential oil. Journal of the Science of Food and Agriculture 82: 339-342.
19. Khaosaad, T., Vierheilig, H., Nell, M., Zitterl-Eglseer, K., and Novak, J. 2006. Arbuscular mycorrhiza alters the concentration of essential oils in oregano (*Origanum* sp., *Lamiaceae*). Mycorrhiza 16: 443-446.
20. Koocheki, A., Jahan, M., and Nassiri Mahallati, M. 2008. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and free-living nitrogen-fixing bacteria on growth characteristic of corn (*Zea mays* L.) under organic and conventional cropping systems. 2nd conference of the international society of organic agriculture research (ISO FAR). Modena. Italia.
21. Loomis, W. D., and Croteau, R. 1972. Essential oil biosynthesis. Recently Advance Phytochem. 6: 147-185.
22. Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., and Vianello, A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. Soil Biology and Biochemistry 34: 1527-1536.
23. Rezvani Moghaddam, P., Bakhshaei, S., Ghaffori, A., and Khorramdel, S. 2009. Effects of biofertilizers and vermicompost on quantitative traits of *Plantago psyllum* L. National Conference on the development of iranian

- medicinal plants. Tehran, Iran. (in Persian with English abstract).
24. Sabzevari, M. 2009. Effects of humic acid on root and shoot growth of wheat. (var. Sabalan and Sauonz). Journal of Water and Soil 23 (2):87-94. (in Persian with English abstract).
25. Salehi, A., Ghalavand, A., Sefidkan, F., and Asgharzadeh, A. 2010. Effects of organic and biofertilizers on flower and essence yield of *Matricaria recutita* L. 11th iranaian congress of agronomy and crop breeding. Tehran. Iran. (in Persian with English abstract).
26. Salehrastin, N. 2001. Biofertilizers and their roles on sustainable agriculture. Proceeding of The need for industrial production biofertilizers on iran congress. Research, Education and agricultural extension press. (in Persian with English abstract).
27. Samavat, S., and Malakooti, M. 2006. Important use of organic acid (humic and fulvic) for increase quantity and quality agriculture productions. Water and Soil Researchers Technical 463: 1-13.
28. Sefidkan, F. 2001. Evaluation of quantity and quality of *Foeniculum vulgar* MiLL. Essence at different growing stage. Iranian Medicinal and aromatic plant research 7: 85-104. (in Persian with English abstract).
29. Serenella, N., Pizzeghello, D., Muscolob, A., and Vianello, A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. Soil Biology & Biochemistry 34: 1527-1536.
30. Sharifi Ashorabadi, A., Amin, Gh. R., Mirza, M., and Rezvani, M. 2002. Effects of crop nutritional system (chemical, organic and integrated) on quality of *Foeniculum vulgar* MiLL. Research and Constructive 57 and 56: 78-87. (in Persian with English abstract).
31. Sharma, A. K. 2002. Biofertilizers for sustainable agriculture. Agro-bios. India.
32. Tavakolli Dinani, A. 2009. Evaluation of soil phosphate biofertilizers on quantity and quality of two varieties of *Anethum graveolens* L. MSc. Thesis. Islamic azad university of Rodehen. Tehran. (in Persian with English abstract).
33. Turkmen, O., Dursun, A., Turan, M., and Eric, C. 2004. Calcium and humic acid affect seed germination, growth, and nutrient content of tomato. Acta Agriculture Scandinavia. Soil and plant science 54: 168-174.
34. Yang, W. Z., and Shao, M. A. 2000. Soil Water of the Loess Plateau. Science Press, Beijing, China.
35. Yildirim, E. 2007. Foliar and soil fertilization of humic acid effect productivity and quality of tomato. Acta Agriculture Scandinavica, B. soil and plant sci. 57 (2): 182-186.

Evaluation of Mycorrhizal Fungi, Vermicompost and Humic Acid on Essence Yield and Root Colonization of Fennel

I. Akbari¹ - A. Gholami^{2*}

Received: 22-12-2014

Accepted: 19-04-2015

Introduction

The main objective of sustainable agriculture is to decrease the off-farm inputs such as chemical fertilizers, increased farm nutrient cycle through reduced tillage and the use of biological and organic fertilizers. Studies on medicinal plants indicates that the use of sustainable farming systems provide the best conditions for the production of these plants. Mycorrhizal fungi, vermicompost and humic acid are samples of biological and organic fertilizer that can be used, to eliminate or substantially reduce the use of chemical inputs in order to increase the quantity, quality and stability of the products. Mycorrhizal fungi are one of the most important rhizosphere microorganisms which have symbiotic relation with root of most crops. Mycorrhizal symbiosis improves the soil physical (through expansion of hyphae of fungus), chemical (through increased absorption of nutrients) and biological (the soil food web) quality. These fungus increased nutrient uptake, such as phosphorus and some micronutrients, water uptake, reducing the negative effects of environmental stress and increase resistance to pathogens and improve the quality of their host plants. Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) is one of the most important medicinal plants, as the essential oil from the seeds used in a variety of industries, pharmaceutical, food and cosmetic use. Anethole is important component of the essential oil of fennel seed.

Materials and Methods

This experiment was conducted as a factorial based on randomized complete block design in order to evaluate the effects of vermicompost application, humic acid and mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative aspects of fennel yield at experimental farm of Shahrood University during growing season of 1391-92. This experiment includes 12 treatments and 3 applications. Vermicompost levels include: v1 (no application) v2 (4 ton ha⁻¹) v3 (8 ton ha⁻¹). Mycorrhizal fungi include: m1 (no inoculation) and m2 (inoculation) and humic acid include: h1(no application) and h2 (application). Each plot had 5 rows with row spacing of 50 cm and row length of 5 m was considered. Ten grams mycorrhizal fungi were added to the soil under each seed. Humic acid was sprayed in 3 stages (vegetative, reproductive and seed filling stage) according to the recommended dose (200 mg per liter). Sampling and measuring of traits were done at the end of the season and after removal of border rows. A 50 gram sample of each plot milled and then essence collected with Clevenger for three hours using water distillation. Percent of fungal colonization obtained with Gridline Intersect Method. Finally, for analysis of data and drawing shapes, MSTAT-C software and Microsoft Excel were used. Comparison of the least significant difference test (LSD) was conducted at the 5% level.

Results and Discussion

Results of this study showed the main effects of experimental factors on seed yield, essence percent and yield were significant. Comparison of mean results showed the highest seed yield (1119.37 kg ha⁻¹) obtained from mycorrhizal colonization. With increasing vermicompost applying, seed yield also increased. So, the greatest and lowest seed yield obtained from 8 ton ha⁻¹ vermicompost and control plots (1315 and 1016 kg ha⁻¹), respectively. With humic acid foliar application, seed yield increased about 18 percent. In this experiment essence percent significantly increased due to mycorrhizal colonization. Essence percent of fennel seeds showed, the highest value of essence percent (2.83%) obtained from 8 ton.ha⁻¹ vermicompost and the lowest essence was obtained from control plots (2.15%). Seed essence percent significantly increased due to humic acid foliar application compared with control plots (2.6% and 2.4% respectively). Essence yield significantly increased due to mycorrhizal inoculation (31.67 kg ha⁻¹). Vermicompost application increased essence yield about 64 and 25 percent compared with control plots. Compared to control, humic acid increased essence yield by 22 percent. Mycorrhizal inoculation significantly increased root colonization compared with control plots (47.39 and 23.89 %, respectively). Application of vermicompost increased root colonization by about 6% compared to control

