



نشریه علمی

پژوهشهای زراعی ایران

شماره ۳

جلد ۱۷

سال ۱۳۹۸

(شماره پیاپی: ۵۵)

شاپا: ۱۴۷۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

- ۳۵۹..... اثر مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم و چغندرقد بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک
فاطمه قریشی، امیر لکریان، امیر فتوت، حمید ذبیحی
- ۳۷۳..... بررسی تأثیر سن نشاء و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی عروسک پشت پرده
(*Physalis alkekengi* L.)
اشکان عسگری، پرویز رضوانی‌مقدم، علیرضا کوچکی
- ۳۸۹..... ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ذرت شیرین (*Zea mays. Varsaccharata*) و سیب‌زمینی
(*Solanum tuberosum*)
هانیه همافر، محمود خرمی وفا، فرزاد مندنی، حیدر ذوالنوریان
- ۴۰۳..... بررسی تأثیر سطوح آبیاری، نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد ماده خشک و برخی صفات فیزیولوژیک ارزن پادزهری
(*Panicum antidotale* Retz.)
زین‌العابدین جویان، محمد کافی، احمد نظامی، سید غلامرضا موسوی
- ۴۱۵..... تأثیر تنش خشکی انتهای فصل بر عملکرد دانه و صفات مورفوفیزیولوژیک اکوتیپ‌های *Aegilops triuncialis*
زهرا تقی‌پور، رسول اصغری‌زکریا
- ۴۲۷..... اثر کود نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد کمی و کیفی کنگد با استفاده از طرح مرکب مرکزی
هدا لطیفی، سرور خرم دل، مهدی نصیری محلاتی، جواد وفابخش، عبدالله ملافیلابی
- ۴۴۱..... اثر محلول پاشی پتاسیم و روی بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد، پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و عملکرد دو رقم
گندم نان تحت تاریخ کاشت تأخیری
حسین کمائی، حمیدرضا عیسوند، ماشالله دانشور، فرهاد نظریان فیروزآبادی
- ۴۵۷..... بررسی امکان جایگزینی پودر خون به جای مصرف کود سبکترین آهن در گیاه دارویی بادرنجبویه
(*Melissa Officinalis* L.)
وحید محصلی، فرزاد فربود
- ۴۶۷..... اثر محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر رشد و القای تحمل به گرمای انتهای فصل گندم
(*Triticum aestivum* L.)
نقیسه اسدی نسب، مجید نبی پور، حبیب اله روشنفکر، افراسیاب راهنما قهفرخی
- ۴۷۷..... اثر محلول پاشی برخی ترکیبات شیمیایی بر تبادلات گازی، روابط آب و خصوصیات فتوسنتزی آفتابگردان
(*Helianthus annuus* L.)
محمد یزداندوست همدانی، مختار قبادی، محمدآقبال قبادی، سعید جلالی هنرمند، محسن سعیدی
- ۴۹۱..... اثر تنش گرمای آخر فصل بر برخی صفات زراعی، فیزیولوژیک و عملکرد روغن ارقام گلرنگ
(*Carthamus tinctorius* L.)
فرشاد صالحی، افراسیاب راهنما، موسی مسکرباشی، خسرو مهدیخانلو
- ۵۰۳..... مقایسه محلول پاشی نانوذرات سیلیس و روی با مصرف خاکی بر صفات زراعی و فیزیولوژیکی برنج
(*Oryza sativa* L.)
نوراله خیری، حسین عجم نوروزی، حمیدرضا مبصر، بنیامین ترابی

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

«نشریه علمی 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 ۱۳۹۸

شماره ۳

جلد ۱۷

صاحب امتیاز:

دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول:

پرویز رضوانی مقدم

سر دبیر:

حمیدرضا خزاعی

استاد - اگرواکولوژی (دانشگاه فردوسی مشهد)
استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

اعضای هیئت تحریریه:

یحیی امام

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه شیراز)

عبد الرضا باقری

استاد - ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)

محمدعلی بهدانی

استاد - اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

محمد بنایان اول

استاد - مدل سازی سیستم های کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

مجید جامی الاحمدی

دانشیار - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

حمیدرضا خزاعی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

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 شهریاری 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)

ناشر: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

شمارگان: ۲۰ نسخه

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

نمابر: 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 پایگاه های 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

- ۳۵۹ اثر مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم و چغندر قند بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک
فاطمه قریشی، امیر لکزیان، امیر فتوت، حمید ذبیحی
- ۳۷۳ بررسی تأثیر سن نشاء و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی عروسک پشت پرده (*Physalis alkekengi* L.)
اشکان عسگری، پرویز رضوانی‌مقدم، علیرضا کوچکی
- ۳۸۹ ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ذرت شیرین (*Zea mays. Varsaccharata*) و سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*)
هانیه همافر، محمود خرمی وفا، فرزاد مندنی، حیدر ذوالنوریان
- ۴۰۳ بررسی تأثیر سطوح آبیاری، نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد ماده خشک و برخی صفات فیزیولوژیک ارزن پادزهری (*Panicum antidotale* Retz.)
زین‌العابدین جویبان، محمد کافی، احمد نظامی، سید غلامرضا موسوی
- ۴۱۵ تأثیر تنش خشکی انتهای فصل بر عملکرد دانه و صفات مورفوفیزیولوژیک اکوتیپ‌های *Aegilops triuncialis*
زهرا تقی‌پور، رسول اصغری‌زکریا
- ۴۲۷ اثر کود نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد کمی و کیفی کنگد با استفاده از طرح مرکب مرکزی
هدا لطیفی، سرور خرم دل، مهدی نصیری محلاتی، جواد وفابخش، عبدالله ملافیلابی
- ۴۴۱ اثر محلول‌پاشی پتاسیم و روی بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد، پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و عملکرد دو رقم گندم نان تحت تاریخ کاشت تأخیری
حسین کمائی، حمیدرضا عیسوند، ماشالله دانشور، فرهاد نظریان فیروزآبادی
- ۴۵۷ بررسی امکان جایگزینی پودر خون به‌جای مصرف کود سبکترین آهن در گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa Officinalis* L.)
وحید محصلی، فرزاد فربود
- ۴۶۷ اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر رشد و القای تحمل به گرمای انتهای فصل گندم (*Triticum aestivum* L.)
نقیسه اسدی نسب، مجید نبی‌پور، حبیب‌اله روشنفکر، افراسیاب راهنما قهفرخی
- ۴۷۷ اثر محلول‌پاشی برخی ترکیبات شیمیایی بر تبادلات گازی، روابط آب و خصوصیات فتوسنتزی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در رژیم‌های آبیاری مختلف
محمد یزداندوست همدانی، مختار قبادی، محمد اقبال قبادی، سعید جلالی هنرمند، محسن سعیدی
- ۴۹۱ اثر تنش گرمای آخر فصل بر برخی صفات زراعی، فیزیولوژیک و عملکرد روغن ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط آب و هوایی اهواز
فرشاد صالحی، افراسیاب راهنما، موسی مسکرباشی، خسرو مهدیخانلو
- ۵۰۳ مقایسه محلول‌پاشی نانوذرات سیلیس و روی با مصرف خاکی بر صفات زراعی و فیزیولوژیکی برنج (*Oryza sativa* L.)
نوراله خیری، حسین عجم نوروژی، حمیدرضا مبصر، بنیامین ترابی



اثر مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم و چغندر قند بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک

فاطمه قریشی^۱، امیر لکزیان^{۲*}، امیر فتوت^۳، حمید ذبیحی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۳۰

چکیده

روش‌های مدیریتی بقایای گیاهی با تاثیر بر ویژگی‌های خاک، می‌تواند نقش موثری در بهبود باروری و کیفیت خاک و همچنین افزایش عملکرد محصول داشته باشند. به منظور بررسی تاثیر مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم و چغندر قند بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک، دو طرح آزمایشی مجزا در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. نتایج نشان داد که مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم و چغندر قند موجب تغییرات معنی‌داری بر ویژگی‌های شیمیایی (غیر از اسیدیته) و زیستی مورد مطالعه شدند. تمام روش‌های مدیریتی نظیر سوزاندن بقایا، مخلوط کردن بقایا، مخلوط کردن بقایا همراه با کود شیمیایی به جز رهاسازی بقایا در سطح خاک موجب افزایش مقدار کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس و پتاسیم قابل دسترس خاک نسبت به تیمار شاهد شدند. به طور کلی در هر دو بقایای گیاهی بیشترین مقدار کربن آلی، نیتروژن کل و پتاسیم قابل دسترس مربوط به تیمار بقایای گیاهی به همراه کود اوره و شخم بود. در مورد تنفس میکروبی پایه و کربن زیست‌توده میکروبی خاک موثرترین روش‌های مدیریتی تیمار بقایای گیاهی به همراه شخم بود. همچنین در این پژوهش اگرچه تیمارهای سوزاندن بقایای گیاهی موجب بهبود وضعیت عناصر غذایی، تنفس میکروبی پایه و کربن زیست‌توده میکروبی نسبت به تیمار شاهد شدند ولی کارایی کمتری نسبت به تیمارهای شخم و افزودن کود به بقایا داشتند. براساس نتایج می‌توان گفت مناسب‌ترین روش از نظر ارتقای شاخص‌های کیفی خاک در هر دو بقایای گندم و چغندر قند مخلوط کردن بقایا به وسیله شخم با خاک به همراه کود اوره و همچنین مخلوط کردن بقایا به وسیله شخم با خاک بوده است.

واژه‌های کلیدی: تنفس میکروبی پایه، سوزاندن بقایا، شخم بقایا، عناصر غذایی

مقدمه

جمعیت انسانی جهان به طور فزاینده‌ای افزایش یافته است. این روند افزایش جمعیت باعث شده است که بشر در تکاپوی بهبود کشاورزی و صنعت، به منظور افزایش تولید مواد غذایی باشد. کاربرد کودهای شیمیایی یکی از معمول‌ترین شیوه‌های مدیریت کشاورزی بوده و سهم قابل توجهی در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی داشته است (Lou et al., 2011). با این حال، کاربرد بیش از حد و طولانی مدت کودهای شیمیایی می‌تواند منجر به کاهش کیفیت خاک و آب‌های زیرزمینی، اختلال‌های شدید تغذیه‌ای در زمین‌های زراعی و آسیب‌های زیست محیطی شود (Wei et al., 2015). در سال‌های اخیر افزایش نگرانی‌ها در مورد تولید مواد غذایی سالم و تاکید بر حفظ

ظرفیت باروری و کیفیت خاک موجب توجه بیشتر به حفظ و افزایش مواد آلی خاک از طریق شیوه‌های مدیریتی مناسب شده است (FAO, 2011). بنابراین افزودن منظم اصلاح‌کننده‌های آلی به منظور افزایش و یا حفظ مقدار مواد آلی خاک و حفظ کیفیت خاک امری ضروری است (FAO, 2011).

آماده‌ترین و در دسترس‌ترین شکل زیست‌توده و یکی از منابع طبیعی عمده کودهای آلی بقایای گیاهی هستند (Wei et al., 2015). بقایای گیاهی بزرگ‌ترین منبع مواد آلی خاک برای اراضی کشاورزی به‌شمار می‌آیند (Xu and Coventry, 2003). در سطح جهانی کل بقایای گیاهی تولید شده ۳/۸ بیلیون تن در سال تخمین زده شده است که ۷۴٪ آن مربوط به غلات، ۸٪ مربوط به حبوبات، ۳٪ مربوط به گیاهان روغنی، ۱۰٪ مربوط به گیاهان قندی و ۵٪ مربوط به گیاهان غده‌ای می‌باشد (Lal, 2005). پژوهش‌ها نشان داده است که بقایای گیاهی غنی از مواد آلی و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه هستند و افزودن آنها به خاک اثرات مطلوبی بر ویژگی‌های خاک دارد و می‌تواند موجب بهبود باروری و کیفیت خاک و همچنین افزایش عملکرد محصول شود (Kabirinejad et al., 2014).

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استاد گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب استان خراسان رضوی
(*) نویسنده مسئول

(Email: lakzian@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v17i3.68260

ریزجانداران خاک اثر نامطلوبی بر کیفیت خاک و عملکرد محصول داشت. مندهام و همکاران (Mendham et al., 2002) اثر مدیریت‌های مختلف (سوزاندن، حذف و حفظ بقایای گیاهی) بقایای گیاه اکالیپتوس را بر زیست‌توده میکروبی خاک بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که حفظ بقایای گیاهی موجب افزایش کربن و نیتروژن زیست‌توده میکروبی شد در حالی که تفاوتی بین مدیریت‌های سوزاندن و حذف بقایای گیاهی وجود نداشت.

از آنجایی که خاک بخش مهمی از محیط‌زیست را تشکیل می‌دهد، ارزیابی کیفیت آن به‌منظور تشخیص وضعیت کیفی محیط‌زیست امری ضروری است. پژوهش‌های گذشته نشان داده‌اند که غلظت عناصر غذایی خاک (برای مثال کربن آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم) به دلیل اثرات مطلوبی که بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارند، می‌توانند شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی کیفیت و باروری خاک باشند (Karami et al., 2012). همچنین زیست‌توده میکروبی خاک به‌عنوان بخش بسیار فعال و ناپایدار کربن آلی خاک است و کارکرد ویژه‌ای در تجزیه مواد آلی، چرخه عناصر غذایی و پایداری اکوسیستم دارد. بر این اساس، زیست‌توده میکروبی از مهمترین شاخص‌های زیستی خاک محسوب می‌شود (HaghighatKhah et al., 2015).

بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم و چغندرقد (Beta vulgaris) بر برخی ویژگی‌های کیفی خاک نظیر مقدار کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، pH و EC خاک و همچنین تاثیر اعمال این مدیریت‌ها بر کربن زیست‌توده میکروبی و تنفس میکروبی پایه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت دو طرح آزمایشی مجزا در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در بهمن ماه ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب استان خراسان رضوی واقع در جنوب شرق مشهد، طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی با میانگین بارندگی سالانه ۲۶۰ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد اجرا شد.

در آزمایش اول که شامل شش تیمار بود ابتدا ۱۸ کرت با ابعاد ۱×۱ متر و فاصله نیم متر از یکدیگر ایجاد شدند. سپس بقایای گندم شامل ساقه این گیاه به میزان چهار تن در هکتار به تمام کرت‌ها به‌جز شاهد (CW) اضافه شد و تیمارهای رهاسازی بقایای گندم در سطح (W)، بقایای گندم به همراه شخم (PW)، بقایای گندم به همراه کود اوره و شخم (PFW)، سوزاندن بقایای گندم (BW) و سوزاندن بقایای گندم به همراه شخم (BPW) اعمال شدند. در آزمایش دوم که شامل چهار تیمار بود، ۱۲ کرت مشابه با آزمایش اول تهیه و بقایای

نکته قابل توجه در مورد استفاده از بقایای گیاهی این است که کشاورزان معمولاً مدیریت یکسان و یکنواختی را برای استفاده از بقایای گیاهی به‌کار نمی‌برند. بیشتر کشاورزان کاه و کلش غلات را همراه با دانه برداشت و به فروش می‌رسانند و یا بقایای گیاهی را به‌منظور آماده ساختن زمین برای کشت بعدی و یا به بهانه مبارزه با آفات و بیماری‌ها می‌سوزانند. همچنین بعضی کشاورزان بقایای گیاهی را با شخم زدن در خاک دفن می‌نمایند و یا آنها را بر سطح خاک باقی می‌گذارند.

پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که مدیریت بقایای گیاهی حائز اهمیت است و تاثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارد (Mu et al., 2016). به‌عنوان مثال مولامبا و لال (Mulumba and Lal, 2008) گزارش کردند که حفظ بقایای گیاهی غلات در سطح خاک به‌عنوان مالچ میزان آب قابل استفاده گیاه و تخلخل کل خاک را افزایش داد. فرهودی و همکاران (Farhoodi et al., 1999) اثر مدیریت‌های سوزاندن، جمع‌آوری، برگرداندن بقایای گندم (Triticum aestivum) و آیش را بر ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاه بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که برگرداندن بقایای گندم مقدار کربن آلی خاک را افزایش و نیتروژن خاک را کاهش داد و اثری بر مقدار فسفر، پتاسیم، کلسیم، منگنز، روی و pH خاک نداشت. آنها دلیل اصلی کاهش مقدار نیتروژن خاک را اضافه شدن حجم زیادی از بقایای گیاهی گندم حاوی کربن به خاک دانستند. چرا که مواد آلی منبع اصلی انرژی برای ریزجانداران خاک می‌باشند و با افزایش کربن آلی خاک و تشدید فعالیت ریزجانداران، نیاز آنها به نیتروژن افزایش یافته و میزان زیادی از نیتروژن خاک توسط آنها جذب می‌گردد (Farhoodi et al., 1999). گزارش شده است که سوزاندن بقایای گیاهی از طریق افزایش تلفات کربن آلی و نیتروژن خاک، خشک شدن خاک و افزایش سله و ناپایداری خاکدانه‌ها موجب تخریب اکوسیستم‌های زراعی می‌شود (Malhi and Nneji, 2010). در پژوهشی دیگر مو و همکاران (Mu et al., 2016) گزارش کردند که برگرداندن بقایای گیاهی در مقایسه با حذف بقایای گیاهی غلظت نیتروژن کل خاک را افزایش داد.

همچنین مدیریت بقایای گیاهی با تاثیر مستقیم و غیرمستقیم بر کیفیت و کمیت بقایای گیاهی موجود در خاک می‌تواند وضعیت ریزجانداران خاک و به دنبال آن فعالیت‌های میکروبی را تغییر دهد (Hoseini et al., 2010). به‌عنوان مثال حیدری و همکاران (Heidari et al., 2013) در پژوهشی به بررسی اثر برگرداندن و سوزاندن بقایای گیاهی گندم بر ویژگی‌های فیزیکی و زیستی خاک پرداختند و نتیجه گرفتند که برگرداندن بقایا به خاک به دلیل افزایش ماده آلی و اثرات مطلوب آن بر ویژگی‌های فیزیکی و افزایش جمعیت و فعالیت ریزجانداران خاک را به دنبال داشت. در صورتی که سوزاندن بقایا با از بین بردن مواد آلی خاک و همچنین کاهش جمعیت

کربن زیست‌توده میکروبی به روش تدخین-انکوباسیون اندازه‌گیری شد (Jenkinson and Powlson, 1976). در این روش نمونه‌های خاک با رطوبت مزرعه به کمک کلروفرم به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی تدخین شدند. پس از آن نمونه‌های تدخین شده با ۱۰ میلی‌لیتر سوسپانسیون ۱:۱۰ خاک تلقیح شدند. سپس هر نمونه تدخین شده و نمونه تدخین نشده در معرض ۵۰ میلی‌لیتر سود ۰/۵ نرمال و ۱۰ میلی‌لیتر کلرور باریم ۰/۵ نرمال برای مدت ۱۰ روز قرار گرفت. دی‌اکسیدکربن تولید شده از تنفس میکروبی خاک به روش تیتراسیون سود با اسیدکلریدریک ۰/۵ نرمال تعیین شد. با استفاده از معادله ۱ اختلاف بین دی‌اکسیدکربن تولید شده از نمونه‌های تدخین شده و تدخین نشده به‌عنوان کربن زیست‌توده میکروبی تعیین گردید:

$$MBC = \frac{Fc - uFc}{Kc} \quad (1)$$

که در آن MBC کربن زیست‌توده میکروبی (mgC kg Soil^{-1})، Fc دی‌اکسیدکربن تولید شده در نمونه‌های تدخین شده، uFc دی‌اکسیدکربن تولید شده در نمونه‌های تدخین نشده و Kc ضریب بازیافت که معادل ۰/۴۵ است.