1 and 2- Post graduate and Associate Professor, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

(*- Corresponding Author Email: ahgholami@yahoo.com)

plots. Combined effects of vermicompost and mycorrhiza on seed yield and essence percent were significant. Combination effects of vermicompost and mycorrhiza showed, seed yield increased about 45 percent. Moreover, combination of mycorrhiza and 8 ton.ha⁻¹ vermicompost resulted in the highest seed essence yield (3.09 kg ha⁻¹) that significantly was higher than control plots (2.11 kg ha⁻¹). The threeway interactions of factors on seed yield and essence percent was also significant. The highest essence percent of seed obtained from combination of 8 ton.ha⁻¹ with humic acid and mycorrhizal inoculation (3.09 %) which significantly was higher than control plots (1.99%). In this treatment essence yield was 36% higher than control plots. In general, the highest amounts of anethole obtained from 8 ton ha⁻¹ with humic acid and mycorrhizal inoculation. On the other hand, with increase in anethole the amounts of stragol, fenkon and limonene per seed essence decreased.

Conclusions

Results of this study showed that vermicompost and humic acid application and also mycorrhizal colonization, improved the quantitative and qualitative yield of fennel. So, the seed yield, essence yield and root colonization significantly affected by these factors. These factors without causing environmental damage, provide nutrients for medicinal plants, therefore improved the yield and quality.

Keywords: Anethole, Biofertilizer, Essence, Fennel, Organic manure

تأثیر متانول بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش خشکی

نظام آرمند^۱ - حمزه امیری^{۲*} - احمد اسماعیلی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۱۸

چکیده

نتایج بررسی‌ها مؤید این است که محلول‌پاشی متانول نقش مؤثری در تحمل به خشکی گیاهان سه کربنه دارد. در این راستا به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی متانول بر خصوصیات مورفولوژیکی لوبیا (رقم صدری) در شرایط تنش خشکی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل (با دو عامل) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. عامل اول شامل تیمارهای مختلف محلول‌پاشی متانول با چهار سطح (شاهد یا بدون محلول‌پاشی، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی) بود که محلول‌پاشی سه بار طی فصل رشد گیاه و با فواصل ۱۰ روز صورت گرفت. عامل دوم تیمار تنش خشکی بود که شامل تنش خشکی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی)، تنش خشکی ملایم (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و بدون تنش خشکی (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) بود. نتایج این آزمایش نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی، محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی منجر به افزایش معنی‌داری از نظر ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف، وزن خشک ریشه و قطر ریشه نسبت به سطح شاهد شد. در شرایط تنش ملایم و شدید، سطوح متانول نتوانست اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را کاهش دهد. مطالعه حاضر نشان داد که در شرایط تنش خشکی محلول‌پاشی متانول بر گیاه لوبیا مؤثر نیست.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد ریشه، محلول‌پاشی متانول

مقدمه

تنش خشکی یکی از معمول‌ترین تنش‌های محیطی است که کاهش عملکرد لوبیا تحت تأثیر این شرایط، تقریباً حدود ۲۵٪ برآورد شده‌است (۵). در تحقیقات انجام شده، کاربرد متانول به‌عنوان یک منبع کربن برای گیاهان زراعی رواج پیدا کرده‌است (۳، ۸ و ۱۹). زیرا گیاهان می‌توانند متانول محلول‌پاشی شده بر روی برگ‌ها را به‌راحتی جذب کرده و به‌عنوان منبع کربنی مورد استفاده قرار دهند. متانول در مقایسه با CO₂ مولکول نسبتاً کوچکتری است که به راحتی توسط گیاهان، جذب شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۵ و ۳۲).

در اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی گزارش شد که کاربرد محلول‌های متانول روی قسمت‌های هوایی گیاهان زراعی باعث افزایش عملکرد، تسریع در رسیدگی، کاهش اثر تنش خشکی و کاهش نیاز آبی آن‌ها می‌شود (۳۱ و ۳۲). بررسی بر روی بادام زمینی نشان داد که محلول‌پاشی ۲۰ درصد متانول باعث افزایش عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه و مقدار پروتئین دانه شد (۴۲). کاربرد محلول‌پاشی متانول در سطح ۲۵ درصد، بیشترین افزایش محصول سویا را در پی داشت (۲۸). همچنین مطالعات بر روی گیاهان گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris*)، چغندرقد (*Beta vulgaris*) و کلزا (*Brassica napus*) نشان داد گیاهانی که با

حبوبات یکی از مهمترین منابع پروتئینی در رژیم غذایی بشر می‌باشند. میزان پروتئین حبوبات در حدود دو برابر غلات بوده که می‌تواند به‌عنوان مکمل پروتئین غلات در رژیم غذایی جای گیرد. در بین حبوبات، لوبیا از نظر سطح زیر کشت و تولید مقام اول را در جهان دارا است. سطح زیر کشت لوبیا در ایران حدود ۹۰ هزار هکتار است و از میانگین عملکرد بالاتری (۱۵۷۳ کیلوگرم در هکتار) نسبت به سایر حبوبات برخوردار است (۲ و ۶). با توجه به اینکه لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) گیاهی سه کربنه است، تحت گرمای شدید، تنش آبی و نور زیاد به علت کاهش غلظت CO₂ داخلی برگ‌ها و افزایش غلظت اکسیژن، تنفس نوری انجام می‌دهد. تنفس نوری می‌تواند تا ۲۰٪ سبب اتلاف کربن در گیاهان شده و در نهایت منجر به کاهش عملکرد شود (۱۸، ۲۸ و ۲۹).

۱- دانشجوی دکتری، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان

۲- دانشیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان

(*)- نویسنده مسئول: Email: Amiri_h_lu@yahoo.com

۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

گرفتند. در هر گلدان پنج عدد بذر کشت شد و پس از سبز شدن به سه عدد گیاهچه در هر گلدان کاهش یافت. تیمار تنش خشکی براساس درصد رطوبت وزنی اعمال شد و از طریق توزین گلدان‌ها و تأمین کسری رطوبت مورد نیاز، میزان رطوبت گلدان‌ها در طول دوره رشد به‌طور ثابت حفظ شد. محلول‌پاشی سه بار طی فصل رشد گیاه و با فواصل زمانی ۱۰ روز صورت گرفت. اولین محلول‌پاشی طی مرحله رویشی در ۲۱ مرداد ماه به فاصله چهار هفته پس از کاشت و محلول‌پاشی‌های دیگر به‌ترتیب در اوایل گلدهی و اوایل غلاف‌دهی انجام شد. نحوه محلول‌پاشی به این صورت انجام گرفت که بر روی تمام قسمت‌های بوته لوبیا قطرات محلول جاری شد به‌طوری‌که اندام‌های هوایی خیس شدند. محلول‌پاش دارای حجمی حدود ۱/۵ لیتر بود و سعی شد در ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری بالای بوته‌ها قرار داده شود. زمان محلول‌پاشی در ساعت هشت الی نه صبح در روزهای تعیین شده انجام شد. محلول‌پاشی گیاهچه‌ها تا زمان جاری شدن قطره‌های محلول روی برگ ادامه یافت. در پایان دوره رشد نمونه‌برداری به‌صورت تخریبی انجام شد و بخش هوایی از ریشه گیاه تفکیک شد. صفات مورفولوژی اندام هوایی شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف در بوته و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شدند. صفات ریشه شامل سطح ریشه، طول ریشه اصلی، وزن خشک ریشه، قطر و حجم ریشه نیز اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس وزن آن‌ها با ترازوی AND مدل GT-300 ساخت کشور آلمان با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد. به‌منظور اندازه‌گیری صفات ریشه از قبیل سطح، قطر و حجم ریشه‌ها از دستگاه WinRHIZO Pro V ساخت کانادا استفاده شد (Regent, Instruments Inc., QC, Canada). این دستگاه از یک اسکنر متصل به کامپیوتر و نرم‌افزار WinRHIZO تشکیل شده است. ویژگی این نرم‌افزار این است که صفات مختلفی از قبیل سطح، قطر، حجم، تعداد میان‌گره‌ها، تعداد ریشه‌های جانبی (در مراحل جوانه‌زنی و رویشی گیاهان که حجم ریشه کم است) و مجموع طول ریشه‌ها را با استفاده از اسکن ریشه مورد نظر، محاسبه می‌کند. به‌منظور تصویر واضح و دقیق‌تر از ریشه‌ها، آن‌ها به مدت سه الی پنج دقیقه در محلول بنفش رنگ پرمنگنات منیزیم قرار گرفتند، پس از مشاهده تغییر رنگ ریشه‌ها آن‌ها را خارج کرده و سپس توسط دستمال کاغذی کاملاً خشک شدند. سپس ریشه‌های رنگی در اسکنر قرار داده شد و در نهایت به کمک نرم‌افزار سطح، قطر و حجم ریشه‌ها محاسبه شد.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Mstat-C انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

متانول ۳۰ درصد محلول‌پاشی شدند ۱۲ تا ۱۳ درصد محصول بیشتری نسبت به گیاهان شاهد تولید کردند (۴۳). در مطالعه‌ای که بر روی گیاه نخود صورت گرفت گزارش کردند که محلول‌پاشی متانول در غلظت ۲۵ درصد حجمی منجر به افزایش معنی‌دار در کلیه صفات مورفولوژی مورد بررسی گردید (۱۸). در مطالعه بر روی گوجه‌فرنگی، مشاهده شد محلول‌پاشی متانول موجب افزایش وزن ساقه و ریشه شد (۳۸). بررسی‌های انجام شده در مناطق خشک پاکستان نیز نشان داد که محلول‌پاشی متانول ۳۰ درصد در گیاه پنبه (*Gossypium*) موجب افزایش ارتفاع و محصول دانه پنبه می‌شود (۲۷). در اثر کاربرد متانول در کمربند پنبه آمریکا محصول پنبه ۵۰ درصد افزایش یافت و همچنین سطح و قطر برگ‌های تیمار شده با متانول، افزایش یافت (۲۸). در بررسی دیگر، کاربرد متانول بر روی کتان موجب دو هفته زودرسی و افزایش ماندگاری آنها شد (۴۱). در بررسی که روی نیشکر (*Saccharum Officinarum*) انجام شد، دریافتند کاربرد متانول موجب افزایش محتوی سیتوکنین شد (۲۶). به‌طور کلی بررسی‌ها نشان می‌دهد که مصرف متانول در اغلب گیاهان زراعی موجب افزایش راندمان مصرف آب، کاهش تنفس نوری، افزایش سطح و دوام برگ و در نهایت افزایش عملکرد می‌شود (۳ و ۳۸).

با توجه به نقش متانول در افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر متانول بر بهبود تحمل به تنش خشکی در گیاه لوبیا صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی متانول بر روی خصوصیات مورفولوژیکی لوبیا آزمایشی به‌صورت گلخانه‌ای اجرا گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل‌های مورد بررسی در آزمایش شامل عامل محلول‌پاشی متانول و عامل تنش خشکی بود. عامل محلول‌پاشی متانول در ۴ سطح شامل شاهد (بدون محلول‌پاشی)، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول بود که به هر کدام از این محلول‌ها دو گرم در لیتر گلیسین اضافه شد. افزودن گلیسین به محلول آبی متانول سبب جلوگیری از صدمات ناشی از سمیت متانول می‌شود. عامل خشکی شامل شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، تنش خشکی ملایم (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و تنش خشکی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) در نظر گرفته شد.

هر گلدان دو کیلوگرمی به‌عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. برای تهیه خاک هر گلدان، خاک تهیه شده ابتدا از الک دو میلی‌متر عبور داده شد و به میزان دو کیلوگرم در هر گلدان ریخته شد. بافت خاک مورد استفاده شنی لومی بود. گلدان‌ها در اتاقک رشد با درجه حرارت روز و شب به‌ترتیب ۲۵ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد قرار

نتایج و بحث

صفات مربوط به اندام هوایی

ارتفاع بوته

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در برهم‌کنش متانول و تنش خشکی نشان داد در شرایط بدون تنش خشکی، سطح ۲۰ درصد حجمی متانول منجر به افزایش معنی‌داری در ارتفاع بوته نسبت به سطح شاهد شد. در این شرایط، سطح شاهد و سطح ۳۰ درصد حجمی متانول در یک گروه آماری قرار گرفتند. در شرایط تنش خشکی ملایم، سطوح محلول‌پاشی متانول اختلاف معنی‌داری با سطح کنترل نداشت اما در شرایط تنش شدید، سطوح ۱۰ و ۲۰ درصد حجمی متانول نسبت به سطح کنترل، ارتفاع بوته را به صورت معنی‌داری افزایش داد (جدول ۱). بررسی‌های متعدد نشان داده است که ارتفاع گیاه متعاقب کمبود آب قابل استفاده، کاهش می‌یابد (۱۱). در این تحقیق نیز کاهش ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش مشاهده شد. در بررسی در گیاه پنبه ملاحظه شد که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ۱۵ درصد حجمی متانول اتفاق افتاد که آن‌ها علت این موضوع را به آسیمیلاسیون بیشتر کربن و رقابت بیشتر گیاهان برای دریافت نور بیان کردند (۶). متانول به‌عنوان یک منبع کربن می‌تواند در افزایش آسیمیلاسیون CO_2 و فتوسنتز خالص نقش داشته باشد (۲۰). در تحقیقی که بر روی گوجه فرنگی، آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*) و تنباکو (*Nicotiana Tabacum*) صورت گرفت مشاهده شد که در اثر کاربرد متانول ارتفاع بوته گوجه‌فرنگی افزایش یافت اما ارتفاع بوته در آرابیدوپسیس و تنباکو روند خاصی را نشان نداد (۳۶). این محققان علت اصلی واکنش‌های متفاوت گیاهان به غلظت‌های مختلف متانول را به تنوع الگوی جذب متانول در برگ‌ها و روند متنوع تبدیل آن به دی اکسید کربن نسبت می‌دهند. از طرف دیگر برخی محققین افزایش ارتفاع بوته تحت اثر محلول‌پاشی متانول را به وجود باکتری‌های همزیست مانند متیلوتروفیک که روی برگ اکثر گیاهان زراعی زندگی می‌کنند، نسبت داده‌اند (۲۲). این باکتری‌ها در ازای دریافت متانول که از برگ گیاه خارج می‌شود پیش ماده ساخت بعضی از هورمون‌ها مانند اکسین و سیتوکینین که نقش مهمی در تسریع روند رشد به عهده دارند را در اختیار گیاه قرار می‌دهد (۱۷ و ۲۲). به نظر می‌رسد در این تحقیق به این علت که بوته‌های لوبیا در اتاقک رشد و در شرایط استاندارد کشت شده‌اند نقش این باکتری‌ها در بهبود ارتفاع بوته کاهش یافته است.