تجزیه آماری داده‌ها با نرم‌افزار JMP11، مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

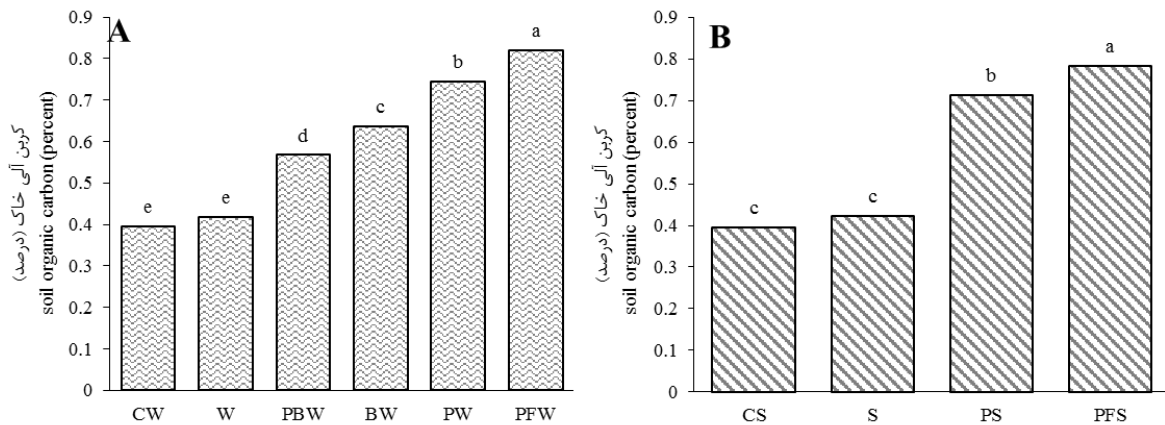
نتایج آنالیزهای آماری نشان داد اثر مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم و چغندر قند بر ویژگی‌های شیمیایی خاک (غیر از اسیدیته) در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد تمام مدیریت‌های بقایای گیاهی گندم و چغندر قند به‌جز رها کردن بقایا در سطح خاک (تیمارهای W و S) موجب افزایش معنی‌دار مقدار کربن آلی خاک نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل ۱). بر این اساس بیشترین مقدار کربن آلی خاک در مدیریت بقایای گیاهی گندم مربوط به تیمار PFW (۰/۸۲ درصد) و در مدیریت بقایای گیاهی چغندر قند مربوط به تیمار PFS (۰/۷۸ درصد) بود. در پژوهش مباح و نیج (Mbah and Nneji, 2010) تیمارهای باقی گذاشتن سطحی بقایا، خرد کردن و مخلوط کردن بقایا و سوزاندن و مخلوط کردن آنها میزان نسبی ماده آلی بیشتری نسبت به تیمار شاهد نشان دادند و تیمار خرد کردن و مخلوط کردن بیشترین ماده آلی را در فصل اول کشت تولید کردند. نتایج پژوهش حسینی و همکاران (Hoseini et al., 2010) نشان داد که افزودن کود نیتروژن موجب افزایش معنی‌دار مقدار کربن آلی خاک شد. احتمالاً در این پژوهش افزودن کود اوره به‌عنوان منبع نیتروژن موجب تحریک رشد گیاهان در تیمارهای PFS و PFW شده است. با رشد این گیاهان و فعالیت فتوسنتزی آنها کربن آلی موجود در اتمسفر از طریق گیاهان تبدیل به

چغندر قند به میزان چهار تن در هکتار به تمام کرت‌ها به‌جز شاهد (CS) اضافه شد و تیمارهای رهاسازی بقایای چغندر قند در سطح (S)، بقایای چغندر قند به همراه شخم (PS)، بقایای چغندر قند به همراه شخم و کود اوره (PFS) اعمال شدند. جهت اعمال تیمارها به شرح ذیل اقدام گردید. در تیمارهای W و S بقایای گیاهی به‌طور یکنواخت در تمام سطح کرت پخش گردید. در تیمارهای PW و PS بقایای گیاهی به‌وسیله شخم تا عمق ۳۰ سانتی‌متر با خاک مخلوط شد. در تیمارهای PFW و PFS بقایای گیاهی همراه با کود اوره به مقدار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار به سطح خاک اضافه و سپس عمل شخم تا عمق ۳۰ سانتی‌متری انجام شد. در تیمار BW ابتدا بقایای گیاهی گندم به‌طور یکنواخت در سطح کرت پخش گردید و سپس عمل سوزاندن به‌صورت دستی انجام شد. در تیمار BPW بقایای گیاهی بعد از سوزاندن به‌وسیله شخم با خاک مخلوط شد. پس از اعمال تیمارهای آزمایشی کلیه کرت‌ها به‌طور یکسان تا حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند. پس از گذشت شش ماه از اعمال تیمارها، نمونه‌برداری از تیمارها به‌صورت مرکب از عمق شخم (۰ تا ۲۵ سانتی‌متری خاک) به روش تصادفی انجام گرفت. سپس نمونه‌ها به سرعت به آزمایشگاه منتقل و به دو دسته تقسیم شدند. نمونه‌های خاک جهت آنالیزهای بیولوژیکی از الک دو میلی‌متری عبور داده و در رطوبت مزرعه در ظروف پلاستیکی در یخچال و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد تا زمان اندازه‌گیری نگهداری شدند. همچنین جهت آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک پیش از اجرای طرح در جدول ۱ نشان داده شده است. pH خاک با استفاده از دستگاه pH متر در گل اشباع، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع توسط دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی، کربن آلی به روش والکلی و بلاک (Walkley and Black, 1934)، نیتروژن کل به روش کجلدال (Farhoodi et al., 1999)، فسفر فراهم خاک به روش اولسن و سامرز (Olsen and Summers, 1982)، پتاسیم قابل دسترس به روش استات‌آمونیم (Chapman, 1962)، کربنات‌کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (Loeppert and Sparks, 1996) و بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986) اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی پایه (BR) به روش ایزرمایر (Isermeyer, 1952)، نمونه‌های خاک را در ظروف در بسته در کنار ۵۰ میلی‌لیتر سود ۰/۵ نرمال و ۱۰ میلی‌لیتر کلرور باریم ۰/۵ نرمال قرار داده و در درون انکوباتور در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد گذاشته شدند. دی‌اکسیدکربن تولید شده از تنفس میکروبی در محلول سود گردآوری شد و در پایان مدت انکوباسیون با اسیدکلریدریک ۰/۵ نرمال تیترا شده و بر حسب $\text{mg CO}_2\text{-C g}^{-1} 24\text{h}^{-1}$ گزارش شد.

تیمارهای PFS و PFW مقدار کربن آلی بیشتری نسبت به سایر تیمارها نشان دادند (شکل ۱).

ترکیبات آلی شده و بخشی از این ترکیبات به شکل تراوشات ریشه وارد محیط خاک می‌شوند (Hoseini et al., 2010). از این رو

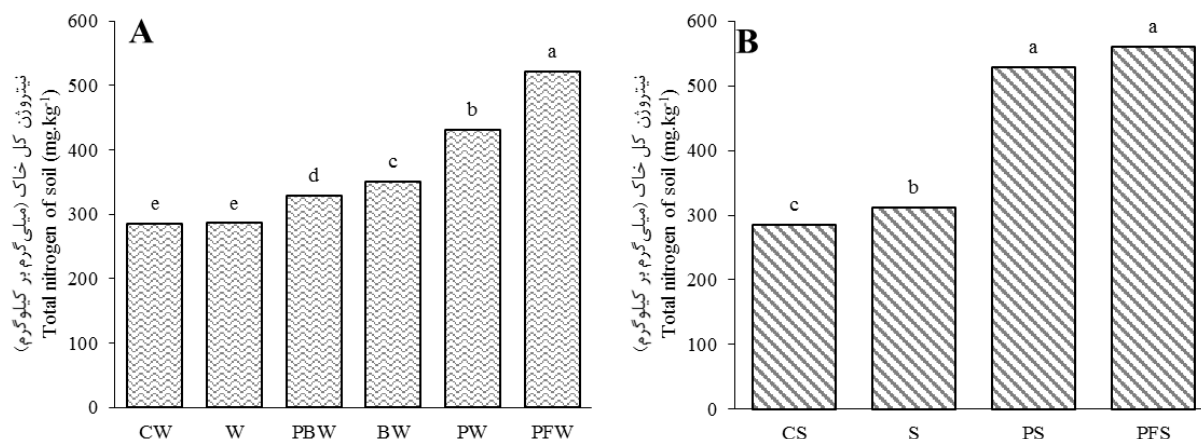


شکل ۱- اثر مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم (نمودار A) و چغندر قند (نمودار B) بر مقدار کربن آلی خاک
Figure 1- Effect of various management of wheat (chart A) and sugar beet residues (chart B) on the amount of organic carbon in the soil

نتایج نشان داد مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم و چغندر قند به‌جز رهاسازی بقایای گندم در سطح خاک به‌عنوان مالچ (تیمار W) موجب افزایش معنی‌دار نیتروژن کل خاک نسبت به تیمار شاهد شد. در مدیریت بقایای گیاهی گندم، تیمار PFW موجب بیشترین افزایش در مقدار نیتروژن کل خاک به مقدار ۸۳٪ نسبت به تیمار شاهد شد. بعد از این تیمار، تیمارهای PW، PBW و BW به‌ترتیب موجب افزایش ۵۱٪، ۲۳٪ و ۱۵٪ مقدار نیتروژن کل خاک نسبت به تیمار شاهد شدند. همچنین در مدیریت بقایای گیاهی چغندر قند بیشترین مقدار نیتروژن کل خاک مربوط به تیمارهای PFS و PS به‌ترتیب با مقدار ۵۶۰ و ۵۲۹ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک خشک بود که تقریباً دو برابر بیشتر از تیمار شاهد بود. هرچند تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار PFS و PS مشاهده نشد (شکل ۲).

در پژوهش قوشچی و همکاران (Ghoushchi et al., 2010) تیمارهای حاوی کود نیتروژن از منبع اوره نسبت به تیمارهای رهاسازی بقایا در سطح خاک، برگردان بقایا و سوزاندن بقایا بیشترین مقدار نیتروژن خاک را داشتند. همچنین نتایج قوشچی و همکاران (Ghoushchi et al., 2010) نشان داد که تیمار سوزاندن بقایا کمترین مقدار نیتروژن خاک را در بین تیمارهای مورد مطالعه داشت شد که مخالف با نتایج این پژوهش بود. به هر حال افزایش در نیتروژن کل خاک در تیمارهای سوزاندن بقایا (PBW و BW) نسبت به تیمار شاهد در این پژوهش تا اندازه‌ای به انتقال دمایی ترکیبات غیرقابل استفاده گیاه (برای مثال میکروب‌ها، گروه‌های آمیدی ثانویه اصلی و آمینواسیدها) به فرم‌های قابل استفاده گیاه در طی سوزاندن نسبت داده می‌شود (Hemwong et al., 2008).

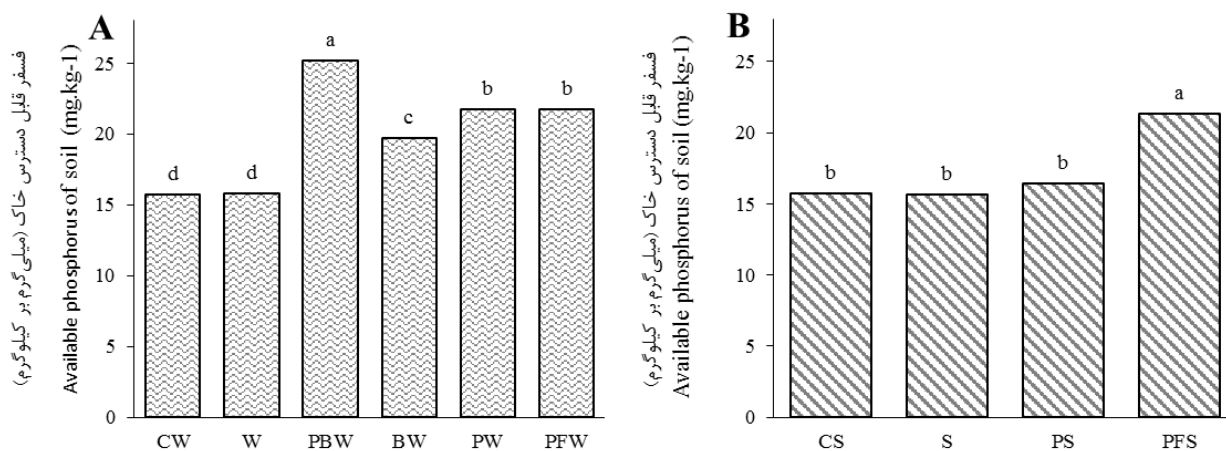
بیشترین تغییرات مشاهده شده در خاک طی سوزاندن، هدر رفت یا کاهش ماده آلی است (Hoseini et al., 2010). ولی در این پژوهش تیمارهای BW و PBW به‌ترتیب موجب افزایش ۶۱٪ و ۴۳٪ کربن آلی خاک نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل ۱). نتایج پژوهش کارا و بولات (Kara and Bolat, 2009) نشان داد که تیمار سوزاندن بقایای گیاهی موجب افزایش مقدار کربن آلی خاک شد. آنها بیان کردند که خاکستر به جای مانده از عمل سوزاندن ممکن است مقدار کربن آلی خاک را افزایش داده باشد. به هر حال باید به این نکته توجه شود که بخش عمده این نوع کربن از نوع بیوچار است که فقط از نظر ترسب کربن در خاک اهمیت دارد ولی از نظر تاثیر بر تغذیه موجودات زنده خاک یا اثر بر ویژگی‌های زیستی و شیمیایی خاک ناچیز است. نتایج در مورد اثرات سوزاندن بقایای گیاهی بر مقدار کربن آلی خاک متفاوت است. پژوهش صورت گرفته در منطقه مدیترانه نشان داد که عمل سوزاندن موجب کاهش مقدار کربن آلی خاک شد (Kutiel et al., 1990). پاردینی و همکاران (Pardini et al., 2004) بیان کردند که سوزاندن در کوتاه مدت از طریق تبدیل فرم‌های آلی غیر قابل استفاده به فرم‌های معدنی قابل استفاده مقدار کربن آلی خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد. مقدار بیشتر کربن آلی در تیمار BW نسبت به تیمار PBW احتمالاً به‌خاطر عمل شخم و ورود مقدار بیشتر اکسیژن به خاک باشد که سبب افزایش فعالیت تنفسی ریزجانداران خاک و در نتیجه افزایش معدنی شدن کربن آلی خاک شده است. نتایج به‌دست آمده از تنفس میکروبی پایه نشان‌دهنده این واقعیت است (شکل ۷).



شکل ۲- اثر مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم (نمودار A) و چغندر قند (نمودار B) بر مقدار نیتروژن کل خاک
Figure 2- Effect of various management of wheat (chart A) and sugar beet residues (chart B) on the total nitrogen content of the soil

شکل ۳ نشان‌دهنده اثر مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم و چغندر قند بر مقدار فسفر قابل دسترس خاک است. در مدیریت بقایای گیاهی گندم بیشترین مقدار فسفر قابل دسترس خاک (۲۵/۲) میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک) مربوط به تیمار PBW بود که تقریباً ۶۰٪ بیشتر از تیمار شاهد بود. همچنین تیمارهای PW، PFW و BW به ترتیب موجب افزایش ۳۸٪، ۳۸٪ و ۲۵٪ مقدار فسفر قابل دسترس خاک نسبت به تیمار شاهد شدند. به هرحال رهاسازی بقایای گندم در سطح خاک (تیمار W) اثر معنی‌داری بر مقدار فسفر قابل دسترس خاک نداشت. در مدیریت بقایای گیاهی چغندر قند بیشترین مقدار فسفر قابل دسترس خاک (۲۱/۳۵) میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک) مربوط به تیمار PFS بود که موجب افزایش ۳۰٪ نسبت به تیمار شاهد شد. به هرحال تیمارهای PS و S اثر معنی‌داری بر مقدار فسفر قابل دسترس خاک نداشتند (شکل ۳).

نتایج مقایسه دو بقایای گیاهی استفاده شده در این پژوهش نشان داد که به‌طور کلی تیمارهای حاوی بقایای گیاهی چغندر قند مقدار نیتروژن کل خاک بیشتری نسبت به تیمارهای حاوی بقایای گیاهی گندم داشتند (شکل ۲). برگ‌های بالایی چغندر قند منبع غنی نیتروژن بوده به‌طوری‌که تقریباً ۴۷٪ کود نیتروژن استفاده شده در برگ‌های آن ذخیره می‌شود و معمولاً بعد از برداشت در خاک باقی می‌ماند (Vos and Van der Putten, 2000). به همین دلیل بقایای گیاهی چغندر قند دارای نسبت C:N کمتری در مقایسه با بقایای گیاهی گندم است. آزاد کردن عناصر غذایی توسط بقایای گیاهی بستگی به نسبت C:N و میزان لیگنین و پلی فنول دارد برای مثال بقایای گیاهی با نسبت C:N، لیگنین و پلی فنول بالا به آرامی تجزیه شده و عناصر غذایی کمتری را آزاد می‌کنند (Achakzai et al., 2006).

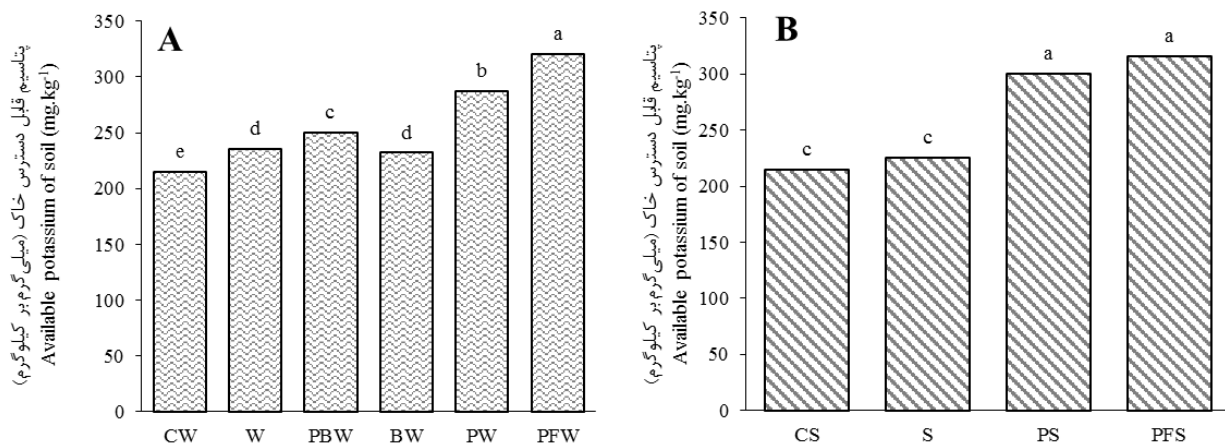


شکل ۳- اثر مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم (نمودار A) و چغندر قند (نمودار B) بر مقدار فسفر قابل دسترس خاک
Figure 3- The Effect of different management of wheat (chart A) and Sugar Beet residues (chart B) on available P content of soil

تیمارها به دلیل عمل تجزیه، آزادسازی فسفر قابل دسترس به درون خاک به آهستگی صورت گرفته در حالی که در تیمار PBW به دلیل خاکستر حاصل از این عمل میزان آزادسازی فسفر سریع‌تر صورت گرفته و باعث افزایش بیشتر مقدار آن در مقایسه با سایر تیمارها شده است.

تمام مدیریت‌های بقایای گیاهی گندم و چغندر قند موجب افزایش معنی‌دار پتاسیم قابل دسترس خاک نسبت به تیمار شاهد شدند. بر این اساس در مدیریت بقایای گیاهی گندم بیشترین مقدار پتاسیم قابل دسترس خاک مربوط به تیمار PFW با مقدار $320/3$ میلی گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک خشک بود که تقریباً 49% بیشتر از تیمار شاهد بود. پس از آن تیمارهای PW، PBW، BW و W به ترتیب موجب افزایش 23% ، 16% ، 9% و 7% در مقدار پتاسیم قابل دسترس خاک نسبت به تیمار شاهد شدند. همچنین در مدیریت بقایای گیاهی چغندر قند بیشترین مقدار پتاسیم قابل دسترس خاک مربوط به تیمارهای PFS و PS به ترتیب با مقدار $315/6$ و $300/2$ میلی گرم پتاسیم در کیلوگرم خاک خشک بود که تقریباً 46% و 40% بیشتر از تیمار شاهد بود (شکل ۴).

دلیل بیشتر بودن فسفر قابل دسترس در تیمار PBW را می‌توان به عمل سوزاندن نسبت داد که در طی آن مواد آلی خاک سریعاً به خاکستر تبدیل شده و در نهایت عناصر غذایی نظیر فسفر در خاکستر بقایای گیاهی به شکل محلول در آمده است (Ghoushchi et al., 2010). همچنین با توجه به اینکه در تیمار PBW خاکستر به دست آمده به داخل خاک برگردان شد از تلفات آن به صورت فرسایش آبی و بادی جلوگیری شد. به همین دلیل مقدار فسفر قابل دسترس در تیمار PBW نسبت به تیمار BW که تنها عمل سوزاندن در آن صورت گرفته بود بیشتر بود (شکل ۳). دلیل افزایش میزان فسفر قابل دسترس در تیمارهای PW و PFW و PFS نیز ممکن است به علت کاهش تثبیت فسفر در اثر کاربرد بقایای گیاهی باشد. احتمالاً قرار گرفتن بقایای گیاهی در خاک باعث تولید مولکول‌های هومیک و اسیدهای آلیفاتیک با وزن مولکولی کم می‌گردد که از طریق تشکیل کمپلکس با اکسیدهای Al و ترکیبات کلسیم موجب کاهش تثبیت فسفر می‌شود (Haynes and Mokobolate, 2009). همچنین دلیل افزایش کمتر فسفر قابل دسترس در تیمارهای PW و PFW در مقایسه با عمل سوزاندن را می‌توان به این دلیل ذکر کرد که در این

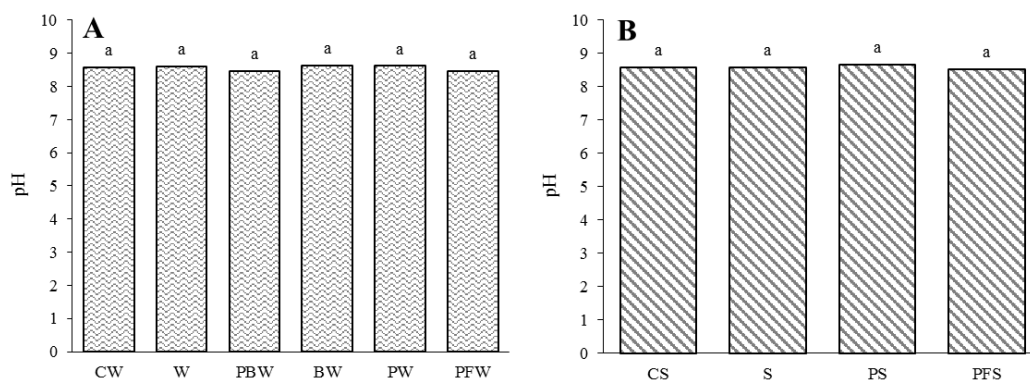


شکل ۴- اثر مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم (نمودار A) و چغندر قند (نمودار B) بر مقدار پتاسیم قابل دسترس خاک
Figure 4- The effect of different management of wheat (chart A) and sugar beet residues (chart B) on available potassium content in soil

خارج کردن آن از مزرعه نسبت به تیمار آیش تاثیر معنی‌داری بر پتاسیم خاک نداشت که این موضوع می‌تواند به دلیل تجزیه آهسته بقایای گیاهی استفاده شده در تیمار برگرداندن بقایا به خاک باشد. دلیل افزایش پتاسیم قابل دسترس در نتیجه تیمارهای مخلوط (تیمارهای PFW، PW، PFS و PS) را می‌توان به آزادسازی تدریجی این عنصر در نتیجه عمل تجزیه بقایا نسبت داد. در مقابل در تیمار سوزاندن بقایا (تیمارهای PBW و BW) به دلیل آزادسازی سریع‌تر این عنصر نسبت به عمل تجزیه، میزان آبشویی آن بیشتر شده و در نتیجه باعث کاهش آن نسبت به سایر تیمارهای مذکور شد.

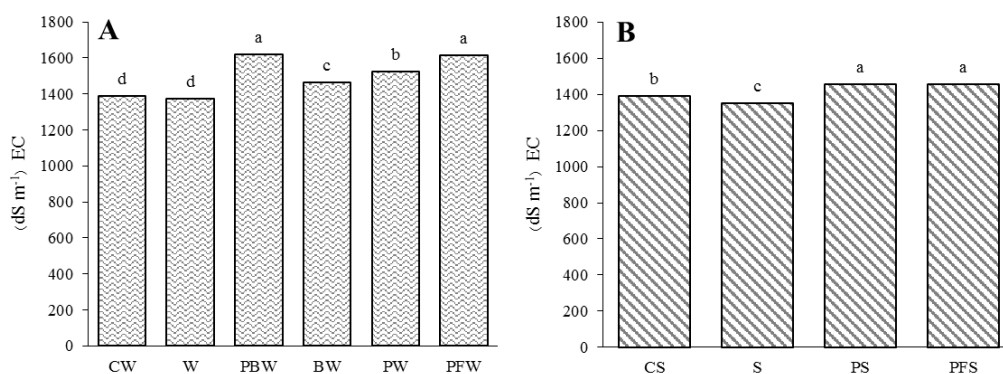
قوشچی و همکاران (Ghoushchi et al., 2010) گزارش کردند که تیمار برگردان بقایا همراه با کود اوره و دامی بیشترین و تیمار سوزاندن بقایا همراه با شخم کمترین مقدار پتاسیم قابل دسترس خاک را داشتند. همچنین نجفی‌نژاد و همکاران (Najafinezhad et al., 2007) نیز کاهش پتاسیم قابل دسترس خاک در تیمار سوزاندن بقایای گیاهی نسبت به تیمار حفظ بقایا را مشاهده کردند. به هرحال پژوهش صورت گرفته توسط فرهودی و همکاران (Farhoodi et al., 1999) نشان داد که سوزاندن بقایای گیاهی سبب افزایش معنی‌دار پتاسیم خاک گردید در حالی که برگرداندن بقایا به خاک و

گیاهی گندم، موجب تغییرات کمی در pH خاک خواهند شد در حالی که بقایای گیاهی خانواده بقولات اثر قابل توجهی بر مقدار pH خاک دارند (Xu and Coventry, 2003). به هر حال در این پژوهش احتمالاً ظرفیت بافری بالای خاک به دلیل حضور مقادیر بالای کربنات کلسیم می‌تواند موجب عدم تغییر pH خاک در اثر افزودن بقایای گیاهی شده باشد.



شکل ۵- اثر مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم (نمودار A) و چغندر قند (نمودار B) بر pH خاک
Figure 5- Effect of various management of wheat (chart A) and sugar beet residues (chart B) on soil pH

محلول خاک و در نتیجه افزایش EC خاک موثر باشد. افزایش EC بعد از عمل سوزاندن در تیمارهای PBW و BW در نتیجه یون‌های معدنی محلول است که در طی سوزاندن ماده آلی خاک آزاد شده‌اند. همچنین خاکسترهای به‌وجود آمده در طی سوزاندن به‌وسیله ماده آلی، به آزادسازی نمک‌های محلول کمک می‌کنند و این باعث افزایش EC می‌شود (Hernández et al., 1997). برخلاف تیمارهای مذکور، رهاسازی بقایا در سطح خاک (تیمارهای W و S) موجب کاهش EC خاک نسبت به تیمار شاهد شدند که این کاهش در مورد تیمار S در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. در تیمارهای رهاسازی بقایا در سطح به علت وجود بقایای موجود در سطح خاک تبخیر و تفرق کاهش یافته و در نتیجه شوری خاک کاهش می‌یابد.

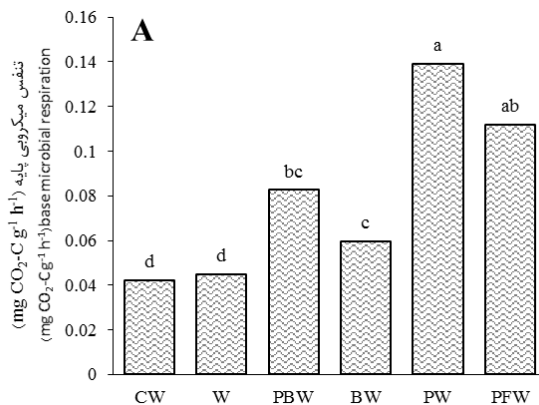


شکل ۶- اثر مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم (نمودار A) و چغندر قند (نمودار B) بر مقدار EC خاک
Figure 6- The effect of various management of wheat (chart A) and sugar beet residues (chart B) on the soil EC

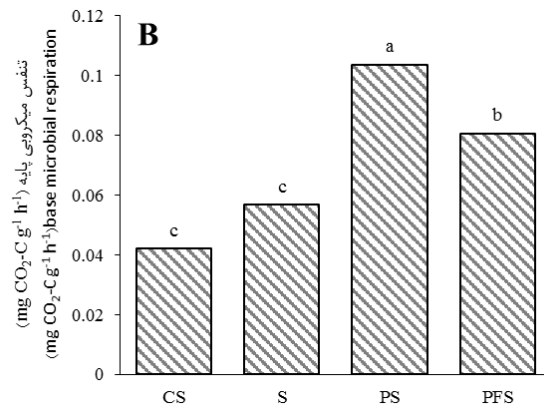
نتایج آنالیزهای آماری نشان داد که مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم و چغندر قند اثر معنی‌داری بر مقدار pH خاک نداشت (شکل ۵). حفظ بقایای گیاهی می‌تواند pH خاک را تحت تاثیر قرار دهد. در واقع جهت و مقدار تغییر در pH خاک به ترکیب شیمیایی بقایای گیاهی استفاده شده و ویژگی‌های خاک بستگی دارد (Xu and Coventry, 2003; Butterly et al., 2011). بقایای گیاهی که دارای مقادیر کم از خاکستر قلیایی و نیتروژن هستند مثل بقایای

شکل ۶ نشان‌دهنده اثر مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی بر EC خاک است. نتایج نشان داد که تمام مدیریت‌های بقایای گیاهی گندم و چغندر قند به‌جز رهاسازی بقایا در سطح خاک (تیمارهای S و W) موجب افزایش معنی‌دار مقدار EC خاک نسبت به تیمار شاهد شدند. بر این اساس بیشترین مقدار EC خاک در مدیریت بقایای گیاهی گندم مربوط به تیمارهای PBW و PFW (۱/۶ دسی زیمنس بر متر) و در مدیریت بقایای گیاهی چغندر قند مربوط به تیمارهای PS و PFS (۱/۴۵ دسی زیمنس بر متر) بود (شکل ۶). کبیری نژاد و همکاران (Kabirinezhad et al., 2014) گزارش کردند که برگردان بقایای گیاهی مختلف به خاک موجب افزایش شوری خاک شد. آنها بیان کردند که تجزیه بقایای گیاهی موجب آزادسازی عناصر مختلف از بقایای گیاهی می‌شود، که می‌تواند در افزایش مقدار یون‌ها در

۱۶۶، ۹۶ و ۴۱ درصدی تنفس میکروبی پایه خاک نسبت به تیمار شاهد شدند. همچنین در مدیریت بقایای گیاهی چغندرقد بیشترین مقدار تنفس میکروبی مربوط به تیمارهای PS و PFS با مقدار ۰/۱ و ۰/۰۸ بود که تقریباً ۱۴۶ و ۹۱ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود (شکل ۷).



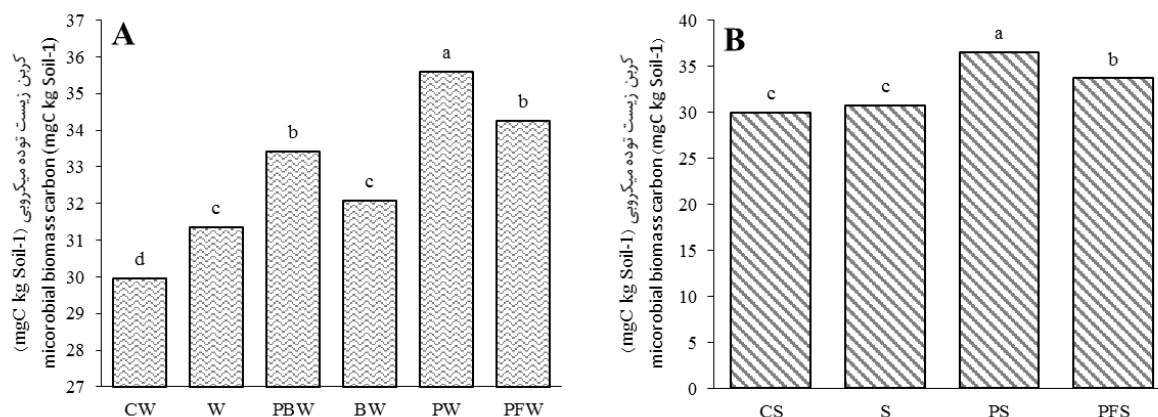
نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده اثر مثبت تمام مدیریت‌های بقایای گیاهی گندم و چغندرقد بر ویژگی‌های زیستی مورد بررسی بود. شکل ۷ نشان‌دهنده اثر مدیریت بقایای گیاهی بر تنفس میکروبی پایه خاک است. نتایج نشان داد در مدیریت بقایای گیاهی گندم تیمارهای PW، PFW، BW و به‌ترتیب موجب افزایش ۲۳۱،



شکل ۷- اثر مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم (نمودار A) و چغندرقد (نمودار B) بر مقدار تنفس میکروبی پایه خاک
Figure 7- Effect of different management of wheat residues (chart A) and sugar beet (chart B) on amount of soil microbial respiration

حیدری و همکاران (Heidari et al., 2013) گزارش کردند که برگردان بقایا به خاک تنفس میکروبی پایه خاک را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. افزایش در میزان معدنی شدن کربن پس از عمل سوزاندن توسط پژوهش‌های ژائو و همکاران (Zhao et al., 2012) و وارد و همکاران (Ward et al., 2007) گزارش شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تیمارهای بقایای گیاهی به همراه شخم (تیمارهای PS و PW) بیشترین مقدار تنفس میکروبی را داشتند چرا که افزودن بقایا به خاک از طریق افزایش ماده آلی و بیشتر شدن تعداد ریزجانداران بومی خاک (Heidari et al., 2013) و همچنین عمل شخم از طریق ورود اکسیژن بیشتر به خاک سبب افزایش فعالیت تنفسی ریزجانداران خاک می‌شود. به هر حال نتایج نشان داد که افزودن کود اوره در تیمارهای PFW و PFS اثر منفی بر ریزجانداران خاک داشته و موجب کاهش تنفس میکروبی نسبت به تیمارهای PS و PW که فاقد کود اوره بودند، شد. هی و همکاران (He et al., 2013) عنوان داشتند که پتانسیل اسمزی محلول خاک که در نتیجه افزودن مقادیر زیاد کود نیتروژنی به خاک افزایش می‌یابد منجر به تنش اسمزی و مرگ سلولی ریزجانداران حساس خاک و در نتیجه کاهش تنفس میکروبی خاک می‌شود. افزایش تنفس میکروبی پایه خاک در تیمارهای سوزاندن بقایا (تیمارهای PW و BW) نسبت به تیمار شاهد در این پژوهش احتمالاً به دلیل افزایش مقدار کربن آلی و نیتروژن خاک و همچنین بهبود کیفیت سوبسترا برای رشد ریزجانداران و افزایش فراهمی مواد محرک رشد ریزجانداران در اثر فرآیند سوزاندن باشد (Hatten and Zabowski,

2009; Rutigliano et al., 2007). به‌طور کلی عمل سوزاندن از طریق تاثیر بر ویژگی‌های غیرزیستی خاک و همچنین ترکیب و فعالیت جمعیت میکروبی خاک موجب افزایش متابولیسم میکروبی در خاک پس از عمل سوزاندن می‌شود (Zhao et al., 2012). مشابه با نتایج به‌دست آمده برای تنفس میکروبی پایه خاک، در مدیریت بقایای گیاهی گندم و چغندرقد بیشترین مقدار کربن زیست‌توده میکروبی مربوط به تیمار بقایای گیاهی همراه با شخم (تیمار PS و PW) و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد بود. به‌طور کلی در مدیریت بقایای گیاهی گندم تیمارهای PW، PFW، PBW و BW به‌ترتیب موجب افزایش ۱۸، ۱۴، ۱۱ و ۷ درصدی کربن زیست‌توده میکروبی خاک نسبت به تیمار شاهد شدند. همچنین در مدیریت بقایای گیاهی چغندرقد تیمارهای PS و PFS موجب افزایش ۲۱ و ۱۲ درصدی کربن زیست‌توده میکروبی خاک نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل ۸). کربن زیست‌توده میکروبی خاک یکی از ناپایدارترین بخش‌های مواد آلی خاک است. اگرچه کربن زیست‌توده میکروبی تنها یک تا سه درصد از کل ماده آلی خاک را تشکیل می‌دهد ولی نقش محوری در چرخه کربن خاک دارد. مقدار کربن زیست‌توده میکروبی اغلب به‌خوبی مرتبط با مقدار کربن آلی و عناصر غذایی خاک نیست ولی اثر قابل توجهی در آزادسازی عناصر غذایی و دینامیک کربن آلی خاک دارد و همچنین شاخصی حساس به عوامل محیطی مثل رطوبت، دما و عملیات‌های مدیریتی از قبیل افزودن بقایای گیاهی به خاک است (HaghighatKhah et al., 2015).



شکل ۸- اثر مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم (نمودار A) و چغندر قند (نمودار B) بر مقدار کربن زیست‌توده میکروبی خاک
Figure 8- Effect of various management of wheat (chart A) and sugar beet residues (chart B) on amount of microbial biomass carbon

عمل سوزاندن و همچنین کربن آلی ناپایدار و آمونیوم آزاد شده از ریزجانداران نابود شده در طی سوزاندن می‌تواند موجب افزایش رشد ریزجانداران خاک و کربن زیست‌توده میکروبی خاک شده باشد (Snyman, 2003; Anderson *et al.*, 2004). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که عمل شخم همراه با سوزاندن بقایای گیاهی (تیمار PBW) اثر افزایش بیشتری بر مقدار کربن زیست‌توده میکروبی نسبت به عمل سوزاندن تنها (تیمار BW) دارد. احتمالاً مخلوط کردن قسمت بالایی خاک با انجام عمل شخم از اثرات مضر سوزاندن در لایه سطحی کاسته و ریزجانداران لایه‌های پایین‌تر، که از اثرات آتش مصون مانده‌اند، را به سطح خاک منتقل می‌کند (Hoseini *et al.*, 2010). بنابراین شاهد افزایش کربن زیست‌توده میکروبی در تیمار PBW نسبت به تیمار BW بودیم.

نتیجه‌گیری

مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم و چغندر قند موجب تغییرات معنی‌داری بر ویژگی‌های شیمیایی (به جز pH) و زیستی مورد بررسی شدند. به‌طور کلی تمام مدیریت‌های بقایای گیاهی به‌جز رهاسازی بقایا در سطح خاک موجب افزایش معنی‌دار مقدار کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس، پتاسیم قابل دسترس، تنفس میکروبی پایه و کربن زیست‌توده میکروبی خاک شدند. افزایش مشاهده شده احتمالاً به دلیل فقیر بودن خاک از عناصر غذایی و ماده آلی باشد. در ارتباط با وضعیت کربن آلی و عناصر غذایی خاک به نظر می‌رسد موثرترین روش مدیریتی ابتدا تیمار بقایای گیاهی به همراه کود اوره و شخم (تیمارهای PFW و PFS) و سپس تیمار بقایای گیاهی به همراه شخم (تیمارهای PS و PW) باشد. به هر حال در مورد تنفس میکروبی پایه و کربن زیست‌توده میکروبی خاک موثرترین روش مدیریتی ابتدا تیمار بقایای گیاهی به همراه شخم (تیمارهای PS و PW) و سپس تیمار بقایای گیاهی به همراه کود اوره

حفظ بقایای گیاهی یکی از عوامل مهم در افزایش فعالیت و کربن زیست‌توده میکروبی خاک است (Turmel *et al.*, 2015). لو و همکاران (Lou *et al.*, 2011) بیان کردند که حفظ بقایای گیاهی از طریق افزایش مقدار کربن آلی و نیتروژن، افزایش رطوبت و تخلخل و کاهش دمای خاک موجب افزایش معنی‌دار کربن زیست‌توده میکروبی نسبت به تیمار بدون بقایای گیاهی شد. به هر حال مشابه با تنفس میکروبی نتایج نشان داد که افزودن کود اوره در تیمارهای PFW و PFS موجب کاهش کربن زیست‌توده میکروبی خاک نسبت به تیمارهای PS و PW شد. احتمالاً افزودن کود اوره (زیادی نیتروژن در خاک) از طریق تغییر در فراهمی کربن سبب کاهش کربن زیست‌توده میکروبی خاک شده است. در واقع زیادی نیتروژن در خاک از طرق مختلف (مثل کاهش تولید آنزیم لیگنیناز توسط قارچ‌ها و در نتیجه کاهش تجزیه لیگنین، کاهش توسعه ریشه و قارچ‌های میکوریزی و در نتیجه کاهش تولید ترکیبات کربنی، پیوند ترکیبات نیتروژنی با کربوهیدرات‌ها و تشکیل ترکیبات دیر تجزیه‌پذیر) موجب کاهش دسترسی کربن برای ریزجانداران خاک و در نتیجه کاهش تنفس و زیست‌توده میکروبی خاک می‌شود (Treseder, 2008).

در مقایسه با تیمارهای PW و PFW، تیمار سوزاندن بقایا (BW و PBW) موجب افزایش کمتری در کربن زیست‌توده میکروبی شدند که این احتمالاً به دلیل از بین رفتن بخش عمده‌ای از ریزجانداران خاک در اثر حرارت ناشی از آتش باشد (Aajwa *et al.*, 1999). به هر حال در توافق با نتایج این پژوهش ژائو و همکاران (Zhao *et al.*, 2012) گزارش کردند که در اولین فصل رشد بعد از عمل سوزاندن مقدار کربن زیست‌توده میکروبی خاک تحت سوزاندن بقایای گیاهی به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک بدون سوزاندن بقایای گیاهی بود. آنها بیان کردند که احتمالاً فراهمی بیشتر مواد آلی بعد از عمل سوزاندن علت مقدار بیشتر کربن زیست‌توده میکروبی در این تیمار باشد. علاوه بر این عناصر آزاد شده از بقایای گیاهی در طی

بالای ایجاد شده در طی سوزاندن می‌تواند موجب مرگ و از بین رفتن ریزجانداران خاک شود. بنابراین براساس یافته‌های این پژوهش می‌توان گفت که در منطقه مورد مطالعه روش‌های مدیریتی شامل تیمار بقایای گیاهی به همراه کود اوره و شخم و تیمار بقایای گیاهی به همراه شخم مناسب‌ترین باشند. همچنین توصیه می‌شود اثر روش‌های مدیریتی مورد مطالعه بر عملکرد گیاه و سایر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و در بازه‌های طولانی مدت مورد ارزیابی قرار گیرد.