تعداد برگ در گیاه

نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی، تعداد برگ در سطوح ۱۰ و ۲۰ درصد حجمی متانول نسبت به سطح کنترل افزایش یافت اما معنی‌دار نبود. در شرایط تنش ملایم و شدید، سطوح متانول

تفاوت معنی‌داری با سطح کنترل نداشت (جدول ۱). محلول‌پاشی متانول در سطح ۲۰ درصد حجمی در گیاه بادام زمینی (*Arachis hypogaea*) سبب افزایش شاخص سطح برگ و تعداد برگ در بوته شد (۴۳). برخی مطالعات گزارش کردند که متانول باعث افزایش فشار آماس سلول در برگ‌ها شده که به رشد و توسعه برگ نیز کمک می‌کند (۴۴). در شرایط تنش خشکی برگ‌ها کوچکتر و تعداد آنها کاهش می‌یابد (۲۴). کاهش تعداد برگ در زمان تنش به پیری زودرس که خود عاملی برای کاهش تعرق و رسیدگی زودتر گیاه در شرایط تنش خشکی می‌باشد مربوط می‌شود (۴۱ و ۳۷). نتایج این تحقیق نشان داد که تنش خشکی تعداد برگ در گیاه را به‌صورت معنی‌داری کاهش داد. در تحقیقی که بر روی سویا (*Glycine max*) صورت گرفت علت افزایش تعداد برگ در اثر تیمار محلول‌پاشی متانول تأخیر در پیری برگ‌ها و فعالیت فتوسنتزی بیشتر گزارش شد (۳۱).

تعداد شاخه جانبی در بوته

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در برهم‌کنش متانول و تنش خشکی نشان داد که در شرایط بدون تنش سطوح ۱۰ و ۲۰ درصد متانول منجر به افزایش معنی‌داری در این صفت شد. در شرایط تنش ملایم سطوح متانول اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت و در شرایط تنش شدید مشاهده شد که محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی در مقایسه با سطح کنترل کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۱). شاخه‌دهی در گیاه لوبیا به شدت تحت تأثیر شرایط محیطی به‌ویژه خصوصیات فیزیکی خاک و یا تنش خشکی قرار می‌گیرد، بنابراین شرایط محیطی می‌تواند سهم شاخه‌ها از عملکرد نهایی را تغییر دهد (۳). در مطالعه‌ای بر روی نخود مشاهده شد که در شرایط تنش خشکی سطوح پایین متانول در افزایش شاخه‌های فرعی نقش دارد اما این محققین گزارش کردند که سطوح بالای ۲۵ درصد حجمی متانول منجر به کاهش خصوصیات مورفولوژیکی شده که با سمیت متانول در غلظت‌های بالا مرتبط دانستند (۱۸).

تعداد غلاف

نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی، سطوح ۱۰ و ۲۰ درصد حجمی متانول منجر به افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در گیاه لوبیا شد. در شرایط تنش ملایم مشاهده شد که سطح ۲۰ درصد حجمی بیشترین تعداد غلاف را داشت که در مقایسه با دیگر سطوح متانول افزایش معنی‌داری داشت. در شرایط تنش شدید، سطح ۳۰ درصد حجمی تعداد غلاف را به‌صورت معنی‌داری کاهش داد (جدول ۱). بررسی‌های متعدد نشان داده است که تنش خشکی منجر به کاهش برخی صفات مورفولوژیکی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی شده است (۱۱) که با نتایج این مطالعه منطبق می‌باشد.

جدول ۱ - مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی گیاه لوبیا در سطوح مختلف متانول و تنش خشکی
Table 1- Comparison of morphological characteristics of bean under different levels of methanol and drought stress

تیمارها/ متانول Treatments/ Methanol	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ در گیاه Leaf number per pod	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of branches	تعداد غلاف Number of pod	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (g per plant)	وزن ریشه ریشه Root dry weight (g per plant)	طول ریشه اصلی Tap root length (cm)	سطح ریشه Root area (cm ² per plant)	قطر ریشه Root diameter (mm)	حجم ریشه Root volume (cm ³)
(۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) / بدون تنش خشکی (100% field capacity)										
شاهد	56.33 bc	48.67 ab	6 cdef	8 c	1.573 ab	0.966 b	31 ab	2.507 a	0.249 bc	0.576 abc
10%	62 ab	54 a	9.33 ab	10.67 ab	1.743 ab	0.920 bc	35.33 a	2.218 ab	0.395 ab	0.706 ab
20%	63.33 a	53 a	9.66 a	11.33 ab	1.983 ab	1.203 a	36 a	2.412 a	0.471 a	0.744 a
30%	53.67 cd	42.33 bcd	6.33 cde	7.33 cd	1.223 ab	0.583 d	21 cd	1.657 abc	0.159 cd	0.437 ab
(۷۵ درصد ظرفیت زراعی) / تنش خشکی ملایم (75% field capacity)										
شاهد	54 cd	34.33 cd	6.33 cde	6.66 cd	1.443 abc	0.743 bcd	25.67 ab	1.243 bcd	0.191 bcd	0.525 abc
10%	56 bc	44 abc	7 cd	9 bc	1.380 abc	0.790 bcd	36 a	1.461 abcd	0.275 abc	0.556 abc
20%	56.33 bc	35 cd	7.33 bc	11.67 a	1.387 abc	0.700 d	31.67 ab	1.451 abcd	0.333 abc	0.391 abcd
30%	54.33 cd	33.33 d	5 defg	7 cd	0.346 d	0.166 e	19 d	0.922 cd	0.125 cd	0.244 cd
(۲۵ درصد ظرفیت زراعی) / تنش خشکی شدید (25% field capacity)										
شاهد	41.33 e	14.67 ef	4 cdef	5.33 d	0.916 c	0.543 d	22.67 cd	0.589 cd	0.162 cd	0.328 bcd
10%	52 cd	19.67 e	4.33 cdef	7 cd	1.317 bc	0.650 d	27 bc	1.568 abcd	0.154 cd	0.379 bcd
20%	51.83 cd	20 e	5 cde	7 cd	1.213 bc	0.796 bcd	25 bcd	1.498 abcd	0.157 cd	0.096 d
30%	48 d	8 f	3.33 g	3 e	0.330 d	0.113 e	19 d	0.461 d	0.030 d	0.086 d

شاهد شد (۳۰). در مطالعه‌ای دیگر بر روی سویا کاربرد ۲۱ درصد حجمی متانول سبب افزایش ۳۸ درصدی عملکرد ریشه نسبت به سطح شاهد شد و بیان شد که احتمالاً متانول با افزایش میزان تثبیت CO_2 باعث افزایش عملکرد ریشه می‌شود (۲۸). در تحقیقی که بر روی نخود صورت گرفت، تحت شرایط تنش خشکی (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد کاربرد متانول تأثیر معنی‌داری از نظر وزن خشک ریشه با سطح عدم کاربرد متانول نداشت (۱۸).