و شخم (تیمارهای PFW و PFS) بود. به نظر می‌رسد در این پژوهش افزودن کود اوره از طریق کاهش فراهمی کربن برای ریزجانداران خاک موجب کاهش تنفس و کربن زیست‌توده میکروبی شده باشد. همچنین در این پژوهش اگرچه تیمارهای سوزاندن بقایای گیاهی (PBW و BW) موجب بهبود وضعیت عناصر غذایی، تنفس میکروبی پایه و کربن زیست‌توده میکروبی نسبت به تیمار شاهد شدند ولی کارایی کمتری نسبت به تیمارهای PW و PFW داشتند. به نظر می‌رسد این روش مدیریتی احتمال تلفات و هدر رفت کربن و عناصر غذایی را در طولانی مدت افزایش می‌دهد و همچنین به دلیل دمای

References

- Achakzai, A. K. K., and Bangulzai, M. I. 2006. Effect of various levels of nitrogen fertilizer on the yield and yield attributes of pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. *Pakistan Journal of Botany* 38 (2): 331-340.
- Ajwa, H. A., Dell, C. J., and Rice, C. W. 1999. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. *Soil Biology and Biochemistry* 31 (5): 769-777.
- Andersson, M., Michelsen, A., Jensen, M., and Kjoller, A. 2004. Tropical savannah woodland: effects of experimental fire on soil microorganisms and soil emissions of carbon dioxide. *Soil Biology and Biochemistry* 36 (5): 849-858.
- Bremner, J. M., and Mulvaney, C. S. 1982. Nitrogen-total. P 595-624, In: A.L. Page (Eds), *Methods of Soil Analysis*, American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Butterly, C. R., Bhatta Kaudal, B., Baldock, J. A., and Tang, C. 2011. Contribution of soluble and insoluble fractions of agricultural residues to short-term pH changes. *European Journal of Soil Science* 62 (5): 718-727.
- Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. P 891-901, In: C.A. Black (Eds), *Methods of Soil Analysis*, American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Du Preez, C. C., Steyn, J. T., and Kotze, E. 2001. Long-term effects of wheat residue management on some fertility indicators of a semi-arid Plinthosol. *Soil and tillage Research* 63 (1): 25-33.
- FAO. 2011. *Soil Health: Technologies that Save and Grow*. FAO, Rome.
- Farhoodi, R., Chaychi, M. R., Majnun Hoseini, N., and Savaghebi, G. H. R. 1999. The Effect of Managing Wheat Plant Residues on Soil Properties and Sunflower Performance in a Double Crop System. *Iranian Crop Science* 39 (1): 11-21.
- Gee, G. H., and Bauder, J. W. 1986. Particle size analysis. P 383-409, In: A. Klute (Eds), *Methods of Soil Analysis*, Part 2 physical properties, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Ghoushchi, F., Jourablou, A., Silespour, M., and Hadi, H. 2010. Effect of tillage and management of *Hordeum vulgare* L. on the soil and corn characteristics of forage (*Zea mays* L.). *Agricultural Ecology* 3 (2): 428-436.
- HaghighatKhah, N., Hojjati, S., Landi, A., and Moetamedi, H. 2015. Effect of burning sugarcane and corn plants on different forms of carbon in some soils of Khuzestan province. *Water and Soil Knowledge* 25 (1): 129-142.
- Hatten, J. A. and Zabowski, D. 2009. Changes in soil organic matter pools and carbon mineralization as influenced by fire severity. *Soil Science Society of America Journal* 73 (1): 262-273.
- Haynes, R. J., and Mokolobate, M. S. 2001. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. *Nutrient cycling in Agroecosystems* 59 (1): 47-63.
- He, Y., Qi, Y., Dong, Y., Xiao, S., Peng, Q., Liu, X., and Sun, L. 2013. Effects of nitrogen fertilization on soil microbial biomass and community functional diversity in temperate grassland in Inner Mongolia, China. *CLEAN–Soil, Air, Water* 41 (12): 1216-1221.
- Heidari, F., Rasolzadeh, A., SepasKhah, A., Asghari, A., and Ghavidel, A. 2013. The effect of management of plant remains on the physical and biological characteristics of soil and yield of corn fodder and barley. *Water and Soil* 17 (65): 233-248.
- Hemwong, S., Cadisch, G., Toomsan, B., Limpinuntana, V., Vityakon, P., and Patanothai, A. 2008. Dynamics of residue decomposition and N₂ fixation of grain legumes upon sugarcane residue retention as an alternative to burning. *Soil and Tillage Research* 99 (1): 84-97.
- Hernández, T., Garcia, C., and Reinhardt, I. 1997. Short-term effect of wildfire on the chemical, biochemical and microbiological properties of Mediterranean pine forest soils. *Biology and Fertility of Soils* 25 (2): 109-116.
- Hoseini, ., Lakzian, A., and Emami, H .,hG ,HaghNia .,S .M2010 .Consequences of different management of barley residue on carbon indices of microbial biomass, organic carbon and total nitrogen in soil .*Agricultural Ecology* 3 (2): 272-282.

20. Isermeyer, H. 1952. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde* 56 (1-3): 26-38.
21. Jenkinson, D. S., and Powlson, D. S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—I. Fumigation with chloroform. *Soil Biology and Biochemistry* 8 (3): 167-177.
22. Kabirinejad, S., Kalbasi, M., Khoshgoftarmanesh, A. H., Hoodaji, M., and Afyuni, M. 2014. Effect of Incorporation of Crops Residue into Soil on Some Chemical Properties of Soil and Bioavailability of Copper in Soil. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 2 (11): 2819-2824.
23. Kara, O., and Bolat, I. 2009. Short-term effects of wildfire on microbial biomass and abundance in black pine plantation soils in Turkey. *Ecological Indicators* 9 (6): 1151-1155.
24. Karami, A., Homaei, M., Afzalnia, S., Ruhipour, H., and Basirat, S. 2012. Organic resource management: Impacts on soil aggregate stability and other soil physico-chemical properties. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 148: 22-28.
25. Kutiel, P., Naveh, Z., and Kutiel, H., 1990. The effect of a wildfire on soil nutrients and vegetation in an Aleppo pine forest on Mount Carmel, Israel. In: Goldammer, J.G., Jenkins, M.J. (Eds.), *Fire in Ecosystem Dynamics: Mediterranean and Northern Perspectives*. SPB Academic Publishing, The Hague, pp. 85-94.
26. Lal, R. A. 2005. World crop residues production and implications of its use as a biofuel. *Environment International* 31 (4): 575-584.
27. Loeppert, R. H., and Sparks, D. L. 1996. Carbonate and gypsum. P 437-474, In: D.L. Sparks (Eds), *Methods of Soil Analysis, Part3 chemical methods*, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
28. Lou, Y., Liang, W., Xu, M., He, X., Wang, Y., and Zhao, K. 2011. Straw coverage alleviates seasonal variability of the topsoil microbial biomass and activity. *Catena* 86 (2): 117-120.
29. Lou, Y., Xu, M., Wang, W., Sun, X., and Zhao, K. 2011. Return rate of straw residue affects soil organic C sequestration by chemical fertilization. *Soil and Tillage Research* 113 (1): 70-73.
30. Malhi, S. S., and Kutcher, H. R. 2007. Small grains stubble burning and tillage effects on soil organic C and N, and aggregation in northeastern Saskatchewan. *Soil and Tillage Research* 94 (2): 353-361.
31. Mbah, C. N., and Nneji, R. K. 2010. Effect of different crop residue management techniques on selected soil properties and grain production of maize. *Journal of Applied Sciences Research* 6 (2): 151-155.
32. Mendham, D. S., Sankaran, K. V., O'connell, A. M., and Grove, T. S. 2002. Eucalyptus globulus harvest residue management effects on soil carbon and microbial biomass at 1 and 5 years after plantation establishment. *Soil Biology and Biochemistry* 34 (12): 1903-1912.
33. Mu, X., Zhao, Y., Liu, K., Ji, B., Guo, H., Xue, Z., and Li, C. 2016. Responses of soil properties, root growth and crop yield to tillage and crop residue management in a wheat-maize cropping system on the North China Plain. *European Journal of Agronomy* 78: 32-43.
34. Mulumba, L. N., and Lal, R. 2008. Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil and Tillage Research* 98 (1): 106-111.
35. Najafinezhad, H., Javaheri M. A., Gheibi, M., and Rostami, M. A. 2007. Influence of tillage practices on the grain yield of maize and some soil properties in maize-wheat cropping system of Iran. *Journal of Agriculture and Social Sciences (Pakistan)*.
36. Olsen, S. R., and Sommers, L. E. 1982. Phosphorus. P 4013-430, In: A. Klute (Eds), *Methods of Soil Analysis, Part1 chemical and biological properties*, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
37. Pardini, G., Gispert, M., and Dunjó, G. 2004. Relative influence of wildfire on soil properties and erosion processes in different Mediterranean environments in NE Spain. *Science of the total Environment* 328 (1): 237-246.
38. Rengel, Z. 2007. The role of crop residues in improving soil fertility. In *Nutrient cycling in terrestrial ecosystems* (pp. 183-214). Springer Berlin Heidelberg.
39. Rutigliano, F. A., De Marco, A., D'Ascoli, R., Castaldi, S., Gentile, A., and De Santo, A. V. 2007. Impact of fire on fungal abundance and microbial efficiency in C assimilation and mineralisation in a Mediterranean maquis soil. *Biology and Fertility of Soils* 44 (2): 377-381.
40. Snyman, H. A. 2003. Short-term response of rangeland following an unplanned fire in terms of soil characteristics in a semi-arid climate of South Africa. *Journal of Arid Environments* 55 (1): 160-180.
41. Tisdale, S. L., Nelson, W. L., Beaton, J. D., and Halven, J. 1990. *Soil Fertility and Fertilizer* Macmillan Pub. Co. New York.
42. Treseder, K. K. 2008. Nitrogen additions and microbial biomass: A meta-analysis of ecosystem studies. *Ecology Letters* 11 (10): 1111-1120.
43. Turmel, M. S., Speratti, A., Baudron, F., Verhulst, N., and Govaerts, B. 2015. Crop residue management and soil health: A systems analysis. *Agricultural Systems* 134: 6-16.
44. Vos, J., and Van der Putten, P. E. L. 2000. Nutrient cycling in a cropping system with potato, spring wheat, sugar beet, oats and nitrogen catch crops. I. Input and off take of nitrogen, phosphorus and potassium. *Nutrient cycling in Agroecosystems* 56 (2): 87-97.

45. Walkley, A., and Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37 (1): 29-38.
46. Ward, S. E., Bardgett, R. D., McNamara, N. P., Adamson, J. K., and Ostle, N. J. 2007. Long-term consequences of grazing and burning on northern peatland carbon dynamics. *Ecosystems* 10 (7): 1069-1083.
47. Wei, T., Zhang, P., Wang, K., Ding, R., Yang, B., Nie, J., and Han, Q. 2015. Effects of wheat straw incorporation on the availability of soil nutrients and enzyme activities in semiarid areas. *PloS one* 10 (4): e0120994.
48. Xu, R. K., and Coventry, D. R. 2003. Soil pH changes associated with lupin and wheat plant materials incorporated in a red-brown earth soil. *Plant and Soil* 250 (1): 113-119.
49. Zhao, H., Tong, D. Q., Lin, Q., Lu, X., and Wang, G. 2012. Effect of fires on soil organic carbon pool and mineralization in a Northeastern China wetland. *Geoderma* 189: 532-539.



Effect of Different Management of Wheat and Sugar Beet Residues on Some Chemical and Biological Properties of Soil

F. Ghoreishi¹, A. Lakzian^{2*}, A. Fotovat², H. Zabihi³

Received: 26-10-2017

Accepted: 19-02-2019

Introduction

Excessive application of chemical fertilizers can lead to poor soil and groundwater quality and severe nutritional disturbances on the land and environmental damage. In recent years, increasing concern about the production of healthy food and the emphasis on maintaining fertility and soil quality have led to more attention to maintaining and increasing soil organic matter through appropriate management practices. Management of crop residues can play pivotal role in improving soil productivity and quality as well as crop yield through its effects on soil physical, chemical and biological properties. Soil quality, generally, indicates the ability of the soil to function as an ecosystem by preserving fertility, environmental quality and enhancing the health of plants and creatures which is always under the influence of management operations. Hence, soil quality assessment methods allow quantitative biological, chemical and physical responses of soil to be compared to different management practices. Soil quality assessment is a very complicated process due to the different soil properties in different management conditions.

Materials and Methods

To investigate the effect of various managements of wheat and sugar beet residues on some chemical and biological properties of soil, two distinct experiments were carried out in a completely randomized design with three replications. Treatments of first experiment included control (CW), wheat residues retained on soil surface (W), wheat residues incorporated into soil with plowing (PW), wheat residues incorporated into soil with plowing plus urea fertilizer (PFW), wheat residues burnt (BW) and wheat residues burnt is followed by incorporating into soil with plowing (PBW). Treatments of second experiment were including control (CS), sugar beet residues retained on soil surface (S), sugar beet residues incorporated into soil with plowing (PS) and sugar beet residues incorporated into soil with plowing plus urea fertilizer (PFS). In W and S treatments, the remained plants were distributed uniformly throughout the plot. In PW and PS treatments, the remained plants were mixed with soil by plowing to a depth of 30 cm. In PFW and PFS treatments, plant residues with urea fertilizer (4 tons per hectare) were added to soil surface and then plowed. In BW treatment, wheat plant residues were distributed uniformly in plot and then the burning was performed manually. In BPW treatment, plant residues were mixed with soil after burning by plowing. After applying the experimental treatments, all plots were irrigated in the same way. Irrigation intervals were applied to the plots similar to the adjacent plots and were irrigated regularly during the experiment period. After 6 months of application of the treatments, sampling of the treatments was carried out using a systematic method, consisting of plowing depth (0 to 25 centimeters of soil).

Results and Discussion

Results showed that various managements of wheat and sugar beet residues caused significant changes in studied chemical (except pH) and biological properties. All management methods, except retention of residues on soil surface (C and S treatments), increased organic carbon, total nitrogen, available phosphorus and potassium compared with the control treatment. Generally, in both crop residues, the greatest content of organic carbon, total nitrogen and available potassium were related to incorporating residues into soil with plowing plus urea fertilizer (PFW and PFS treatments). Also, the highest content of available phosphorus was related to PBW and PFS treatments in wheat and sugar beet residues management, respectively. In the case of basal microbial respiration and microbial biomass carbon, the most effective managements were residues incorporation into soil with plowing (PW and PS treatments) and then residues incorporation into soil with plowing plus urea fertilizer (PFW and PFS treatments). In this study, although residues burning (BW and PBW treatments) improved nutrient content, microbial respiration and microbial biomass carbon compared with the control treatment, they

1- MSc. Student, Soil Science Department, Ferdowsi University of Mashhad

2- Professor, Soil Science Department, Ferdowsi University of Mashhad

3- Assistant Professor, Soil and Water Research Institute of Khorasan Razavi

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

were less effective than PW and PFW treatments. According to the results, in both wheat and sugar beet residues, the most appropriate managements to improve the soil quality indicators were to incorporate the residues into soil with plowing plus urea fertilizer, as well as only incorporating the residues into soil with plowing. The results showed that the use of a minimum set of properties affecting soil quality or MDS can determine the soil quality with reasonable accuracy and cost and time less in the studied soil.

Keywords: Nutrient elements, Residue burning, Residues incorporation



بررسی تأثیر سن نشاء و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی عروسک پشت پرده (*Physalis alkekengi* L.)

اشکان عسگری^۱، پرویز رضوانی مقدم^{۲*}، علیرضا کوچکی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۱۰

چکیده

این مطالعه با هدف تعیین مناسب‌ترین سن نشاء و تراکم از نظر عملکرد و اجزای عملکرد عروسک پشت پرده در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. فاکتورهای آزمایش شامل سه سن نشاء (۵، ۸ و ۱۱ هفته) و چهار تراکم بوته (۵، ۶/۷، ۱۰ و ۲۰ بوته در متر مربع) بود. نتایج نشان داد بیشترین وزن میوه (۹۲ گرم) در بوته مربوط به تیمار سن نشاء ۱۱ هفته با تراکم ۵ بوته بود. بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمارهای سن نشاء ۱۱ و ۸ هفته در تراکم ۲۰ بوته به‌میزان ۱۶ تن در هکتار به‌دست آمد. بیشترین عملکرد میوه (۷/۱ تن) در تیمار سن نشاء ۱۱ هفته با تراکم ۱۰ بوته در متر مربع بالاترین مقدار بود. همچنین بیشترین تعداد میوه با میانگین ۱۰۹ عدد در سن نشاء ۱۱ هفته با تراکم ۵ بوته در متر مربع حاصل شد. ارتفاع بوته در تراکم ۲۰ بوته (۶۱ سانتی‌متر) بیشتر از تراکم‌های دیگر بود و همچنین ارتفاع در سن نشاء ۱۱ و ۸ هفته (به‌ترتیب ۵۲ و ۵۴ سانتی‌متر) بیشتر از سن ۵ هفته بود. شاخص برداشت در تراکم‌های ۵، ۶/۷ و ۱۰ بوته در سن ۱۱ و ۸ هفته بیشتر و در تراکم ۲۰ بوته کمترین مقدار را داشت. به‌طور کلی نشاهای با سن ۵ هفته از نظر بیشتر صفات وضعیت مناسبی نداشتند و همچنین تراکم ۲۰ بوته در متر مربع نیز در تمامی صفات به‌جز عملکرد بیولوژیک و ارتفاع بوته مناسب نبودند.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، عملکرد میوه، وزن هزار دانه

مقدمه

گیاهان دارویی از نظر اقتصادی اهمیت فراوانی دارند و تقاضا برای آن‌ها رو به افزایش است به همین دلیل مشکلاتی در طبیعت برای آن‌ها به‌وجود آمده که باعث افزایش خطر انقراض این گیاهان شده است. بنابراین کشت و اهلی کردن گیاهان دارویی در سیستم‌های زراعی باید مورد توجه قرار گیرد. شناخت نیازهای اکولوژیکی گیاهان در زیستگاه طبیعی اهمیت فراوانی دارد. از سوی دیگر فراهم کردن شرایط لازم برای رشد و تکثیر آن‌ها در سیستم‌های زراعی باید مورد توجه قرار گیرد (Ameri et al., 2007). تولید گیاهان دارویی به دلیل عدم شناخت کافی کشاورزان از نیازهای اکولوژیکی و مراحل کاشت تا برداشت با مشکلاتی مواجه بوده است (Sharma, 2004).

گیاه دارویی عروسک پشت پرده (*Physalis alkekengi* L.) متعلق به خانواده سیب‌زمینی و بومی قاره آمریکا است و در سایر نقاط

جهان پراکنده شده‌اند (Travlos, 2012). برخی از گونه‌های جنس *Physalis* به‌عنوان میوه (*Physalis peruviana* L.)، زینتی و دارویی (*Physalis alkekengi* L.) و به‌عنوان سبزی (*Physalis ixocarpa* Brot. کاربرد دارند (Quiros, 1984). این گیاه به‌طور گسترده در طب سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرد که دلیل آن وجود استروئیدی به نام فیزالین می‌باشد (Yu et al., 2010). گیاه عروسک پشت پرده خواص درمانی مانند اثرات ضد سرطان، ضد هپاتیت دارد و برای درمان بیماری‌های آسم و دیابت نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Puente et al., 2011).

از عوامل مهم در به‌دست آوردن حداکثر عملکرد در گیاهان تعیین زمان مناسب کاشت می‌باشد. تقابل عوامل محیطی و ژنتیکی باعث می‌شود که تاریخ کاشت، سن و زمان انتقال نشاء در مناطق مختلف و حتی در ژنوتیپ‌های مختلف نیز تفاوت داشته باشد (Hadley et al., 1983). معمولاً برای کشت و تولید گیاهان زراعی با بذرهایی ریز یا گیاهانی که در مراحل اولیه، رشد ضعیفی دارند از نشاء به جای کشت مستقیم استفاده می‌شود که عروسک‌پشت‌پرده نیز جزء این دسته از گیاهان محسوب می‌گردد. شرایط انتقال نشاء، می‌تواند تعیین‌کننده بقا آن باشد. مرحله انتقال نشاء را می‌توان با توجه به سن نشاء یا اندازه آن تعیین کرد. بر اساس اندازه نشاء، تعداد برگ در زمان انتقال

۱- دانشجوی دکتری بوم‌شناسی زراعی، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

سنین مختلف نشاء و تراکم‌های مختلف کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی عروسک پشت پرده در شرایط آب و هوایی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل سه سن نشاء (۵، ۸ و ۱۱ هفته) و چهار تراکم بوته (۵، ۶/۷، ۱۰ و ۲۰ بوته در متر مربع) بود. باتوجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ای بر روی خصوصیات زراعی این گیاه انجام نشده تراکم بوته‌ها بر اساس بررسی‌های میدانی و ارتفاع و قطر تاج بوته در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه رشد گیاه عروسک پشت پرده در ابتدای فصل بسیار ضعیف است، بنابراین نسبت به گیاهان دیگر مدت زمان بیشتری برای انتقال نشاء در نظر گرفته شد. مراحل آماده‌سازی زمین شامل شخم اولیه، تسطیح زمین و ایجاد جوی و پشته قبل از کاشت انجام گرفتند. ابعاد کرت‌ها در این آزمایش ۳×۲ متر و فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بلوک‌ها یک متر بود.

نشاها در سینی‌های نشاء به حجم ۲۶ سی‌سی و بستر ترکیبی کوکوپیت+پیت‌ماس (نسبت اختلاط ۱ به ۲) در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی تولید شدند. به منظور آماده‌سازی زمین عملیات زراعی شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین و سپس با استفاده از فاروئر ردیف‌های کاشت ایجاد شد. کلیه نشاها در تاریخ ۱۵ اردیبهشت به زمین اصلی منتقل شدند. سه روز قبل از انتقال نشاها زمین آبیاری شده و بعد از اتمام کاشت نشاها مجدداً آبیاری صورت گرفت. آبیاری در اوایل فصل رشد گیاه تا زمان استقرار گیاه با فاصله زمانی کم و به‌صورت هفته‌ای دو بار انجام و بعد از آن از مقدار آبیاری کاسته شد. کنترل علف‌های هرز در طی آزمایش در سه مرحله از طریق وجین دستی صورت گرفت.