طول ریشه اصلی

مقایسه میانگین داده‌ها در برهم‌کنش متانول و تنش خشکی نشان داد که در تمامی تیمارهای تنش خشکی، سطوح متانول در غلظت‌های ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی نسبت به سطوح کنترل افزایش داشت اما معنی‌دار نبود، سطح ۳۰ درصد حجمی متانول در تمامی سطوح خشکی نسبت به سطوح کنترل کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۱). در تحقیقی که بر روی ژنوتیپ‌های نخود صورت گرفت مشاهده شد مجموع طول ریشه‌ها و طول ریشه اصلی در اکثر ژنوتیپ‌ها در شرایط فراهمی رطوبت نسبت به تنش خشکی کاهش یافته است (۴ و ۲۲). در این مطالعه نیز طول ریشه اصلی در شرایط تنش خشکی شدید نسبت به شرایط بدون تنش خشکی کاهش معنی‌داری یافت. سیستم ریشه‌ای به دلیل نزدیکی به آب، به‌عنوان اولین حس‌گر تنش خشکی محسوب می‌شود، بنابراین در ایجاد مقاومت نسبت به تنش خشکی نقش مهمی دارد (۱۱ و ۳۳). طول ریشه اصلی از جهت بهره‌برداری ریشه از رطوبت و عناصر غذایی موجود در خاک می‌تواند برای گیاه مفید باشد (۱۲). کاهش طول ریشه در غلظت‌های ۳۰ درصد حجمی نسبت به سطح کنترل را می‌توان به سمیت متانول در غلظت‌های بالا نسبت داد.

سطح ریشه

نتایج اثرات متقابل متانول و تنش خشکی نشان داد که سطوح متانول نسبت به سطوح کنترل در شرایط بدون تنش، تنش ملایم و تنش خشکی شدید تفاوت معنی‌داری با سطح کنترل نداشت (جدول ۱). در مطالعه‌ای که بر روی ژنوتیپ‌های نخود، برای شناسایی ژنوتیپ مقاوم به خشکی صورت گرفت مشاهده شد سطح ریشه در اکثر ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش کاهش یافت (۱۳). در این مطالعه نیز سطح ریشه در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش کاهش یافت. در مطالعه بر روی برخی گیاهان سه کربنه از قبیل جو (*Hordeum vulgare*)، جو دوسر (*Avena sativa*) و نخود فرنگی (*Pisum sativum*) مشاهده شد که اثرات محلول‌پاشی متانول و اتانول بر عملکرد ریشه معنی‌دار نبود.

در بررسی که روی پنبه صورت گرفت مشاهده شد که محلول‌پاشی متانول موجب افزایش تعداد غلاف شد (۲۶) که این محققین علت این موضوع را به آسیمیلاسیون بیشتر کربن و رقابت بیشتر گیاهان برای دریافت نور بیان کردند (۲ و ۳۳). بنابراین متانول به‌عنوان یک منبع کربن می‌تواند در افزایش آسیمیلاسیون CO_2 و محصول گیاهان نقش داشته باشد (۹ و ۲۴). در مطالعه‌ای دیگر که بر روی بادام زمینی انجام شد بیشترین تعداد غلاف در محلول‌پاشی ۲۰ درصد متانول مشاهده شد (۴۳).

وزن خشک اندام هوایی

در برهم‌کنش متانول و تنش خشکی نتایج نشان داد که سطح ۳۰ درصد حجمی متانول در شرایط تنش خشکی ملایم و شدید نسبت به سطح کنترل کاهش معنی‌داری داشت که می‌توان به اثرات سمی متانول در غلظت‌های بالا نسبت داد. در شرایط بدون تنش، سطوح متانول از نظر وزن خشک اندام هوایی اختلاف معنی‌داری با سطح کنترل نداشت (جدول ۱). در تحقیقی که بر روی گندم انجام گرفت، مشاهده شد با افزایش شدت تنش خشکی، بدون توجه به حساسیت یا مقاومت رقم، وزن خشک بخش هوایی کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند (۴) که با نتایج این مطالعه در ارتباط با کاهش وزن خشک هوایی منطبق است. در مطالعه اثرات کاربرد متانول به‌صورت محلول‌پاشی بر روی برگ و ریشه نتایج نشان داد که متانول بر وزن خشک گیاه گوجه‌فرنگی تأثیر منفی دارد اما بر آراییدوپسیس تأثیر مثبت داشت (۳۴). در این مطالعه نیز وزن خشک اندام هوایی روند معنی‌داری در سطوح محلول‌پاشی متانول نداشت. در آزمایش بر روی گیاه نخود علت افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه در اثر کاربرد متانول افزایش راندمان تبدیل کربن و به دنبال آن افزایش فتوسنتز خالص گزارش شد (۱۸). بنابراین علت پاسخ‌های متنوع گیاهان به متانول را می‌توان به نوع گونه گیاهی و نحوه راندمان تبدیل متانول به CO_2 نسبت داد.

صفات مربوط به ریشه

وزن خشک ریشه

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در اثرات متقابل تنش و متانول نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی، سطح ۲۰ درصد حجمی متانول نسبت به سطح کنترل وزن خشک ریشه را به‌صورت معنی‌داری افزایش داد. در تنش ملایم و شدید سطح ۳۰ درصد حجمی منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه نسبت به سطح کنترل شد (جدول ۱). مطالعه بر روی چغندر قند نشان داد سطح ۲۰ درصد حجمی متانول سبب افزایش ۱۰٪ عملکرد ریشه نسبت به تیمار

رسیدگی زودتر گیاه در شرایط تنش خشکی باشد (۳۹ و ۴۳). در این مطالعه نیز تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک برگ نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۲). با توجه به اینکه در تمامی صفات مرتبط با ریشه در شرایط تنش خشکی تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد می‌توان بیان کرد که محلول‌پاشی متانول اثر مثبتی بر خصوصیات ریشه گیاه لوبیا ندارد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه نتایج نشان داد در شرایط بدون تنش خشکی سطح محلول‌پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول در برخی صفات بر سایر سطوح برتری نشان داد. کاهش میزان آب در خاک از حد ظرفیت زراعی، کاهش معنی‌داری بر کلیه صفات مورد بررسی گذاشت. محلول‌پاشی متانول در اکثر صفات مورد اندازه‌گیری نتوانست این کاهش را که به دلیل کمبود آب ایجاد شده بود جبران کند. با توجه به نتایج این مطالعه در شرایط تنش خشکی محلول‌پاشی متانول بر گیاه لوبیا پیشنهاد نمی‌شود.

این محققین گزارش کردند که متانول با تبدیل به دی اکسید کربن در افزایش آسیمیلاسیون CO_2 نقش دارد اما بر خصوصیات ریشه تأثیر مثبتی ندارند (۴۰ و ۴۲).

قطر ریشه و حجم ریشه

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در اثرات متقابل متانول و تنش خشکی نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی، سطح ۳۰ درصد حجمی قطر ریشه گیاه لوبیا را به طرز معنی‌داری افزایش داد اما در شرایط تنش ملایم و شدید سطوح متانول نتوانست کاهش قطر ریشه در اثر تنش خشکی را بهبود دهد (جدول ۱). نتایج این مطالعه با نتایج راماندان و امران (۳۶) مطابقت دارد.

در برهم‌کنش متانول و تنش خشکی مشاهده شد که در تمامی تیمارهای تنش خشکی اختلاف معنی‌داری بین سطوح کاربرد متانول و عدم کاربرد متانول وجود نداشت (جدول ۱). لیپورت و همکاران (۲۴) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی، سطح و وزن خشک ریشه‌ها کوچکتر و حجم آن‌ها نیز کمتر می‌شود. کاهش سطح و وزن خشک ریشه در زمان تنش می‌تواند به علت پیری زودرس، به منظور

References

1. Abanda, D., Musch, M., Tschiersch, J., and Schawb, M. 2006. Molecular interaction between *Methylobacterium extorquens* and seedling growth promotion, methanol consumption and localization of the methanol emission site. *Journal of Experimental Botany* 57 (15): 4025-4032.
2. Ahmadvpour, R., Hosseinzadeh, S. R., Armand, N., and Fani, E. 2015. Effect of methanol on germination characteristics of lentil (*Lens culinaris* Medik.) under drought stress. *Iranian Journal of Seed Research* 2: 83-96. (in Persian with English abstract).
3. Bagheri, A., Mahmoudi, A., and Ghezeli, F. 2001. Common Bean: Research for Crop Improvement. Jahad daneshgahi press. 556 pp.
4. Benson, A. A., and Nonomura, A. M. 1994. The path of carbon in photosynthesis: methanol inhibition of glycolic acid accumulation. *Photosynthesis Research* 34: 196-206.
5. Blum, A. 1996. Crop response to drought and the interpretation adaptation. *Plant Growth Regulation* 20: 135-148.
6. Boyer, J. S., Armand, P. A., and Sharp, R. E. 1987. Light stress and leaf water relations. *Photoinhibition*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam. pp: 111-122.
7. Dorri, H. R. 2008. Bean Agronomy. Publication Series of Research Center of Bean, Khomein. 46 PP.
8. Doss, B. D., Pearson, R., and Wand Howard, T. R. 1974. Effect of soil water stress at various growth stages on soybean yield. *Agronomy Journal* 66: 297-299.
9. Downie, A., Miyazaki, S., Bohnert, H., John, P., Coleman, J., Parry, M., and Haslam, R. 2004. Expression profiling of the response of *Arabidopsis thaliana* to methanol stimulation. *Photochemistry* 65: 2305-2316.
10. Ehyaei, H. R., Parsa, M., Kafi, M., and Nasiri mahalati, M. 2010. Effect of foliar application of methanol and irrigation regimes on yield and yield components of chickpea cultivars. *Iranian Journal of Pulses Research* 1: 37-48. (in Persian with English abstract).
11. Fischer, R. A. 2001. Selection traits for improving yield potential. In: M.P. Reynolds, J.I. Ortiz- Monasterio and A. McNab (Eds.). *Application of Physiology in Wheat Breeding*. D.F. CIMMYT. Mexico p. 148-159.
12. Gamze, O. K. U., Mehmet Demir, K. A. Y., and Mehmet, A. T. A. 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turkish Journal of Agriculture* 29: 237-242.
13. Ganjeali, A., and Kafi, M. 2007. Genotypic differences for allometric relationships between root and shoot characteristics in Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Pakistan Journal of Botany* 39: 1523-1531.
14. Ganjeali, A., Kafi, M., Bagheri, A., and Shahriyari, F. 2004. Allometric relationship between root and shoot characteristics of chickpeas seedling (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 18: 67-80. (in Persian with English abstract).
15. Gout, E., Aubert, S., Bligny, R., Rebeille, F., Nonomura, A., Benson, A., and Douce, R. 2000. Metabolism of methanol in plant cells. Carbon-13 nuclear magnetic resonance studies. *Plant Physiology* 123: 287-296.

16. Hanson, A. D., and Roje, S. 2001. One carbon metabolism in higher plants. Annual Review of Plant Physiology 52: 119-138.
17. Heins, R. 1980. Inhibition of ethylene synthesis and senescence in carnation by ethanol. Journal of the American Society for Horticultural Science 105 (1): 141-144.
18. Holland, M. A. 1997. Occams razor applied to hormonology. Are cytokinins produced by plants? Plant Physiology 115: 865-868.
19. Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H., and Ismaili A. 2015. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Photosynthetica, doi: 10.1007/s11099-015-0162-x.
20. Hosseinzadeh, S. R., Salimi, A., Ganjeali, A., and Ahmadpour, R. 2012. Effects of foliar application of methanol on growth and root characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. European Journal of Experimental Biology 2 (5): 1697-1702.
21. Hosseinzadeh, S. R., Salimi, A., Ganjeali, A., and Ahmadpour, R. 2014. Effects of foliar application of methanol on photosynthetic characteristics chlorophyll fluorescence and chlorophyll content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Plant Biology 5: 116-129. (in Persian with English abstract).
22. Ivanova, E. G., Dornina, N. V., and Trotsenko, Y. A. 2001. Aerobic methylobacteria are capable of synthesizing auxins. Microbiology 70: 392-397.
23. Jalota, S. K., Anil, S., and Harman, W. L. 2006. Assessing the response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield to irrigation water on two soils in Punjab (India). Agricultural Water Management 79: 312-320.
24. Leport, L., Turner, N. C., Davies, S. L., and Siddique, K. H. M. 2006. Variation in pod production and abortion among chickpea cultivars under terminal drought. European Journal of Agronomy 24: 236-246.
25. Li, Y., Gupta, J., and Siyumbano, A. K. 1995. Effect of methanol on soybean photosynthesis and chlorophyll. Journal of Plant Nutrition 18: 1875-1880.
26. Madhaiyan, M., Poonguzhali, S., Sundaram, S. P., and Sa, T. A. 2006. New insight into foliar applied methanol influencing phylloplane methylotrophic dynamics and growth promotion of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). Environmental and Experimental Botany 57: 168-176.
27. Makhdum, I. M., Nawaz, A., Shabab, M., Ahmad, F., and Illahi, F. 2002. Physiological response of cotton to methanol foliar application. Journal of Research Zakariya University, Multan, Pakistan 13: 37-43.
28. Mauney, J. R., and Gerik, T. J. 1994. Evaluating methanol usage in Cotton. National Cotton Council of America Memphis, TN, USA. pp: 40.
29. Mirakhori, M., Paknejad, F., Moradi, P., Nazeri, P., and Nasri, M. 2010. Effects of foliar application of methanol on (*Glycine max* L.). Journal of Agroecology 2: 236-244. (in Persian with English abstract).
30. Muchow, R. C., Sinclair, T., and Rennett, I. M. 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. Agronomy Journal 82: 238-343.
31. Nadali, I., Paknejad, F., Moradi, F., and Vazan, S. 2010. Effect of methanol on yield and some quality characteristics of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) cv. Rasoul in Drought and Non-Drought Stress Conditions. Journal of Seed and Plant Improvement 26: 95-108. (in Persian with English abstract).
32. Nemecek-Marshall, M., MacDonald, R. C., Franzen, J. J., Wojciechowski, C. L., and Fall, R. 1995. Methanol emission from leaves: enzymatic detection of gas-phase methanol and relation of methanol fluxes to stomatal conductance and leaf development. Plant Physiology 108: 1359-1368.
33. Nonomura, A. M., and Benson, A. A. 1992. The path of carbon in photosynthesis: Improved crop yields with methanol. National Academic Science, USA. 89: 9794-9798.
34. Rahbarian, R., Khavari-nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A. R., and Najafi, F. 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water. Acta Biologica Cracoviensia-Series Botanica 53: 47-56.
35. Rajala, A., Karkkainen, J., Peltonen, J., and Peltonen-Sainio, P. 1998. Foliar applications of alcohols failed to enhance growth and yield of C3 crops. Industrial Crop Production 7: 129-137.
36. Ramadan, T., and Omran, Y. 2005. The effects of foliar application of methanol on productivity and fruit quality of grapevine cv. flame seedlees. Vitis Journal 44: 11-16.
37. Ramirez, I., Dorta, F., Espinoza, V., Jimenez, E., Mercado, A., and Pena-Cortes, H. 2006. Effects of foliar and root applications of methanol on the growth of arabidopsis, tobacco and tomato plants. Journal Plant Growth Regulation 25: 30-44.
38. Richner, W., Soidati, A., and Stamp, P. 1996. Shoot to root relation in field grown maize seedlings. Agronomy Journal 88: 56-61.
39. Rowe, R. N., Farr, D. J., and Richards, B. A. J. 1994. Effects of foliar and root applications of methanol or ethanol on the growth of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* L.). New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 22: 335-337.
40. Saxena, N. P., Singh, S. C., Sethi, L., Krishnamurthy, S., Singh, D., and Johansen, C. 2005. Genetic enhancement of drought tolerance in chickpea (short note). (WWW. ICRISAT.org).
41. Sheldrake, A. R., and Saxena, N. D. 1979. The growth and development of chickpea under progressive moisture