برای تعیین صفات مورد نظر گیاه عروسک پشت پرده (ارتفاع، تعداد میوه در بوته، وزن خشک میوه در بوته، وزن خشک تک میوه، تعداد دانه در هر میوه و وزن هزار دانه) پنج بوته به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب و برداشت شد. در زمان رسیدگی برای تعیین عملکرد میوه و بیولوژیک و شاخص برداشت، با در نظر گرفتن حاشیه، سطحی معادل یک متر مربع از هر کرت برداشت شد. برای تعیین وزن خشک هریک از صفات، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند.

جهت تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.1 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد و میانگین داده‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. برای

به‌عنوان یک معیار در نظر گرفته می‌شود (Vavrina, 1998). سن نشاء یکی از عوامل تأثیرگذار بر زنده ماندن نشاء و عملکرد گیاه می‌باشد. انتخاب سن مناسب نشاء موجب هم‌زمانی مراحل رشدی با نور و دمای مناسب می‌گردد. زمان و مرحله انتقال نشاء در گیاهان سبزی و صیفی بر رشد و عملکرد آن‌ها تأثیر دارد. هناره و حسنی (Hanare and Hassani, 2014) اثر زمان انتقال نشاء در مراحل فنولوژیکی و عمق کاشت نشاء بر رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) را بررسی کردند. نتایج نشان داد که مرحله انتقال نشاء بر صفات عملکرد، تعداد میوه، تعداد شاخه، درصد تلفات نشاء و ارتفاع گیاه اثر معنی‌داری داشت. اندازه مناسب نشاء یکی از عوامل مهم در گزینش نشاء در کشت‌های نشائی محصولات می‌باشد. ایزدخواه و همکاران (Izad Khah et al., 2011) اثر سن و اندازه‌های مختلف نشاء بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی ویژگی‌های انباری پیاز (*Allium cepa* L.) را بررسی کردند. نتایج نشان داد که اثر اندازه نشاء روی تمام ویژگی‌های مورد بررسی تأثیر معنی‌داری داشت. طی تحقیقات انجام شده بر روی سن نشاء گوجه‌فرنگی با توجه به شرایط آزمایش، هر یک از محققین یک سن خاص را به‌عنوان سن مطلوب معرفی کرده‌اند، کوپر و مورلوک (Cooper and Morelock, 1983) سن ۷ هفته، لیپتای (Liptay, 1987) سن ۶ و ۷ هفته، لسکوار و همکاران (Leskovar et al., 1991) ۴ و ۵ هفته و واورینا (Vavrina, 1998) ۹ هفته را به‌عنوان بهترین سن نشاء برای دستیابی به حداکثر عملکرد گزارش کردند.

تعیین تراکم مناسب برای دستیابی به حداکثر عملکرد امری ضروری است. اگر تراکم بوته در واحد سطح کم باشد، منابع به‌طور کامل مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و در نتیجه تولید در واحد سطح کاهش می‌یابد و در طرف مقابل اگر تراکم زیاد باشد به دلیل افزایش رقابت بر سر منابع در مراحل رشدی، تولید کاهش می‌یابد (Martin and Deo, 2000). بنابراین تعیین تراکم مناسب با توجه به کلیه شرایط می‌تواند در حصول عملکرد کافی مفید باشد (Barkhi et al., 2009). عملکرد، کیفیت و سایز میوه تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله تراکم گیاهی قرار می‌گیرد (Ara et al., 2007). تراکم کاشت و تعداد ساقه در گیاه بر تعداد میوه در واحد سطح و تعداد میوه در بوته تأثیر می‌گذارند (Franco et al., 2009). گزارش شده است که تراکم گیاهی، فاکتور مهمی در بهبود عملکرد و کیفیت در گوجه‌فرنگی است (Ara et al., 2007). در بررسی تأثیر تراکم‌های مختلف کاشت (۵، ۱۰ و ۲۸ بوته در متر مربع) و نوع هرس بر روی یک گونه عروسک پشت پرده (*Physalis ixocarpa*) نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد در تراکم ۲۸ بوته به‌دست آمد (Peixoto et al., 2010). در طی تحقیقی بر روی گونه *Physalis pubescens* فاصله ردیف ۱۰۰ سانتی‌متر و بین بوته ۳۰ سانتی‌متر به‌عنوان بهترین تراکم گزارش شد (Ponce Valerio et al., 2012). هدف از این تحقیق بررسی تأثیر

۶/۷ بوته (به ترتیب ۸۰ و ۷۴ عدد) به دست آمد و اختلاف معنی داری با یکدیگر نداشته ولی اختلاف آن‌ها با تراکم ۱۰ و ۲۰ بوته (۶۵ و ۳۷ عدد) معنی دار بود (جدول ۳).

با افزایش تراکم، تعداد گل یا میوه در بوته کاهش ولی در واحد سطح افزایش می‌یابد که به دلیل رقابت درون و برون بوته‌ای بر سر عوامل محیطی می‌باشد (Seghat Al-Eslami and Mousavi, 2008). برخی از محققان گزارش کردند که تراکم کاشت در گیاه گوجه‌فرنگی تأثیر معنی داری بر تعداد میوه دارد (Charlo et al., 2007; Ara et al., 2007). در گونه *Physalis peruviana* تعداد میوه با افزایش فاصله بین بوته‌ای افزایش یافت (Rajnish and Kumar, 2006).

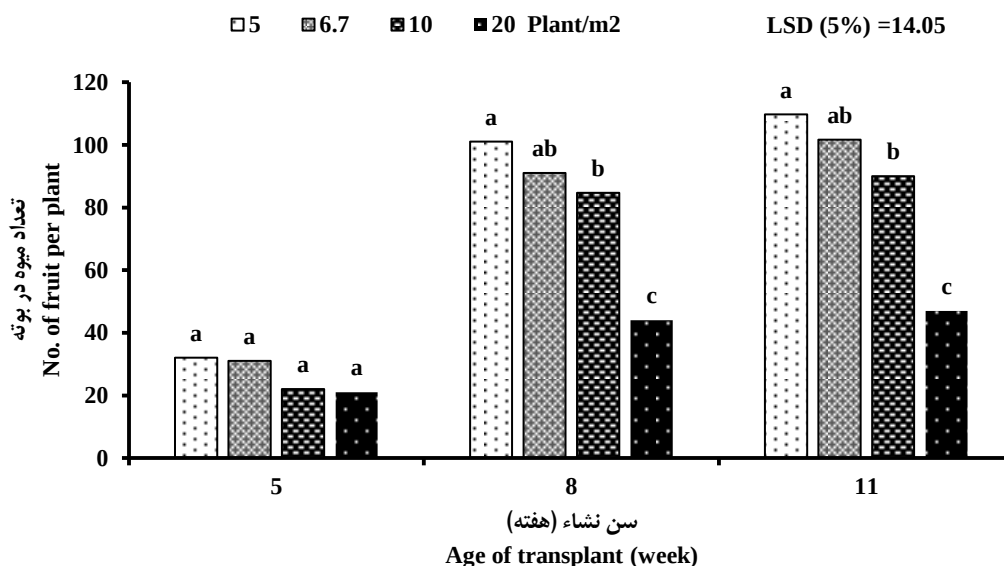
مقایسه میانگین تیمارهای سنین مختلف نشاء نشان داد که تعداد میوه در سن نشاء ۱۱ و ۸ هفته (به ترتیب ۸۷ و ۸۰ عدد) بیشترین مقدار و اختلاف آن‌ها با سن ۵ هفته معنی دار بود. میانگین تعداد میوه در سن نشاء ۱۱ هفته حدود ۲/۳ برابر بیشتر از سن ۵ هفته بود (جدول ۳). کم بودن تعداد میوه در سن ۵ هفته به دلیل رشد رویشی ضعیف بوته‌ها در اوایل فصل رشد و در نتیجه کاهش رشد زایشی می‌باشد. بررسی انجام شده بر روی پنبه نشان داد که سن نشاء بر روی زنده‌مانی و رشد این گیاه تأثیر به‌سزایی دارد و انتخاب سن مناسب نشاء اهمیت فراوانی دارد (Buttar et al., 2011).

تجزیه تکمیلی و فهم دقیق‌تر صفاتی که اثر متقابل سن نشاء و تراکم در آن‌ها معنی دار شد با استفاده از روش LSMeans برش‌دهی اثر متقابل نسبت به سن نشاء انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد میوه در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سن نشاء، تراکم بوته در واحد سطح و اثر متقابل سن نشاء و تراکم در سطح یک درصد بر تعداد میوه در بوته عروسک پشت پرده معنی دار بود (جدول ۱). از آنجایی که اثر متقابل سن نشاء و تراکم بوته معنی دار بود برش‌دهی اثرات متقابل برای این صفت انجام شد. نتایج برش‌دهی در این صفت نشان داد که اثر سطوح تراکم در سنین ۱۱ و ۸ هفته در سطح یک درصد معنی دار بود ولی در سن ۵ هفته این اثر معنی دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین تراکم‌ها در هر سن نشاء نشان داد که در سن ۱۱ و ۸ هفته، تعداد میوه در تراکم ۵ بوته (به ترتیب ۱۰۹ و ۱۰۱ عدد) و در سن ۱۱ هفته با تراکم ۶/۷ بوته (۱۰۱ عدد) بیشتر از سایرین بود و با تراکم‌های ۱۰ و ۲۰ بوته اختلاف معنی داری داشت. همچنین در سن ۵ هفته تعداد میوه در تراکم ۵ و ۶/۷ بوته با اختلاف بسیار جزئی بیشتر از دو تراکم دیگر بود که اختلاف آن‌ها نیز از نظر آماری معنی دار نبود (شکل ۱). مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح تراکم نشان داد که بیشترین میانگین تعداد میوه در بوته در تراکم‌های ۵ و



شکل ۱- مقایسه میانگین تراکم‌های مختلف در هر سطح سن نشاء برای تعداد میوه در بوته عروسک پشت پرده

Figure 1- Mean comparison for different plant density and different age of *Physalis alkekengi* transplant for No. of fruit per plant

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده تحت تأثیر تراکم بوته و سن نشاء در عروسک پشت پرده

Table 1-Analysis of variance for the effect of plant density and age of *Physalisalkekengi* transplant on studied characteristics

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares								شاخص برداشت میوه Fruit harvest index
		تعداد میوه در بوته No. of fruit per plant	وزن میوه در بوته Weight of fruit per plant	وزن میوه Fruit weight	تعداد دانه در میوه No. of seed per fruit	وزن هزار دانه 1000-seed weight	ارتفاع بوته Plant height	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد میوه Fruit yield	
بلوک Block	2	1483**	824**	0.0037 ^{ns}	1147**	0.550**	320*	40.8**	7.16**	27.25 ^{ns}
سن نشاء Age of transplant (A)	2	3326**	3971**	0.1390**	2516**	0.194*	1310**	73.7**	4.13**	791.14**
تراکم Plant density (P)	3	13196**	11624**	0.3497**	12566**	1.756**	847**	319.6**	70.84**	374.52**
A × P	6	496**	798**	0.0393**	128 ^{ns}	0.038 ^{ns}	30.56 ^{ns}	4.3**	1.94**	120.14*
خطا Error	22	68	36.58	0.0042	103	0.047	85.71	0.78	0.24	36.42
ضریب تغییرات CV (%)		12.8	12.5	9.8	11.3	8.5	19.1	9.5	12.4	13.9

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد؛ ^{ns}: غیر معنی‌دار

* and **: are significant at the 5 and 1% probability levels, respectively and ns is non-significant

جدول ۲- برش‌دهی اثرات متقابل تراکم بوته در سنین مختلف نشاء عروسک پشت پرده

Table 2- Slicing of plant density and different age of *Physalisalkekengi* transplant interactions

سن نشاء (هفته) Age of transplant (Week)	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares					شاخص برداشت میوه Fruit harvest index
		تعداد میوه در بوته No. of fruit per plant	وزن میوه در بوته Weight of fruit per plant	وزن میوه Fruit weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد میوه Fruit yield	
11	3	2337**	3157**	0.142**	31.19**	5.19**	545.6**
8	3	1879**	2387**	0.073**	42.23**	2.045**	442.5**
5	3	101 ^{ns}	22.56 ^{ns}	0.001 ^{ns}	8.99**	0.79*	43.2 ^{ns}

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد؛ ^{ns}: غیر معنی‌دار

* and **: are significant at the 5 and 1% probability levels, respectively and ns is non-significant

وزن خشک میوه در بوته

نتایج تجزیه واریانس آماری داده‌ها نشان داد که اثر سن نشاء، تراکم بوته و اثر متقابل سن نشاء و تراکم در سطح یک درصد بر وزن خشک میوه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۱). با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل، برش‌دهی اثرات متقابل برای این صفت انجام شد که نتایج آن نشان داد که اثر سطوح مختلف تراکم در سنین نشاء ۱۱ و ۸ هفته در سطح یک درصد معنی‌دار بود، ولی در سن نشاء ۵ هفته اثر تراکم بوته معنی‌دار نبود (جدول ۲) که این موضوع به دلیل رشد ضعیف نشاهای سن ۵ هفته می‌باشد. مقایسه میانگین تراکم‌های مختلف در هر سطح سن نشاء برای وزن میوه در بوته (شکل ۲) نشان داد که در سن نشاء ۵ هفته بین تراکم‌های مختلف تفاوت معنی‌داری

مشاهده نشد، ولی با افزایش تراکم از ۵ به ۲۰ بوته در سنین نشاء ۱۱ و ۸ هفته، وزن میوه در بوته کاهش یافت که البته بین تراکم‌های ۵ و ۶/۷ بوته اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. به طور کلی صرف نظر از تیمارهای تراکم، نشاهای ۱۱ و ۸ هفته مقدار میوه خشک بیشتری در مقایسه با نشاء ۵ هفته تولید کردند (جدول ۳). نشاهای ۵ هفته‌ای در زمان انتقال به مزرعه اندازه مناسبی از نظر شاخساره و ریشه نداشتند که همین عوامل موجب کندی رشد آنها در اوایل فصل و در نتیجه تأخیر رشد آنها در مقایسه با نشاهای ۱۱ و ۸ هفته گردید. همچنین تعداد زیادی از این نشاهای پس از مدتی به دلیل ضعیف بودن بعد از انتقال به مزرعه از بین رفتند. گزارش‌هایی وجود دارد که نشاهای مسن‌تر زودتر به مرحله گلدهی رسیده و عملکرد بالاتری دارند (Jankauskiene et al., 2013).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی تراکم بوته و سن نشاء بر صفات اندازه‌گیری شده در عروسک پشت پرده
Table 3- Mean comparison for the effect of plant density and different age of *Physalis alkekengi* transplant on studied characteristics

شاخص برداشت میوه Fruit harvest index %	عملکرد میوه Fruit yield (t ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (t ha ⁻¹)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	تعداد دانه در میوه No. of seed per fruit	وزن میوه Fruit weight (g)	وزن میوه در بوته Weight of fruit per plant (g)	تعداد میوه در بوته No. of fruit per plant	تیمار Treatment
سن نشاء (هفته) Age of transplant (Week)									
11	45.04 ^a	5.48 ^a	12.73 ^a	2.87 ^a	109.5 ^a	0.75 ^a	68.30 ^a	87.08 ^a	
8	47.99 ^a	5.30 ^a	11.74 ^b	2.69 ^b	108.4 ^a	0.77 ^a	64.49 ^a	80.16 ^a	
5	37.18 ^b	1.18 ^b	3.33 ^c	2.14 ^c	52.9 ^b	0.47 ^b	12.59 ^b	26.50 ^b	
LSD (0.05%)	5.11	0.42	0.74	7.83	0.18	8.61	5.12	7.02	
تراکم Density (plant m ⁻²)									
20	29.51 ^b	3.75 ^b	12.98 ^a	2.37 ^b	69.11 ^c	0.49 ^c	18.79 ^c	37.33 ^c	
10	46.01 ^a	4.85 ^a	9.77 ^b	2.54 ^{ab}	85.44 ^b	0.68 ^b	48.50 ^b	65.55 ^b	
6.7	48.76 ^a	4.12 ^b	8.07 ^c	2.66 ^a	99.44 ^a	0.77 ^a	61.83 ^a	74.55 ^a	
5	49.34 ^a	3.23 ^c	6.24 ^d	2.70 ^a	107.11 ^a	0.72 ^{ab}	64.72 ^a	80.88 ^a	
LSD (0.05%)	5.9	0.48	0.86	9.05	0.21	9.95	5.91	8.11	

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد؛ ns: غیر معنی‌دار

* and **: are significant at the 5 and 1% probability levels, respectively and ns is non-significant

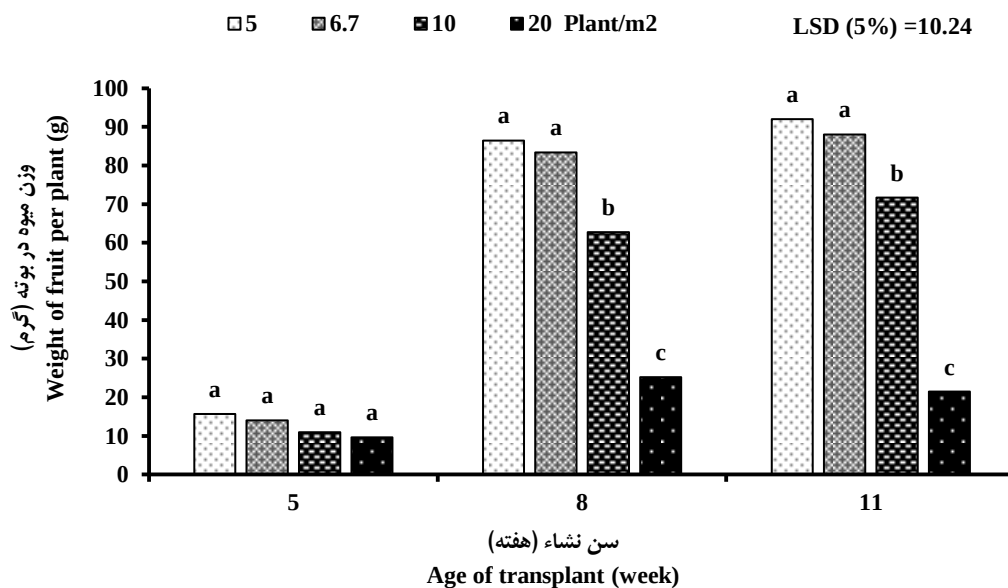
توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa* L.) نتایج مشابهی را گزارش کردند.

وزن تک میوه

اثر سن نشاء، تراکم بوته و اثر متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر میانگین وزن خشک تک میوه معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج برش‌دهی اثرات متقابل نشان داد که اثر سطوح مختلف تراکم در سنین نشاء ۱۱ و ۸ هفته معنی‌دار بود ولی در سن ۵ هفته معنی‌دار نبود (جدول ۲). دلیل آن رشد ضعیف نشاهای سن ۵ هفته می‌باشد که در کل آزمایش و در تمامی صفات این نشاها ضعیف‌تر از سن‌های ۱۱ و ۸ هفته بودند. مقایسه میانگین تراکم‌های مختلف در هر سطح سن نشاء بر صفت وزن تک میوه نشان داد که در سن ۵ هفته تفاوت معنی‌داری بین تراکم‌ها وجود نداشت ولی در سن ۱۱ و ۸ هفته تراکم ۶/۷ بوته (۰/۹۴ و ۰/۹۲ گرم) بیشترین مقدار وزن میوه به‌دست آمد و اختلاف آن با تراکم‌های دیگر معنی‌دار بود (شکل ۳). با توجه به جدول مقایسه میانگین اثرات اصلی سنین نشاء (جدول ۳)، وزن خشک تک میوه در نشاهای ۱۱ و ۸ هفته حدود ۶۰ درصد بیشتر از سن ۵ هفته بود و اختلاف بین آن‌ها نیز در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. جنت (Gent, 1992) گزارش کرد که تاریخ‌های مختلف انتقال و سن نشاء گوجه‌فرنگی بر اندازه میوه تأثیر دارد. همچنین امینی و همکاران (Amini et al., 2013) گزارش کردند که بالاترین وزن میوه گوجه‌فرنگی در گیاهچه‌های مسن‌تر اتفاق افتاد.

فرچون و همکاران (Fortune et al., 1999) اظهار داشتند که کاشت زودهنگام گیاهان یا گیاهچه‌های بزرگتر موجب افزایش جذب نور و سطح برگ می‌گردد که در نتیجه افزایش وزن خشک و عملکرد را به همراه دارد.