- stress. *Stress Physiology in Crop Plants* 5: 58-74.
42. Van, I., Heitholt, M. W., Wells, J. J., and Oosterhuis, D. M. 1995. Foliar methanol applications to cotton in the Southeastern United States, leaf physiology, growth and yield components. *Agronomy Journal* 87: 1157-1160.
43. Vyshkahi, M., Noormohammadi, Gh., Majidi, A., and Rabii, B. 2008. Effect of methanol on the growth function peanuts. *Special Issue Journal of Agricultural Sciences* 1: 102-87. (in Persian with English abstract).
44. Zbiec, I., Karczmarczyk, S., and Podsiadlo, C. 2003. Response of some cultivated plants to methanol as compared to supplemental irrigation. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* 6 (1): 1-7.



The Effects of Foliar Application of Methanol on Morphological Characteristics of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under Drought Stress Condition

N. Armand¹- H. Amiri^{2*} - A. Ismaili³

Received: 18-01-2015

Accepted: 07-04-2015

Introduction

Available water is an important factor for plant growth in arid environments. Results indicated that foliar application of methanol is believed to be more important than the drought tolerance in C₃ plant. Since bean is a C₃ plant, it performs light respiration under intense heat, light and water stress due to internal leaf CO₂ concentration reduction and oxygen concentration increase. Light respiration can cause up to 20% loss of carbon in plants and decrease the yield. Increasing concentration of carbon dioxide can neutralize the effect caused by drought stress. Thus, the use of substances that can cause an increase in the concentration of carbon dioxide in the plant, leads to improving the yield under the drought conditions. One of the ways of increasing the concentration of carbon dioxide in plants is by using compounds such as methanol, ethanol, propanol, butanol as well as use of the amino acids of glycine, glutamate and aspartate. Plants can easily absorb methanol sprayed on leaves and use it as a carbon source added to atmospheric carbon. Methanol is relatively smaller compared to the CO₂ molecules, so it can be easily absorbed and utilized by plants.

Materials and Methods

In order to evaluate the effects of foliar application of methanol on some morphological characteristics of bean under drought stress, a factorial experiment was conducted based on completely randomized block design with three replications in 2014 at the Khatam Alanbia University of Behbahan. The treatment of spraying methanol was at 4 levels include control (without spraying), 10, 20 and 30% v/v methanol which added 2 g l⁻¹ glycine to each of solutions. Adding glycine to aqueous solution of methanol leads to prevention of damages caused by the toxicity of methanol. The drought factors including control (100% field of capacity), moderate drought stress (50% field of capacity) and severe drought stress (25% field of capacity) were considered. In this experiment, each experimental unit was a pot of 1 kg and 5 seeds were planted in each pot and after emergence decreased to 3 seedlings per pot. They were placed in a growth chamber with day and night temperatures as 25 °C and 15°C, respectively. Drought stress treatment based on soil moisture percentage was adjusted by measuring the weight percent of soil moisture and adding water consumed daily by each pot. Foliar application was done 3 times during the growing season and at intervals of 10 days. The first foliar application was performed during the seedling stage within 4 weeks after planting and other foliar application, respectively in early flowering and early podding. The foliar application was performed in such a way that solution droplets were present at all parts of the bean. Trait measurement was carried out 35 days after planting.

Results and Discussion

Results showed that there was significant difference ($P \leq 0.01$) between methanol and drought stress regarding the plant height, number of branches, leaf number per pod, root and shoot dry weight, tap root length, root area, root diameter, root volume, and number of pod ($P \leq 0.05$). All of the morphological traits were mainly affected by severe drought stress. The results of the comparing mean data in the interactions of methanol and drought stress showed that 20% methanol level in non-drought stress significantly increased in plant height, number of branches, root dry weight, root diameter and number of pod compared with control. 20% methanol level in temperate drought stress condition significantly increased the number of pod compared with non-applied methanol foliar application. Severe drought conditions in other traits except plant height difference between the levels of methanol and the methanol was observed.

1- Ph.D Student, Faculty of Sciences, Lorestan University, Khoramabad, Iran

2- Associate Professor, Department of Biology, Faculty of Sciences, Lorestan University, Khoramabad, Iran

3- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran

(* - Corresponding Author: Amiri_h_lu@yahoo.com)

Conclusions

Present study showed that the use of methanol at 20% by volume of methanol without the stress could be effective but failed to reduce the negative effects of drought stress on bean (*Phaseolus vulgaris* L.cv. sadry) plants.

Keywords: Drought stress, Methanol foliar application, Morphological characteristics