همچنین صرف‌نظر از سنین مختلف نشاء، تراکم‌های ۵ و ۶/۷ بوته در متر مربع از مقدار میوه خشک بیشتری در بوته برخوردار بودند (جدول ۳). در تراکم‌های پایین منابع به مقدار کافی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و در نتیجه مقدار تولید میوه در بوته افزایش می‌یابد ولی در تراکم‌های زیاد به دلیل رقابت موجود بین بوته‌ها بر سر منابع، مقدار تولید مواد فتوسنتزی کم می‌شود. با افزایش تراکم وزن میوه در هر بوته کاهش یافته به‌طوری‌که در کمترین تراکم بیشترین میزان وزن میوه به‌دست می‌آید. تراکم مطلوب بوته تراکمی است که تمامی عوامل محیطی مورد استفاده قرار گرفته و رقابت بین و درون بوته‌ای در حداقل مقدار خود قرار داشته باشد (Asgarnezhad et al., 2013). علی و سینگ (Ali and Singh, 2016) اظهار داشتند که در گونه *Physalis peruviana* در تراکم‌های بالا، تولید ماده خشک تک بوته‌ها کاهش می‌یابد ولی زیاد بودن تعداد بوته در واحد سطح کمبود تولید تک بوته را جبران می‌نماید. کلینک (Klinac, 1986)، مهلا و همکاران (Mehla et al., 2000) و توان و مائو (Tuan and Mao, 2015) در گیاه گوجه‌فرنگی و احمد (Ahmad, 2009) در گیاه



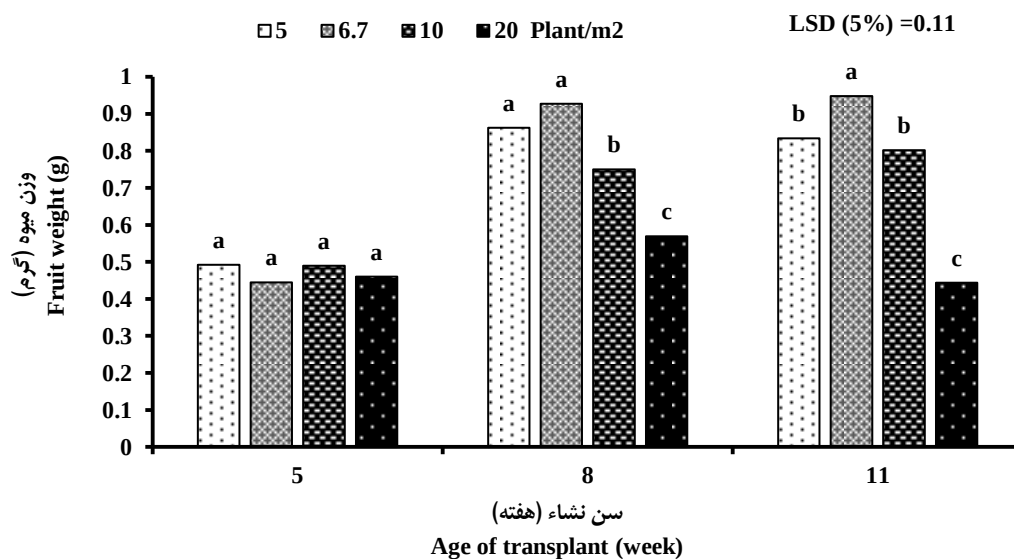
شکل ۲- مقایسه میانگین تراکم‌های مختلف در هر سطح سن نشاء برای وزن میوه در بوته عروسک پشت پرده
Figure 2- Mean comparison for different plant density and different age of *Physalis alkekengi* transplant for fruit weight

2002) در گیاه گوجه‌فرنگی نیز گزارش شده است. بیشترین وزن میوه گونه *Physalis peruviana* در تیمارهای بالای نیتروژن و تراکم کمتر مشاهده شد (Rajnish and Kumar, 2006). صیفی و همکاران (Seifi et al., 2008) اثر تراکم را بر خصوصیات کیفی میوه دو رقم فلفل بررسی کردند، نتایج آن‌ها نشان داد که تراکم بر وزن میوه تأثیر معنی‌داری داشت.

تعداد دانه در میوه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر سن نشاء و تراکم بوته بر تعداد دانه در میوه معنی‌دار شد و اثر متقابل بین این دو عامل تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در میوه نداشت. به‌طور کلی صرف‌نظر از تیمارهای تراکم، نشاهای با سن ۱۱ هفته با ۱۰۹ دانه و نشاء سن ۸ هفته با ۱۰۸ دانه نسبت سن ۵ هفته از تعداد دانه بیشتری برخوردار بودند (جدول ۳). تولوگو (Tulukcu, 2012) تعداد بذر در هر میوه گونه *Physalis peruviana* بین ۱۱۱ تا ۱۷۶ عدد گزارش کرد. سلیمانی و همکاران (Soleymani Sardoo et al., 2015) عنوان کردند که هر عاملی که باعث کوتاه شدن طول دوره رشد گیاه شود، موجب کاهش عملکرد دانه در ماش می‌شود به دلیل رشد رویشی کم و در نتیجه تولید مواد فتوسنتزی کاهش می‌یابد که همین مسئله موجب کاهش عملکرد می‌گردد. همچنین کاهش طول دوره رشد در نتیجه کاهش پتانسیل فتوسنتزی و برخورد دوره‌های حساس گیاه با دماهای بالا می‌باشد. سن نشاء و زمان کاشت بر طول دوره رشد رویشی و زایشی گیاه تأثیرگذار است و طول دوره گلدهی و پر شدن دانه تعیین‌کننده می‌باشد (Pirzad et al., 2008).

به‌طور کلی صرف‌نظر از تیمارهای سن نشاء، تراکم‌های ۵ و ۶/۷ بوته میانگین وزن میوه بیشتری نسبت به تراکم‌های ۱۰ و ۲۰ بوته داشتند و در تراکم‌های کمتر مقدار وزن میوه بیشتر بود (جدول ۳). با افزایش تراکم، مقدار تولید مواد فتوسنتزی در بوته کاهش می‌یابد بنابراین بر وزن تک میوه نیز تأثیرگذار خواهد بود و دلیل آن افزایش رقابت برون و درون بوته‌ای بر سر منابع می‌باشد. تبریزی و همکاران (Tabrizi et al., 2016) گزارش کردند که تراکم بر عملکرد، تعداد و وزن میوه در بوته و وزن تک میوه در گونه *Physalis peruviana* تأثیر معنادار دارد و بیشترین وزن خشک تک میوه در کمترین تراکم مشاهده شد. سبولا (Cebula, 1995) گزارش کرد که وزن میوه فلفل (*Capsicum frutescens*) در تراکم‌های بالاتر کاهش می‌یابد. الیو و همکاران (Elio et al., 1998) نیز در بررسی تأثیر تراکم روی فلفل گزارش کردند که تراکم روی تولید میوه‌هایی با وزن بالا موثر است. گزارش شده که تراکم‌های کمتر (فاصله بین ردیف ۱۰۰ و روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر) در فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum*) سبب افزایش وزن میوه در بوته می‌شود (Aminifard et al., 2012). علی و سینگ (Ali and Singh, 2016) اظهار داشتند که در گونه *Physalis peruviana* تراکم بوته بر روی وزن میوه نیز تأثیر معنی‌دار داشته و در تیمار بیشترین فاصله بوته، بیشترین میانگین وزن میوه را داشت و که دلیل آن مرتبط با کاهش نور و مواد غذایی در تراکم فشرده می‌باشد که در نتیجه مقدار فتوسنتز و جابه‌جایی مواد در گیاه کاهش یافته و میوه‌های کوچکتری به‌دست می‌آیند. کاهش وزن میوه در تراکم‌های بالاتر توسط سینگ و همکاران (Singh et al.,)



شکل ۳- مقایسه میانگین تراکم‌های مختلف در هر سطح سن نشاء برای وزن تک میوه عروسک پشت پرده
 Figure 3- Mean comparison for different plant density and different age of *Physalis alkekengi* transplant for fruit weight

بوته‌ها مواد فتوسنتزی صرف رشد رویشی یا تنفس می‌گردند و در واقع برای رشد دانه مصرف نمی‌شوند (Rahnama, 2007). چوپان و همکاران (Choopan et al., 2014) گزارش کردند که با افزایش تراکم وزن هزار دانه کدو پوست کاغذی کاهش یافت. در کاشت زود هنگام گیاه یا نشاهای مسن‌تر، قادر خواهند بود مخزن زایشی را بهتر تغذیه کنند در نتیجه عملکرد دانه افزایش می‌یابد (Singh et al., 2002).

ارتفاع بوته

نتایج نشان داد که اثر سن نشاء و تراکم بوته در سطح ۱ درصد بر ارتفاع بوته عروسک پشت پرده معنی‌دار بود ولی اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی سن نشاء نشان داد که در بین سنین مختلف نشاء بیشترین ارتفاع در نشاهای ۱۱ و ۸ هفته رتیب با میانگین ۵۲ و ۵۴ سانتی‌متر مشاهده شد و نشاهای ۵ هفته کمترین ارتفاع را داشتند (جدول ۳). ابراهیم و همکاران (Ibrahim et al., 2013) اثر سن نشاء فلفل را بر ارتفاع گیاه و تعداد شاخه معنی‌داری گزارش کردند. واورینا (Vavrina, 1998) در بررسی تأثیر سن نشاء بر روی تولید گوجه‌فرنگی گزارش کرد بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ۱۱ هفته مشاهده شد. تولوکو (Tulukcu, 2012) ارتفاع گونه *Physalis peruviana* را ۴۸-۷۶ سانتی‌متر گزارش کرد که تا حدودی مشابه نتایج این آزمایش است. با توجه به جدول مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح تراکم (جدول ۳)، بیشترین ارتفاع بوته در تراکم ۲۰ بوته در متر مربع به‌دست آمد که حدود ۶۰٪ بیشتر از ارتفاع بوته در تراکم ۵ بوته بود و اختلاف بین تراکم ۲۰ و ۱۰ بوته با تراکم‌های ۵ و ۶/۷ بوته معنی‌دار بود.

مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح تراکم نیز نشان داد که بیشترین تعداد دانه در میوه در تراکم‌های ۵ و ۶/۷ بوته در متر مربع به‌ترتیب ۱۰۷ و ۹۹ دانه بود که اختلاف بین آن‌ها معنی‌دار نبود و کمترین تعداد دانه در میوه (۶۹ عدد) در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد (جدول ۳). هاشمی دزفولی و هربرت (Hashemi-Dezfouli and Herbert, 1992) علت کم بودن دانه در تراکم‌های زیاد را عقیمی بوته‌ها و رقابت بر سر منابع می‌دانند. چوپان و همکاران (Choopan et al., 2014) گزارش کردند که با افزایش تراکم در گیاه کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) عملکرد دانه و تعداد دانه در واحد سطح کاهش می‌یابد. عملکرد دانه در تراکم‌های بالا به دلیل کاهش تعداد شاخه‌های فرعی و کاهش تعداد خورجین در بوته کاهش می‌یابد. نحوه قرارگیری بوته‌ها در مزرعه بر جذب عوامل محیطی و رقابت درون و برون بوته‌ای تأثیر می‌گذارد و در نهایت عملکرد نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Pirzad et al., 2008).

وزن هزار دانه

سن نشاء و تراکم بوته بر وزن هزار دانه معنی‌دار شد، ولی اثر متقابل سن نشاء و تراکم کاشت در این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۱). مقایسه میانگین سطوح مختلف سنین نشاء نشان می‌دهد که بیشترین وزن هزار دانه مربوط به نشاهای با سن ۱۱ هفته (۲/۸۷ گرم) و کمترین آن در سن ۵ هفته (۲/۱۴) بود (جدول ۳). همچنین مقایسه میانگین اثرات اصلی تراکم بر وزن هزار دانه نیز نشان داد که تراکم‌های ۵ و ۶/۷ بوته در متر مربع به‌ترتیب با میانگین ۲/۷ و ۲/۶۶ گرم دارای بیشترین و تراکم‌های ۱۰ و ۲۰ بوته در متر مربع دارای کمترین وزن هزار دانه بودند (جدول ۳). افزایش بیش از حد تراکم

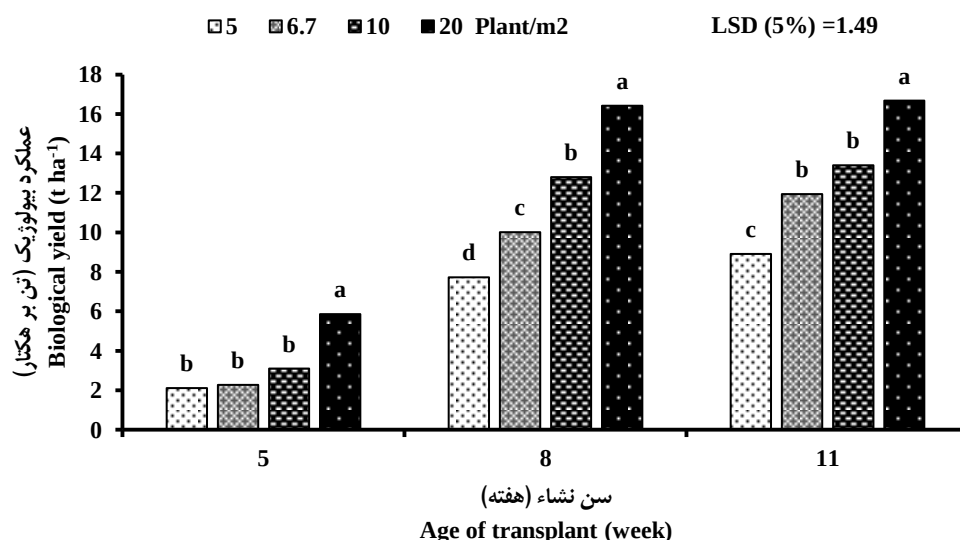
۲۰ بوته در متر مربع عملکرد بیولوژیک در سن نشاء ۵ هفته به ترتیب ۸، ۴۷ و ۱۷۷ درصد، در سن نشاء ۸ هفته به ترتیب ۳۰، ۶۶ و ۱۱۳ درصد و در سن نشاء ۱۱ هفته به ترتیب ۳۴، ۵۰ و ۸۷ افزایش یافت (شکل ۴).

به طور کلی صرف نظر از تیمارهای سن نشاء، تراکم ۲۰ بوته در متر مربع نسبت به تراکم ۵ بوته حدود ۱۰۰ درصد باعث افزایش عملکرد بیولوژیک گردید (جدول ۳). مقدار زیست توده تک بوته با افزایش تراکم کاهش می یابد، که با افزایش تعداد بوته در متر مربع جبران می شود در نهایت در تراکم های بالاتر، افزایش مقدار عملکرد بیولوژیک در گیاهان رخ می دهد (Hashemi-Dezfouli and Herbert, 1992). مقدار زیست توده تولیدی در تراکم های بالاتر به علت جذب بیشتر نور و افزایش فتوسنتز افزایش می یابد (Seghat Al-Eslami and Mousavi, 2008). گومز و همکاران (Gomes et al., 2007) گزارش کردند افزایش تراکم سبب افزایش عملکرد زیست توده می شود. پیرزاد و همکاران (Pirzad et al., 2008) اظهار داشتند که در تراکم های بالا، وزن تک بوته گیاه بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) به دلیل رقابت درون گونه ای کاهش یافته ولی تعداد زیاد بوته ها کمبود وزن تک بوته ها را جبران کرده و باعث افزایش عملکرد بیولوژیک در واحد سطح می گردد. مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که عملکرد بیولوژیک نشاهای سن ۱۱ و ۸ هفته (به ترتیب ۱۲/۷ و ۱۱/۷ تن در هکتار) بیشتر از سن ۵ هفته (۳/۳ تن در هکتار) بود (جدول ۳). محققان گزارش کردند که در نشاکاری پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) سن نشاهای منتقل شده به زمین بر رشد این گیاه تأثیر به سزایی دارد (Dehghani et al., 2014).

افزایش تراکم بیش از حد باعث افزایش ارتفاع بوته، افزایش طول میانگرمه و کاهش قطر ساقه می شود (Khajehpour, 1994). افزایش تراکم بوته در واحد سطح باعث افزایش رقابت بین بوته ها برای مواد غذایی و نور می گردد به طوری که گیاهان در شرایط رقابت برای کسب فضا و نور بیشتر، ارتفاع خود را افزایش می دهند (Shukla and Dixit, 2000). افزایش ارتفاع و کاهش تعداد شاخه جانبی در گیاه *Physalis peruviana* در اثر افزایش تراکم توسط جیراپو و کومار (Girapu and Kumar, 2006) گزارش شد. کلینک (Klinac, 1986) گزارش کرد بیشترین ارتفاع بوته در گیاه عروسک پشت پرده *Physalis peruviana* در فاصله بین بوته ای ۲۰ سانتی متر مشاهده شد. علی و سینگ (Ali and Singh, 2016) گزارش کردند که در گونه *Physalis peruviana* با کاهش فاصله بین بوته ها در هر دو سال آزمایش ارتفاع بوته افزایش یافت یا به عبارت دیگر با افزایش تراکم گیاهی در واحد سطح، ارتفاع بوته ها زیادتر شدند.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد بیولوژیک گیاه عروسک پشت پرده در سطح یک درصد تحت تأثیر سن نشاء، تراکم بوته و اثر متقابل سن نشاء و تراکم بوته قرار گرفت (جدول ۱). از آنجایی که اثر متقابل سن نشاء و تراکم بوته معنی دار بود، برش دهی اثرات متقابل برای این صفت نیز انجام شد و نتایج برش دهی نشان داد که اثر سطوح مختلف تراکم در تمام سنین نشاء در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین تراکم های مختلف در هر سطح سن نشاء برای عملکرد بیولوژیک نشان داد که با افزایش تراکم در تمام سنین نشاء عملکرد بیولوژیک افزایش یافت، ولی این افزایش یکسان نبود. به طوری که با افزایش تراکم از ۵ به ۶، ۷ و ۱۰



شکل ۴- مقایسه میانگین تراکم های مختلف در هر سطح سن نشاء برای عملکرد بیولوژیک عروسک پشت پرده

Figure 4- Mean comparison for different plant density and different age of *Physalis peruviana* transplant for biological yield

عملکرد میوه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سن نشاء، تراکم بوته و اثر متقابل سن نشاء و تراکم بوته بر عملکرد میوه در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج برش‌دهی اثرات متقابل نشان داد که اثر سطوح مختلف تراکم در سنین نشاء ۱۱ و ۸ هفته در سطح ۱ درصد و در سن نشاء ۵ هفته در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین تراکم‌های مختلف در هر سطح سن نشاء برای عملکرد میوه (شکل ۳) نشان داد که در سن نشاء ۱۱ هفته تراکم ۱۰ بوته (۷/۱ تن) بیشترین عملکرد را داشت و اختلاف آن با تراکم‌های دیگر معنی‌دار بود. همچنین بیشترین عملکرد در سن نشاء ۸ هفته مربوط به تراکم ۱۰ بوته (۶/۲ تن) بود ولی اختلاف آن با تراکم ۶/۷ بوته معنی‌دار نبود. در سن نشاء ۵ هفته شرایط متفاوت بود و تراکم ۲۰ بوته بیشترین عملکرد را داشت و اختلاف آن با تراکم‌های ۶/۷ و ۵ بوته معنی‌دار بود (شکل ۵).

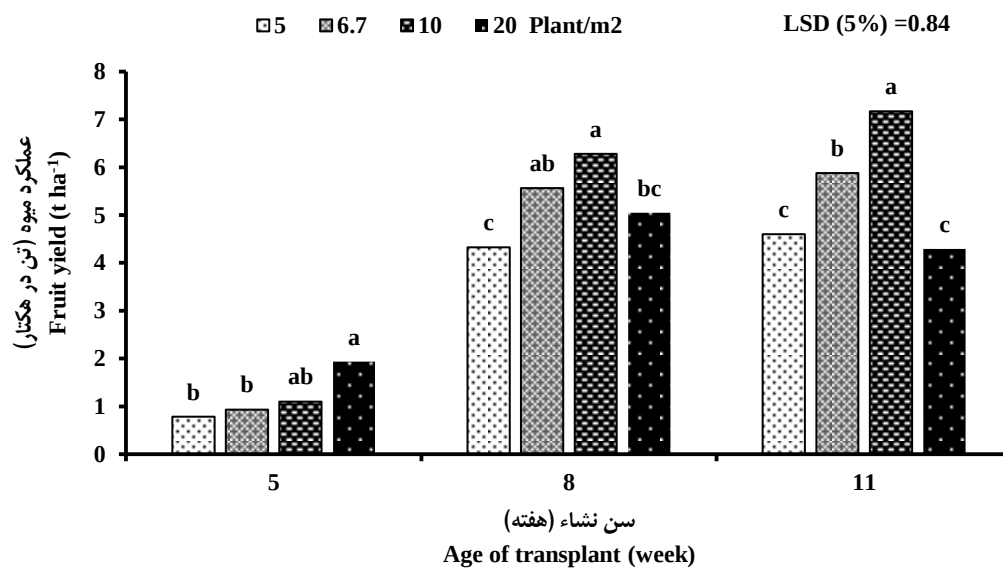
به‌طور کلی صرف‌نظر از اثر تراکم، نشاهای سن ۱۱ و ۸ هفته به‌ترتیب با میانگین ۵/۴ و ۵/۳ تن در هکتار نسبت به سن نشاء ۵ هفته عملکرد بیشتری تولید کردند (جدول ۳). دستیابی به عملکرد بالا در نشاکاری به شدت به سن نشاء در زمان انتقال وابسته است (Singh et al., 2001). سینگ و همکاران (2013) گزارش کردند که سن نشاء و زمان انتقال بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه پنبه تأثیر معنی‌داری دارد. تأخیر در تاریخ کاشت یا کاشت نشاهای کوچک‌تر باعث می‌شود که گیاه در شرایط نامساعد محیطی وارد فاز زایشی شده و در اثر این شرایط لقاح گل‌ها به‌خوبی انجام نشود و از طرف دیگر بالا بودن دما در این دوران باعث می‌شود که گیاه در مدت زمان کمتری نیاز حرارتی خود را دریافت کند و طول دوره گلدهی کاهش یابد در نتیجه پتانسیل تولید میوه کاهش می‌یابد (Whitfield, 1992). گزارشات فراوانی وجود دارد که تأثیر سن نشاء و زمان کاشت نشاء را بر عملکرد نشان می‌دهد. گرابوسکا و همکاران (Grabowska et al., 2007) طی تحقیقی بر روی کلم بروکلی (*Brassica oleracea*) گزارش کرد که عملکرد نهایی تحت تأثیر سن نشاء قرار گرفته است. ولازو و کونیک (Wlazło and Kunicki, 2003) گزارش کردند که بالاترین عملکرد کلم بروکلی در نشاهای سن ۸ هفته در مقایسه با چهار و شش هفته به‌دست آمد. حسن‌پور و همکاران (Hassanpoor et al., 2013) تأثیر زمان کاشت نشاء بر عملکرد و خصوصیات میوه چند رقم گوجه‌فرنگی را بررسی کردند. گزارش کردند که تأثیر معنی‌داری بر عملکرد میوه دارد و بیشترین مقدار عملکرد در تاریخ گیاهچه‌های مسن‌تر اتفاق افتاده بود. همچنین میانگین اثرات اصلی تراکم‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد میوه در تراکم ۱۰ بوته در متر مربع با میانگین عملکرد ۴/۸ تن در

هکتار به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر تراکم‌ها داشت و افزایش عملکرد آن نسبت به عملکرد در تراکم ۵ بوته در متر مربع، ۵۰ درصد بود (جدول ۳). همواره بالا بودن تراکم از حد مطلوب باعث افزایش رقابت و پایین بودن آن باعث عدم استفاده از امکانات محیطی شده که نتیجه آن کاهش عملکرد می‌باشد (Martin and Deo, 2000). در تراکم‌های زیاد به دلیل افزایش رقابت بین گیاهان و تأثیر بر فتوسنتز و کمبود عناصر غذایی مقدار رشد و عملکرد گیاهان کاهش می‌یابد در شرایط کمبود نور روزنه‌ها بسته می‌شوند و در نتیجه فتوسنتز کاهش می‌یابد (Jolliffe and Gaye, 1995). عموماً عملکرد محصولات کشاورزی با افزایش تراکم تا یک حدی افزایش می‌یابد و بعد از آن کاهش می‌یابد (Akintoye et al., 2009). نتایج چندین مطالعه حاکی از تأثیر تراکم گیاهی بر عملکرد میوه گوجه‌فرنگی است (Stoffella and Bryan, 1988; Ara et al., 2007). کلینک (Klinac, 1986) در تحقیقی بر روی گونه *Physalis peruviana* گزارش کرد که بیشترین عملکرد میوه در بوته در کمترین تراکم حاصل شد در حالی که بیشترین عملکرد در واحد سطح در تراکم‌های زیادتر به‌دست آمد.

شاخص برداشت میوه

اثر سن نشاء و تراکم بوته در سطح یک درصد و اثر متقابل سن نشاء و تراکم بوته در سطح ۵ درصد بر شاخص برداشت میوه عروسک پشت پرده معنی‌دار بود (جدول ۱). با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل سن نشاء و تراکم بوته، برش‌دهی اثرات متقابل برای این صفت انجام شد و نتایج آن نشان داد که اثر سطوح تراکم در سنین نشاء ۱۱ و ۸ هفته در سطح یک درصد معنی‌دار و در سن ۵ هفته غیرمعنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین تراکم‌های مختلف در هر سطح سن نشاء برای شاخص برداشت میوه نشان داد که در سنین ۱۱ و ۸ هفته کمترین مقدار مربوط به تراکم ۲۰ بوته (۲۵ و ۳۰ درصد) و اختلاف آن با هر سه تراکم دیگر معنی‌دار بود. همچنین در سن نشاء ۵ هفته کمترین مقدار شاخص برداشت میوه در تراکم ۲۰ بوته (۳۳ درصد) اتفاق افتاد با این تفاوت که اختلاف آن با سایر تراکم‌ها معنی‌دار نبود (شکل ۶).

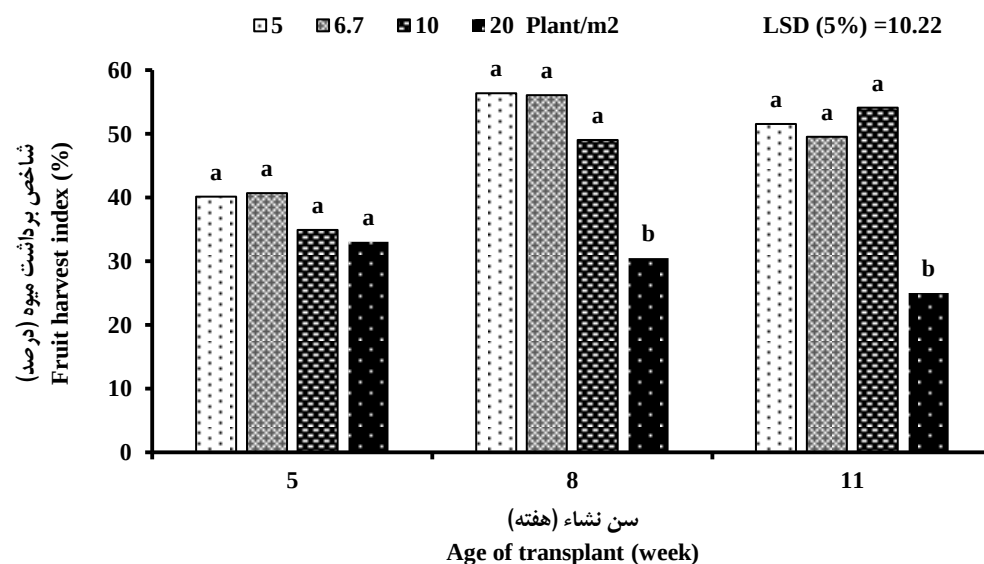
در تراکم‌های کمتر مقدار شاخص برداشت بیشتر است دلیل آن ممکن است رقابت کمتر گیاهان جهت جذب عوامل رشدی باشد (Bayat et al., 2012) و در تراکم‌های بالا رقابت برون و درون بوته‌ای افزایش یافته در نتیجه سهم دانه‌ها از مواد فتوسنتزی تولیدی کمتر می‌شود همین امر باعث کاهش شاخص برداشت می‌گردد (Hassanpoor et al., 2013).



شکل ۵- مقایسه میانگین تراکم‌های مختلف در هر سطح سن نشاء برای عملکرد میوه عروسک پشت پرده
Figure 5- Mean comparison for different plant density and different age of *Physalisalkekengi* transplant for fruit yield

رشد تا رسیدگی می‌شود و گیاه قبل از رسیدن به حداکثر سطح برگ وارد دوره زایشی شده و همین امر موجب تولید کمتر مواد فتوسنتزی در این دوره و در نتیجه کاهش عملکرد زایشی می‌گردد و در نتیجه کاهش شاخص برداشت میوه را به همراه دارد.

ثقه‌الاسلامی و موسوی (Seghat Al-Eslami and Mousavi, 2008) در گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis*) و چوپان و همکاران (Choopan et al., 2014) در گیاه کدو پوست کاغذی گزارش کردند که با افزایش تراکم مقدار شاخص برداشت کاهش یافت. انتقال نشاهای کوچک و با سن کم باعث کاهش طول دوره



شکل ۶- مقایسه میانگین تراکم‌های مختلف در هر سطح سن نشاء برای شاخص برداشت میوه عروسک پشت پرده
Figure 6- Mean comparison for different plant density and different age of *Physalisalkekengi* transplant for fruit harvest index

نتیجه گیری

در این تحقیق سن نشاء و تراکم بوته تأثیر به سزایی بر صفات مورد مطالعه داشتند به طوری که سنین نشاء ۱۱ و ۸ هفته از نظر تمامی صفات شرایط ایده آل و برتری نسبت به نشاهای ۵ هفته داشتند. نشاهای ۵ هفته با توجه به این که در زمان انتقال کوچک، ضعیف و به اندازه نرمال نرسیده بودند نتوانستند رشد خوبی در مزرعه داشته و در نتیجه مقادیر صفات مورد نظر در این سن نشاء کمتر از سایرین بود. در مورد تراکم با توجه به صفات مورد بررسی نتایج متفاوتی حاصل شد. برای صفاتی که مرتبط با رشد رویشی بودند تراکم های بالا، نتایج بهتری در پی داشتند مانند عملکرد بیولوژیک و ارتفاع بوته که با افزایش تراکم مقادیر آنها افزایش یافت، ولی در

برخی صفات مانند وزن میوه در بوته، تعداد میوه در بوته، وزن تک میوه، تعداد دانه در میوه در تراکم های ۵ و ۶/۷ بهترین حالت بود. عملکرد میوه در واحد سطح در مقایسه با سایر صفات مورد بررسی متفاوت بود بیشترین عملکرد میوه در تراکم های ۱۰ و ۶/۷ به دست آمد. شاخص برداشت میوه در تراکم های ۵، ۶/۷ و ۱۰ بیشترین مقدار بود. در پایان می توان اشاره کرد که سن نشاء ۵ هفته با توجه به رشد ضعیفی که داشت باعث ایجاد خلل در تأثیرگذاری تراکم های مختلف شد. با توجه به اینکه هدف اصلی در تولید این گیاه عملکرد میوه در واحد سطح است، می توان مناسب ترین سن نشاء و تراکم بوته برای کاشت این گیاه در عرصه های زراعی، سن نشاء ۱۱ و ۸ هفته و تراکم ۱۰ بوته در متر مربع را توصیه نمود.

References

- Ahmad, M. F. 2009. Effect of planting density on growth and yield of strawberry. *Indian Journal of Horticulture* 66 (1): 132-134.
- Akintoye, H. A., Kintomo, A. A., and Adekunle, A. A. 2009. Yield and fruit quality of water melon in response to plant population. *International Journal of Vegetable Science* 15: 369-380.
- Ali, A., and Singh, B. P. 2016. Studies on production potential of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in sodic soil under varying agronomic manipulations. *Journal of Applied and Natural Science* 8 (1): 368-374.
- Ameri, A., Nassiri, M., and Rezvani moghddam, P. 2007. Effects of different nitrogen levels and plant density on flower, essential oils and extract production and nitrogen use efficiency of Marigold (*Calendula officinalis*). *Iranian Journal of Field Crops Research* 5 (2): 315-325. (in Persian with English abstract).
- Amini, Z., Hosseini, S. M., Ali Mohammadi, M., Sisakhti, A., and Eskandari, A. 2013. Adaptability of tomato cultivars with short growing period and determination of suitable planting date in northern cold region of Fars province. *Journal of Plant Ecophysiology* 13: 27-38. (in Persian with English abstract).
- Aminifard, M. H., Aroiee, H., Ameri, A., and Fatemi, H. 2012 Effect of plant density and nitrogen fertilizer on growth yield and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *African Journal of Agricultural Research* 7 (6): 859-866.
- Ara, N., Bashar, M. K., Begum, S., and Kakon, S. S. 2007. Effect of spacing and stem pruning on the growth and yield of tomato. *International Journal of Sustainable Crop Production* 2: 35-39.
- Asgarnezhad, M. R., Zarei, Gh. R., and Zare zadeh, A. 2015. Effects of planting date and plant density on yield and yield components of *Brassica nigra* under Abarkooh climatic conditions. *Electronic Journal of Crop Production* 8 (3): 183-198. (in Persian with English abstract).
- Barkhi, A., Rashed-Mohassel, M., Nassiri-Mahallati, M., Hosseini, S., and Moazzen, S. 2009. Effect of planting pattern and plant density on growth, yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) in competition with redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*). *Iranian Journal of Crop Sciences* 11: 67-81. (in Persian with English abstract).
- Bayat, R., Sabaghpour, S. H., Hatami, A., and Mehrabi, A. A. 2012. Study on effect of sowing date and plant density on grain yield and yield components of improved chickpea (*Cicer arietinum* L.) Kabuli type var. Arman. *Iranian Journal of Pulses Research* 3 (2): 65-72. (in Persian with English abstract).
- Buttar, G. S., Sekhon, K. S., Sidhu, B. S., Thind, H. S., and Anureet, K. 2011. Effect of seedling transplanting systems on seed cotton yield and profit in Btcotton (*Gossypium hirsutum* L.) under semi-arid conditions of Punjab. *Journal of Cotton Research and Development* 25 (2): 207-209.
- Cebula, S. 1995. Optimization of plant and shoot spacing ingreenhouse of sweet pepper. *Acta Horticulturae* 412: 321-328.
- Charlo, H. C. O., Castoldi, R., Ito L. A., Fernandes, C., and Braz, L. T. 2007. Productivity of cherry tomatoes under protected cultivation carried out with different types of pruning and spacing. *Acta Horticulturae* 761: 323-326.
- Choopan, F., Bannayan, M., Asadi, G. A., and Shabahang, J. 2014. Effects of planting date and density on yield and yield components of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) under Mashhad conditions. *Journal of Agroecology* 6 (2): 383-391. (in Persian with English abstract).

15. Cooper, P. E., and Morelock, T. E. 1983. Effect of transplant age on earliness, total yield and fruit weight of tomato. *Ark Farm Research* 32: 6.
16. Dehghani, M., Jafar Aghaei, M., and Mohammadikia, S. 2014. Effect of transplanting on yield and water use efficiency in Cotton. *Journal of Water Research in Agriculture* 28 (2): 308-314. (in Persian).
17. Elio, J., Cantliffe, D. J., and Hochmuth, G. J. 1998. Effect of plant density and shoot pruning on yield and quality of a summer greenhouse sweet pepper crop in Northcentral Florida. University of Florida. Gainesville.
18. Fortune, R. A., Burki, G., Innelly, T. K., and Osullivan, E. 1999. Effect of early sowing on the growth, yield and quality of sugar beet. *Crops Research Center*. Oak Park. Carlow.
19. Franco, J. L., Diaz, M., Dianez, F., and Camacho, F. 2009. Influence of different types of pruning on cherry tomato fruit production and quality. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 7: 248-253.
20. Gent, N. 1992. Yield response to planting date and ventilation temperature of tomato grown in unheated high tunnels in the north east of U.S.A. *Acta Horticulturae* 303: 53-60.
21. Girapu, R. K., and Kumar, A. 2006. Influence of nitrogen and spacing on growth, yield and economics of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) production. *Proceedings of national symposium on production utilization and export of underutilized fruits with commercial potentialities*. Mohanpur, West Bengal, India.
22. Gomes, H. E., Vieira, M. C., and Heredia, Z. N. A. 2007. Density and plant arrangement on *Calendula Officinalis* L. yield. *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s 9: 117-123.
23. Grabowska, A., Kunicki, E., and Libik, A. 2007. Effects of age and cold storage of transplants on the growth and quality of broccoli heads. *Vegetable Crops Research Bulletin* 66: 31-38.
24. Hadley, P., Summerfield, R., and Roberts, E. 1983. Effects of temperature and photoperiod on reproductive development of selected grain legume crops. *Temperate legumes: The physiology, genetics and nodulation*. Davies. DR.
25. Hanare, M., and Hassani, G. H. 2014. Effects of Transplanting Stage of Seedling and Planting Depth on Growth and Yield of Tomato cv. Petoeary CH. *Seed and Plant Production Journal* 30 (1): 681-699. (in Persian with English abstract).
26. Hashemi-Dezfouli, A., and Herbert, S. J. 1992. Intensifying plant density response of corn with artificial shade. *Agronomy Journal* 84: 547-551.
27. Hassanpoor, A., Hassanpoor, A., and Abutalebi, A. H. 2013. Effect of Sowing Date on Yield and Fruit Characteristics of Greenhouse Tomato Cultivars. *Seed and Plant Production Journal* 2: 495-498. (in Persian with English abstract).
28. Hossain, M. F., Bhuiya, M. S. U., and Hasan, M. A. 2001. Effect of age of seedling and method of transplanting on the yield and yield components of aus rice. *Bangladesh Journal of Agricultural Sciences* 28: 359-365.
29. Ibrahim, H. M., Olasantan, F. O., and Oyewale, R. O. 2013. Age of seedling at transplanting influenced growth and fruit yield of sweet pepper (*Capsicum annum* L. cv. Rodo). *Net Journal of Agricultural Science* 1 (4): 107-110.
30. Izad Khah, M., Tajbakhsh, M., and Mousavi zade, S. A. 2011. Study effect of age and different size of transplants on yield, yield components and some characteristics on Onion (*Allium cepa* L.) storage. *Journal of Horticultural Science and Technology* 12 (1): 1-14. (in Persian).
31. Jankauskiene, J., Brazaityte, A., Bobinas, C., and Duchovskis, P. 2013. Effect of transplant growth stage on tomato productivity. *Acta Scientia Polonicae* 12 (2): 143-152.
32. Jolliffe, P. A., and Gaye, M. M. 1995. Dynamics of growth and yield component responses of bell peppers (*Capsicum annum* L.) to row covers and population density. *Scientia Horticulturae* 62 (3): 153-164.
33. Khajepour, M. R. 1994. The principles of agronomy. Isfahan University of Technology Press. (in Persian).
34. Klinac, D. J. 1986. Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) production systems. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 14 (4): 425-430.
35. Leskovar, D. I., Cantliffe, D. J., and Stoffella, P. J. 1991. Growth and Yield of Tomato Plants in Response to Age of Transplants. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116 (3): 416-420.
36. Liptay, A. 1987. Field survival and establishment of tomato transplants of various age and size. *Acta Horticultural* 220: 203-209.
37. Majnoon-Hosseini, N., Mohammadi, H., Poustini, K., and Zeinaly-Khanghah, H. 2003. Effect of plant density on agronomic characteristics, chlorophyll content and stem remobilization percentage in chickpea cultivars. *Iran Agricultural Science Journal* 34: 1011-1019.
38. Martin, R. J. and Deo, B. 2000. Effect of plant population on calendula (*Calendula officinalis* L.) flower production. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 28: 37-44.
39. Mehla, C. P., Srivastava, V. K., and Singh, J. 2000. Response of tomato (*Lycopersicon esculentum*) varieties to N and P fertilization and spacing. *Indian Journal of Agricultural Research* 34 (3): 182-184.
40. Peixoto, N., Peixoto, F. C., Vaz, U. L., Neri, S. C. M., and Monterio, J. G. 2010. Plant growth and production of husk tomato depending on organic fertilization and mulching. *Horticultura Brasileira* 28: 370-372.

41. Pirzad, A. R., Aliyari, H., Shakiba, M. R., Zehtab-Salmasi, S., Mohammadi, S. A. 2008. Effects of Irrigation and Plant Density on Water-Use Efficiency for Essential Oil Production in *Matricaria chamomilla* L. Journal of Agricultural Science 18 (2): 49-58. (in Persian with English abstract).
42. Ponce Valerio, J. J., Peña-Lomeli, A., Rodríguez-Pérez, J. E., Mora-Aguilar, R., Castro-Brindis, R., and Magaña Lira, N. 2012. Pruning and plant density in three varieties of husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) grown under greenhouse conditions. Revista Chapingo. Serie Horticultura 18 (3): 325-332.
43. Puente, L. A., Pinto-Monoz, C. A., Castro, E. S., and Cortes, M. 2011. *Physalis peruviana* Linnaeus the multiple properties of a highly functional fruit, A review. Food Research International 44: 1733-1740.
44. Quiros, F. C. 1984. Overview of the genetics and breeding of husk tomato. Horticultural Science 19: 872-874.
45. Rahnama, A. 2007. Plant Physiology. Puran Research Publications, Tehran. (in Persian).
46. Rajnish, K. G., and Kumar, A. 2006. Influence of nitrogen and spacing on growth, yield and economics of Cape-Gooseberry production. proceeding of national symposium on production, utilization and export of underutilized fruits with comerial potentialities. Mohanpur, West Bengal (India).
47. Seghat Al-Eslami, M. J., and Mousavi, Gh. R. 2008. Effect of sowing date and plant density on grain and flower yield of Pot Marigold (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 6 (2): 263-269. (in Persian with English abstract).
48. Seifi, S., Nemati, S. H., Shoor, M., and Abedi, B. 2008. Effects of drought Stress Induced by Polyethylene Glycol on Germination and Morphophysiological Characteristics of Dill (*Anethum graveolens* L.). Journal of Horticultural Science 25 (2): 194-200. (in Persian with English abstract).
49. Sharma, R. 2004. Agro-Techniques of Medicinal Plants. Daya Publishing House. Delhi.
50. Shukla, K. N., and Dixit, R. S. 2000. Nutient and plant population management in summer green gram. Indian Journal of Agronomy 41: 78-83.
51. Singh, A. K., Parmar, A. S., and Pathak, R. 2002. Effect of spacing and nitrogen doses on yield and its attributes of determinate and indeterminate types of hybrid tomato (*Lycopersicon esculentum*). Progressive Horticulture 34 (2): 215-217.
52. Singh, K., Singh, H., Singh, K., and Rathore, P. 2013. Effect of transplanting and seedling age on growth, yield attributes and seed cotton yield of Bt cotton (*Gossypium hirsutum*). The Indian Journal of Agricultural Sciences 5 (83): 508-513.
53. Soleymani Sardoo, M., Afsharmanesh, G., and Roudbari, Z. 2015. Evaluation effect of sowing date and plant density on yield and yield components of Mung bean in Jiroft conditions. Crop Science Research in Arid Region 1 (2): 177-186. (in Persian with English abstract).
54. Stoffella, P. J., and Bryan, H. H. 1988. Plant population influences growth and yields of bell pepper. Journal of the American Society for Horticultural Science 109: 642-645.
55. Tabrizi, L., Mohammadi, H., and Salehi, R. 2016. Optimizing growth and yield of Cape gooseberry by application of vermicompost under different plant densities. Agricultural Crop Management 17 (4): 989-1001. (in Persian with English abstract).
56. Travlos, I. S. 2012. Invasiveness of cut-leaf ground-cherry (*Physalis angulate* L.) populations and impact of soil water and nutrient availability. Chilean Journal of Agricultural Research 72: 358-363.
57. Tuan, N. M., and Mao, T. M. 2015. Effect of plant density on growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) at Thai Nguyen, Vietnam. International Journal of Plant & Soil Science 7 (6): 357-361.
58. Tulukcu, E. 2012. Determination of yield and yield components of gooseberry (*Physalis peruviana*) grown in dry conditions. International Journal of Agronomy and Agricultural Research 2 (2): 22-29.
59. Vavrina, C. S. 1998. Transplant age in vegetable crops. Hort Technoligy 8 (4), Florida Agricultural Experiment Station Journal, Series R-06270.
60. Whitfield, D. M. 1992. Effect of temperature and ageing on CO₂ exchange of pods of oilseed rape. Field Crop Research 28: 801-805.
61. Wlazlo, A., and Kunicki, E. 2003. The effect of transplant age and planting time on yield and quality of autumn broccoli. Folia Horticulturae 15 (2): 33-40.
62. Yu, Y., Sun, L., Ma, L., Li, J., Hu, L., and Liu, J. 2010. Investigation of the immunosuppressive activity of Physalin H on T lymphocytes. International Immunopharmacology 10: 290-297.