Contents

Evaluation of Climate Change Effect on Agricultural Production of Iran: I. Predicting the Future Agroclimatic Conditions	663
A. Koocheki- M. Nassiri Mahallati- L. Jafari	
Effect of Weed Interference on Yield and Agronomical Characteristics of Fenugreek (<i>Trigonella foenum gracum</i>) in Different Plant Density under Birjand Conditions	673
R. Baradaran- M. Ghahhari	
Effect of Organic and Chemical Fertilizers on Yield and Essential Oil of Two Ecotypes of Savory (<i>Satureja hortensis</i> L.) Under Normal and Drought Stress Conditions	685
O. Akrami nejad- M. Saffari- R. Abdolshahi	
Effect of Mulch and Water Stress on Some Physiological Traits, Yield Components and Grain Yield of Red Kidney bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	698
R. Amini- A. Dabbagh Mohammadi-Nasab- E. Ghalandarzadeh	
Evaluation of the Effects of Bio Fertilizers Containing non Symbiotic Nitrogen Fixing and Phosphate Solubilizing Bacteria on Quantitative and Qualitative Traits of Wheat	713
M. Mohtadi- M. J. MirHadi- A. Chraty- M. Bahadori	
Study of Water Use Efficiency and Water Deficit Tolerance Indices in Terminal Growth Stages in Promising Bread Wheat genotypes	726
M. Nazeri	
Effects of Chitosan Spraying on Physiological Characteristics of <i>Ferula flabelliloba</i> (Apiaceae) Under Drought Stress	736
Gh. Taheri	
Effects of Nano-Zinc oxide and Seed Inoculation by Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Yield, Yield Components and Grain Filling Period of Soybean (<i>Glycine max</i> L.)	752
R. Seyed Sharifi- S. Khoramdel	
Evaluation of Freeze Tolerance in Lancelot Plantain (<i>Plantago lanceolata</i> L.) Ecotypes under Controlled Conditions	764
M. Janalizadeh- A. Nezami- E. Izadi-Darbandi- M. Parsa	
Response of Physiological Growth Indices and Bulb Dry Yield of Onion (<i>Allium cepa</i> L.) Genotypes to Priming and Seed Size	784
M. Izadkhah- M. Tajbaksh- J. Jalilian- B. Psabaneslam	
Estimation of Corn Yield and Soil Nitrogen via Soil Electrical Conductivity Measurement Treated with Organic, Chemical and Biological Fertilizers	796
H. Khalilzade- M. Jahan- M. Nassiri	
The Effect of Nitroxin Biofertilizer and Foliar Applicatin of Micronutrients Time Consumption on Yield and Yield Components of New Wheat Cultivars under Khorramabad Climatic Conditions	808
A. Vaez- A. Khorgamy- M. Sayyahfar	
Effect of Seed Priming on Growth and Some Physiological Characteristics of Sesame (<i>Sesamum indicum</i> L.) under salinity Stress Condition caused by Alkali Salts	821
H. Bekhrad- B. Mahdavi- A. Rahimi	
Optimizing of Nitrogen, Phosphorus and Cattle Manure Fertilizers Application in Winter Wheat Production Using Response-Surface Methodology (RSM)	838
M. Jahan- M. Nassiri Mahallati- H. Khalilzade- R. Bigonah- A. R. Razavi	
Evaluation of Mycorrhizal Fungi, Vermicompost and Humic acid on essence Yield and Root Colonization of Fennel	852
I. Akbari- A. Gholami	
The Effects of Foliar Application of Methanol on Morphological Characteristics of Bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) under Drought Stress Condition	862
N. Armand- H. Amiri- A. Ismaili	

Iranian Journal of Field Crops Research

Ferdowsi University of Mashhad
Center of Excellence for Special Crops (CESC)

Vol. 13

No. 4

2016

Publisher	Ferdowsi University of Mashhad
Managing	P. Rezvani Moghaddam (Agroecology) Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Editor- in-chief	H.R. Khazaei (Crop Physiology) Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board

Emam, Y.	Crop Physiology	Prof., Shiraz University
Bagheri, A.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Behdani, M.A.	Crop Ecology	Assoc. Prof., Birjand University
Banayan Awal, M.	Agro-Environment Modeling	Assoc. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Jami Alahmadi, M.	Crop Physiology	Assoc. Prof., Birjand University
Rahimian-Mashhadi, H.	Crop Physiology	Prof., Tehran University
Zamani, Gh.R.	Crop Physiology	Assoc. Prof., Birjand University
Zare- Feizabadi, A.	Crop Ecology	Prof., Agriculture and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi Province
Shahriari-Ahmadi, F.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Kafi, M.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Nezami, A.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Mazaheri, D.	Crop Ecology	Prof., Tehran University
Nassiri-Mahalati, M.	Crop Modeling	Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Address: Iranian Journal of Field Crops Research Ferdowsi University of Mashhad Faculty of Agriculture
Mashhad, Iran,

P. O. Box: 91775-1163

Email: cesc@ferdowsi.um.ac.ir

Web Site: <https://jcesc.um.ac.ir>



Ferdowsi University
of Mashhad

Vol.13 No.4

2016

Iranian Journal of Field Crops Research

ISSN:2008-1472

Contents

Evaluation of Climate Change Effect on Agricultural Production of Iran: I. Predicting the Future Agroclimatic Conditions.....	663
A. Koocheki- M. Nassiri Mahallati- L. Jafari	
Effect of Weed Interference on Yield and Agronomical Characteristics of Fenugreek (<i>Trigonella foenum gracum</i>) in Different Plant Density under Birjand Conditions.....	673
R. Baradaran- M. Ghahhari	
Effect of Organic and Chemical Fertilizers on Yield and Essential Oil of Two Ecotypes of Savory (<i>Satureja hortensis</i> L.) Under Normal and Drought Stress Conditions	685
O. Akrami nejad- M. Saffari- R. Abdolshahi	
Effect of Mulch and Water Stress on Some Physiological Traits, Yield Components and Grain Yield of Red Kidney bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	698
R. Amini- A. Dabbagh Mohammadi-Nasab- E. Ghalandarzadeh	
Evaluation of the Effects of Bio Fertilizers Containing non Symbiotic Nitrogen Fixing and Phosphate Solubilizing Bacteria on Quantitative and Qualitative Traits of Wheat	713
M. Mohtadi- M. J. MirHadi- A. Chraty- M. Bahadori	
Study of Water Use Efficiency and Water Deficit Tolerance Indices in Terminal Growth Stages in Promising Bread Wheat genotypes.....	726
M. Nazeri	
Effects of Chitosan Spraying on Physiological Characteristics of <i>Ferula flabelliloba</i> (Apiaceae) Under Drought Stress	736
Gh. Taheri	
Effects of Nano-Zinc oxide and Seed Inoculation by Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Yield, Yield Components and Grain Filling Period of Soybean (<i>Glycine max</i> L.).....	752
R. Seyed Sharifi- S. Khoramdel	
Evaluation of Freeze Tolerance in Lancelot Plantain (<i>Plantago lanceolata</i> L.) Ecotypes under Controlled Conditions	764
M. Janalizadeh- A. Nezami- E. Izadi-Darbandi- M. Parsa	
Response of Physiological Growth Indices and Bulb Dry Yield of Onion (<i>Allium cepa</i> L.) Genotypes to Priming and Seed Size.....	784
M. Izadkhah- M. Tajbaksh- J. Jalilian- B. Psabaneslam	
Estimation of Corn Yield and Soil Nitrogen via Soil Electrical Conductivity Measurement Treated with Organic, Chemical and Biological Fertilizers	796
H. Khalilzade- M. Jahan- M. Nassiri	
The Effect of Nitroxin Biofertilizer and Foliar Applicatin of Micronutrients Time Consumption on Yield and Yield Components of New Wheat Cultivars under Khorramabad Climatic Conditions	808
A. Vaez- A. Khorgamy- M. Sayyahfar	
Effect of Seed Priming on Growth and Some Physiological Characteristics of Sesame (<i>Sesamum indicum</i> L.) under salinity Stress Condition caused by Alkali Salts.....	821
H. Bekhrad- B. Mahdavi- A. Rahimi	
Optimizing of Nitrogen, Phosphorus and Cattle Manure Fertilizers Application in Winter Wheat Production Using Response-Surface Methodology (RSM).....	838
M. Jahan- M. Nassiri Mahallati- H. Khalilzade- R. Bigonah- A. R. Razavi	
Evaluation of Mycorrhizal Fungi, Vermicompost and Humic acid on essence Yield and Root Colonization of Fennel.....	852
I. Akbari- A. Gholami	
The Effects of Foliar Application of Methanol on Morphological Characteristics of Bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) under Drought Stress Condition	862
N. Armand- H. Amiri- A. Ismaili	