The Effect of Transplant Age and Plant Density on Yield and Yield Components of Chinese Lantern (*Physalis alkekengi* L.) as a Medicinal Plant

A. Asgari¹, P. Rezvani Moghaddam^{2*}, A. Koocheki²

Received: 30-10-2017

Accepted: 30-04-2018

Introduction

Nowadays, need for medicinal plants are increasing to the extent that it has become a very important in terms of trade. Chinese lantern belongs to Solanaceae family and it is indigenous to the American continent. There are many benefits to Chinese lantern such as anticancer activities against hepatitis and Diabetes. The optimum planting date of Chinese lantern is one the most important factors for a successful cultivation. Interactions between environmental and plant factors cause planting date, transplanting date and the age of the transplants vary from one location to another, even among different genotypes. Moreover, the optimum plant density is an essential factor to reach a high yield. In fact, low plant density leads sources to waste; on the other side, high plant density causes yield reduction due to intense competition. The present study aims to investigate the effects of different plant densities and age of transplants on yield and yield components of Chinese lantern in Mashhad, Iran.

Materials and Methods

A field study in a factorial experiment based on a randomized complete block design was carried out with three replications at the research field of faculty of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran in 2016. The experimental treatments were the combination of transplants age (5, 8 and 11 weeks) and four levels of the plant density (5, 6.7, 10 and 20 plants per square meter). All the transplants were transferred in the field on May 5. Plots were designed with 3 m long and 2 m width, 0.5 m apart from each other. The first irrigation was done three days before transplanting date; and further irrigation was done immediately after transplanting. At the maturity stage, five plants in each plot were selected randomly to measure plant height, fruit number, fruit weight per plant, single fruit weight, the number of seeds per fruit and 1000 seeds weight. Final fruit yield, biological yields and harvest index were measured by harvesting 1 m² of the central part of each plot. All data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using SAS 9.1 software (SAS, 2011). When F test indicated statistical significance at $p < 0.01$ or $p < 0.05$, the least significant difference (LSD) was used to separate the means.

Results and Discussion

The highest fruit weight per plant was acquired by the density of 5 plants per m² and transplant age of 8 and 11 weeks. Increasing plant density from 5 to 20 per m² led to decrease fruit weight in plant. In the low density, plants can access to the sufficient amount of resources, so, yield rises; while in the high density, plant competition causes assimilation to reduce. The highest biological yield (16 tons per hectare) was obtained in the 8- and 11-week transplants, and density of 20 plants per m². The highest fruit yield was achieved at 10 plants per m² and 11-week-old transplant which was significantly different from the other treatments. The highest fruit yield was obtained by the density of 10 plants per m² followed by 6.7 plants per m² when 8-weeks transplant was used. The 11-week-old transplant and the density of 5 plants per m² produced the highest fruit number (109). In general, with increasing age of transplants, the number of seeds per fruit increased. The results showed that increasing age of transplants from 5 to 11 weeks led to increase seeds weight from 2.14 g to 2.87 g. Plant height increased significantly by increasing plant density. The density of 5, 6.7 and 10 plants per m², and 8 and 11 weeks old transplants had the highest harvest index. The lowest harvest index was seen at 20 plants per m². Overall, 5-week-old transplants could not produce proper mature plants; also, the density of 20 plants per m² was not favorite for most of the traits except for biological mass and plant height.

Conclusions

The results showed that plant density and the age of transplants had significant effects on the studied traits. All the traits were superior when 8- and 11-week old transplants were used. It seems that 5-week-old seedlings

1 And 2- PhD Student and Professor, respectively, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

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

were not enough strong to grow well and did not have a normal plant size to provide successful mature plants in the field. Plant height and biological mass increased when plant density increased.

Keywords: Biological yield, Fruit yield, Harvest index, Plant height, 1000 seeds weight



ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ذرت شیرین (*Zea mays*.) (*Solanum tuberosum*) و سیبزمینی (*Varsaccharata*)

هانیه همافر^۱، محمود خرمی وفا^{۲*}، فرزاد مندنی^۳، حیدر ذوالنوریان^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۲

چکیده

اختلافات فیزیولوژیک و مورفولوژیک دو محصول اقتصادی و ارزشمند سیبزمینی و ذرت شیرین و همچنین عدم تداخل در برداشت، دلایل کافی و منطقی برای کشت مخلوط آن‌هاست. با این حال، برای یافتن بهترین ترکیب مناسب کشت این دو گیاه، اطلاعاتی چون کارایی در مصرف منابع تولید اهمیت دارد. از این رو به منظور بررسی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ذرت شیرین و سیبزمینی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه در سال زراعی ۱۳۹۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی در شش سطح، عبارت از الگوهای کشت مخلوط ۱:۱، ۲:۲، ۲:۱ و ۱:۲ (به ترتیب نشان‌دهنده ردیف‌های کاشت ذرت شیرین و سیبزمینی) به همراه کشت خالص آن‌ها بودند. نتایج نشان داد که شاخص سطح برگ و کارایی مصرف نور برای هر دو گیاه و در تمام الگوهای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی بالاتر بود. در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط، بیشترین کارایی مصرف نور برای هردو گیاه ذرت شیرین و سیبزمینی، به الگوی ۱:۲ به ترتیب معادل ۲/۱۸ و ۱/۸۶ گرم بر مگاژول، مربوط بود، در حالی که بیشترین عملکرد قابل کنسرو ذرت شیرین (۳۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سیبزمینی (۹۴۶۰ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب از الگوهای ۲:۱ و ۲:۲ به دست آمد. به طور کلی نتایج این بررسی نشان داد که کشت مخلوط ذرت شیرین و سیبزمینی جذب نور کارآمدتری نسبت به تک‌کشتی آن‌ها دارد، و از نظر اقتصادی، کشت دو ردیف سیبزمینی همراه با دو ردیف ذرت ($LER=1/41$) توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری، کارایی مصرف منابع، الگوی کاشت

مقدمه

جذب (برتری زمانی) و یا پوشش بیشتر سطح خاک (برتری مکانی) میزان بهره‌وری در سیستم‌های زراعی افزایش می‌یابد (Awal et al., 2006). این گونه بیان شده که در کشت مخلوط، جامعه گیاهی با پوشاندن زمین در زمان کوتاه‌تر، جذب و کارایی مصرف نور را به شکل مؤثرتری افزایش می‌دهد (Mansoori et al., 2013). به طور کلی در صورت انتخاب درست گیاهان، حضور چند گیاه در چند کشتی، نسبت به یک گیاه در کشت خالص می‌تواند میزان بیشتری از نور رسیده به سطح زمین را جذب کرده تا در نهایت افزایش تولید ماده خشک را در پی داشته باشد (Nassiri Mahallati et al., 2015).

پژوهش‌هایی که در خصوص نقش چندکشتی در جذب و کارایی مصرف نور انجام شده است، نشان از تأثیر مثبت این سیستم‌ها در خصوص بهره‌وری نور داشته است. برای نمونه کارایی جذب نور در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) بیشتر از کشت خالص آن‌ها بود و تجمع بیشتر ماده خشک در کشت مخلوط را عمدتاً به دریافت بیشتر نور نسبت داده شده است (Tsubo et al., 2005). همچنین در ارزیابی کشت مخلوط ذرت با سه رقم لوبیا گزارش شده است که کم‌ترین و بیش‌ترین شاخص سطح برگ و درصد جذب نور به ترتیب از کشت خالص ذرت و کشت مخلوط ذرت و لوبیا به دست آمده‌اند (Dabbagh Mohammadi

افزایش میزان تولیدات کشاورزی در طی دهه‌های گذشته در پی مصرف زیاد نهاده‌های شیمیایی بوده است. متأسفانه کشاورزی رایج موجب پیامدهای نامطلوبی همچون فرسایش خاک، آلودگی محیط‌زیست، ظهور و پیدایش علف‌های هرز و آفات مقاوم به سموم شیمیایی شده است. در این رابطه استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط به عنوان یکی از راه کارهای پیشنهادی برای رفع یا تخفیف این مشکلات مطرح شده‌اند (Haugaard-Nielsen et al., 2006). کشت مخلوط به کشت دو یا چند گیاه در یک زمان در یک قطعه زمین مشخص اطلاق می‌شود (Koocheki et al., 2009). از مهم‌ترین ویژگی‌های کشت مخلوط در مقایسه با سیستم‌های تک‌کشتی می‌توان به افزایش کارایی مصرف منابعی چون نور اشاره کرد. چراکه به واسطه افزایش جذب نور، به دلیل افزایش طول دوره

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آگرو اکولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۲ و ۳- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۴- مربی بازنشسته مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه

(*)- نویسنده مسئول: (Email: Khoramivafa@razi.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v17i3.69264

مورفولوژیک این دو محصول نیز دلایل کافی و منطقی برای کشت مخلوط آن‌هاست. ضمن این‌که برداشت این دو محصول نیز هیچ‌گونه خللی در دیگری ایجاد نمی‌کند. باین‌حال، برای یافتن بهترین ترکیب مناسب کشت دو گیاه، اطلاعاتی چون کارایی در مصرف منابع تولید از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. ازاین‌رو هدف از انجام این آزمایش ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ذرت شیرین و سیب‌زمینی تحت شرایط آب و هوایی کرمانشاه بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش طی سال زراعی ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی در شش سطح، عبارت از الگوهای کشت مخلوط ذرت شیرین (رقم Chase) با دوره رسیدگی ۷۰ تا ۸۰ روز و ارتفاع ۱۶۰ سانتی‌متر با رنگ زرد) و سیب‌زمینی (رقم Agria) با پوست کرم و گوشت زرد، رنگ گل‌ها سفید، مناسب برای فرآوری و تازه‌خوری، مقاوم به بیماری ویروسی ولی تقریباً حساس به بیماری (blackleg) شامل ۱:۱ (یک ردیف ذرت و یک ردیف سیب‌زمینی)، ۲:۲ (دو ردیف ذرت شیرین و دو ردیف سیب‌زمینی)، ۲:۱ (یک ردیف ذرت شیرین و دو ردیف سیب‌زمینی)، ۱:۲ (دو ردیف ذرت شیرین و یک ردیف سیب‌زمینی)، به همراه کشت خالص دو گیاه بودند. هر کرت شامل شش ردیف کاشت به طول هفت متر با فاصله ۷۵ سانتی‌متر بود، که چهار ردیف میانی برای نمونه‌گیری در نظر گرفته شد. فاصله بوته روی ردیف نیز برای ذرت و سیب‌زمینی به‌ترتیب ۱۲ و ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. به‌این‌ترتیب تراکم بوته در کشت‌های خالص ذرت و سیب‌زمینی به‌ترتیب ۱۱/۱ و ۵/۳۳ بوته در مترمربع به‌دست آمد (Raei et al., 2011).

در این بررسی مصرف کود شیمیایی بر اساس نیاز غذایی سیب‌زمینی و بر اساس ویژگی‌های خاک‌شناسی مکان آزمایش با مقادیر ۲۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، به‌ترتیب برای اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم بود (جدول ۱). برای این منظور تمامی کود سوپر فسفات تریپل در زمان کاشت (۱۰ اردیبهشت‌ماه) به زمین اضافه گردید. همچنین دوسوم کود سولفات پتاسیم در زمان کاشت و یک‌سوم دیگر آن به‌صورت سرک و در زمان به غده رفتن سیب‌زمینی (۱۰ خرداد) مصرف شد. در تمام تیمارها یک‌سوم کود اوره در زمان آماده‌سازی زمین، یک‌سوم در اوایل دوره غده‌بندی (۱۰ خرداد) و یک هفته قبل از گلدهی (اول تیرماه) به‌صورت سرک مصرف گردید.

(Nassab et al., 2015). در بررسی کشت مخلوط ذرت و لوبیا، مشاهده شد که میزان جذب تشعشع توسط کانوپی مخلوط نسبت به کشت خالص آن‌ها بیشتر بوده است. زیرا در کشت مخلوط، سطح سایه‌انداز برای جذب تشعشع افزایش می‌یابد. بر اساس این گزارش، استفاده بهینه از منبع نوری، افزایش کارایی مصرف نور را در مخلوط ذرت و لوبیا به همراه داشته است (Mansoori et al., 2013). نصیری محلاتی و همکاران اظهار داشتند که کشت مخلوط نواری ذرت و لوبیا کارایی استفاده از زمین و منابع به‌واسطه افزایش سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، عملکرد و نسبت برابری زمین، افزایش یافت. در این رابطه بهره‌وری مطلوب‌تر از منابع مصرفی در چند کشتی به بهبود میزان فتوسنتز و درنهایت افزایش وزن خشک و عملکرد در مقایسه با کشت خالص ذرت و لوبیا منجر شده است. هرچند الگوهای بیش از سه ردیف، ویژگی‌های اشاره‌شده کاهش می‌یابد (Nassiri Mahallati et al., 2015). در گزارش دیگری، کارایی مصرف نور ذرت در تمام ترکیب‌های کشت مخلوط ذرت و سیب‌زمینی نسبت به کشت خالص آن‌ها افزایش یافت، هرچند کارایی مصرف نور سیب‌زمینی در شرایط کشت مخلوط کاهش یافت. سایه‌اندازی بیش‌ازحد بوته‌های ذرت روی سیب‌زمینی و کمبود نیتروژن آخر فصل، از دلایل اصلی کاهش کارایی مصرف نور سیب‌زمینی در این آزمایش گزارش شده است (Hosseinpanahi et al., 2010). جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط گندم و کلزا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تراکم و نسبت کاشت دو گیاه قرار گرفت و الگوهای مخلوط کارایی بیشتری در مصرف در مقایسه با کشت‌های خالص داشتند. در این رابطه کشت مخلوط گندم و کلزا (Brassica napus L.) به‌ترتیب با تراکم ۳۰۰ و ۱۰۰ بوته در مترمربع با نسبت ۵۰-۵۰ بالاترین میزان کارایی مصرف نور گندم برابر با ۱/۹۱ گرم بر مگاژول را در پی داشت و نسبت کشت ۷۵-۲۵ با بیشترین کارایی مصرف نور کلزا معادل ۱/۲۴ گرم بر مگاژول همراه بود (Karimian et al., 2015). در یک آزمایش سه‌ساله در کشت مخلوط سیب‌زمینی و لوبیا در تونس مشاهده شد که کارایی مصرف نور سیب‌زمینی بین ۷/۷ تا ۲۳/۶ درصد نسبت به کشت خالص آن افزایش یافت. دلیل اصلی این موضوع افزایش کل ماده خشک سیب‌زمینی در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص آن و همچنین توزیع بهتر نور در مجموع سایه‌انداز دو گیاه بود (Rezig et al., 2013). با افزایش تعداد ردیف‌ها در مخلوط ذرت و کلم، مقدار PAR برای ذرت و کلم (*Brassica oleracea* L.) به‌ترتیب روندی کاهشی و افزایشی پیدا کرد ولی باین‌حال بین عملکرد و مقدار PAR در مخلوط، رابطه خطی مثبتی مشاهده شد. بر همین پایه کشت چهار ردیف ذرت همراه با شش ردیف کلم، بهترین ترکیب برای این مخلوط پیشنهاد شد (Wang et al., 2015). علاوه بر اهمیت اقتصادی دو محصول سیب‌زمینی و ذرت شیرین، وجود اختلافات فیزیولوژیک و

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مزرعه

Table 1- Some physical and chemical properties of soil and applied manure in the experiment

هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	بافت Texture	کربن آلی OC (%)	نیترژن N (%)	پتاسیم قابل جذب Available K (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب Available P (mg.kg ⁻¹)
0.6	7.4	Clay	1.5	0.04	300	5.1

توسط کانوپی ذرت (I_c) و سیبزمینی (I_p) همچنین شاخص سطح برگ روزانه ذرت (LAI_c) و سیبزمینی (LAI_p) نیز از طریق برازش معادله زیر بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده شاخص سطح برگ محاسبه گردید (Nassiri Mahallati et al., 2015)

$$LAI = a + b \times 4 \times (\exp(-(x-c)/d)) / (1 + \exp(-(x-c)/d)) \quad (5)$$

در اینجا a: عرض از مبدأ، b: زمان رسیدن به حداکثر LAI، c: حداکثر LAI، d: نقطه عطف منحنی است که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود و x: زمان برحسب روزهای پس از کاشت است. نور جذب‌شده در هر مرحله نیز از حاصل ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در درصد نور جذب‌شده به دست آمد و مقدار کل نور جذب‌شده به صورت تجمعی از طریق حاصل ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در انتگرال کسر نور روزانه جذب‌شده نسبت به زمان محاسبه شد. در انتها، کارایی مصرف نور ذرت شیرین و سیبزمینی برحسب گرم بر مگاژول، از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک کل تجمعی (گرم بر مترمربع) و میزان تشعشع روزانه خورشید به صورت تجمعی (مگاژول بر مترمربع) برای هر یک از کرت‌ها به طور جداگانه محاسبه شدند.

هنگامی که رطوبت دانه‌های ذرت شیرین بین ۷۵-۷۰ درصد بود، برداشت نهایی از یک مترمربع از هر کرت با رعایت اصول حاشیه به صورت کفبر انجام شد. برای تعیین عملکرد دانه قابل کنسرو، دانه‌ها از چوب بلال جدا گردید و سپس عملکرد ماده خشک کلیس از خشک کردن نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت اندازه‌گیری شد. برای سیبزمینی نیز یک مترمربع از هر واحد آزمایشی برای اندازه‌گیری عملکرد غده در نظر گرفته شد. تجزیه و تحلیل داده‌های مستخرج از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. برای برازش معادلات و رسم شکل از نرم‌افزارهای Excel و Slide Write استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ (LAI)

در ابتدای دوره رشد شاخص سطح برگ روند کندی داشت و با گذشت زمان حالت خطی پیدا کرد و در نهایت به حداکثر مقدار خود رسید و پس از آن به دلیل پیری برگ‌ها و ریزش آن روند آن نزولی شد (شکل ۱).

کشت دو گیاه به صورت دستی و در اردیبهشت‌ماه انجام شد. بذور ذرت و غده‌های یک‌دست سیبزمینی (با وزن تقریبی ۷۰ گرم) به ترتیب در عمق ۵-۴ و ۱۰-۷ سانتی‌متری (Hosseinpanahi et al., 2010) کشت شدند. آبیاری به صورت نشتی تا انتهای دوره رشد گیاهان صورت گرفت. همچنین در تمام طول دوره رشد، مزرعه علف‌های هرز به صورت دستی کنترل شدند. در آغاز مرحله غده‌زایی سیبزمینی نیز یک مرحله خاک‌دهی پای بوته‌ها انجام شد.

نمونه‌برداری‌های تخریبی از دو هفته پس از سبز شدن گیاهان آغاز شد. بدین ترتیب که در هر مرحله، از هر کرت ۳ بوته به صورت تصادفی از هر یک از گیاهان برداشت و جهت اندازه‌گیری سطح برگ و وزن خشک به آزمایشگاه منتقل گردید. برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل LA-3000A) استفاده شد. برای تعیین وزن خشک کل نیز ابتدا نمونه‌ها (اندام هوایی همراه با غده‌ها) به مدت زمان کافی در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد حرارت آون قرار داده شدند و سپس توسط ترازو وزن آن‌ها اندازه‌گیری گردید. برای تخمین مقادیر ماده خشک کل روزانه از برازش معادله (۱) استفاده گردید (Nassiri Mahallati et al., 2015).

$$TDM = \frac{a}{(1+b \times e^{(-c \times x)})} \quad (1)$$

در اینجا TDM؛ ماده خشک کل روزانه برحسب گرم در مترمربع، a؛ حداکثر ماده خشک کل، b؛ زمانی که منحنی ماده خشک کل وارد مرحله خطی رشد خود می‌شود، c؛ سرعت رشد نسبی و x؛ زمان برحسب روز پس از سبز شدن است.

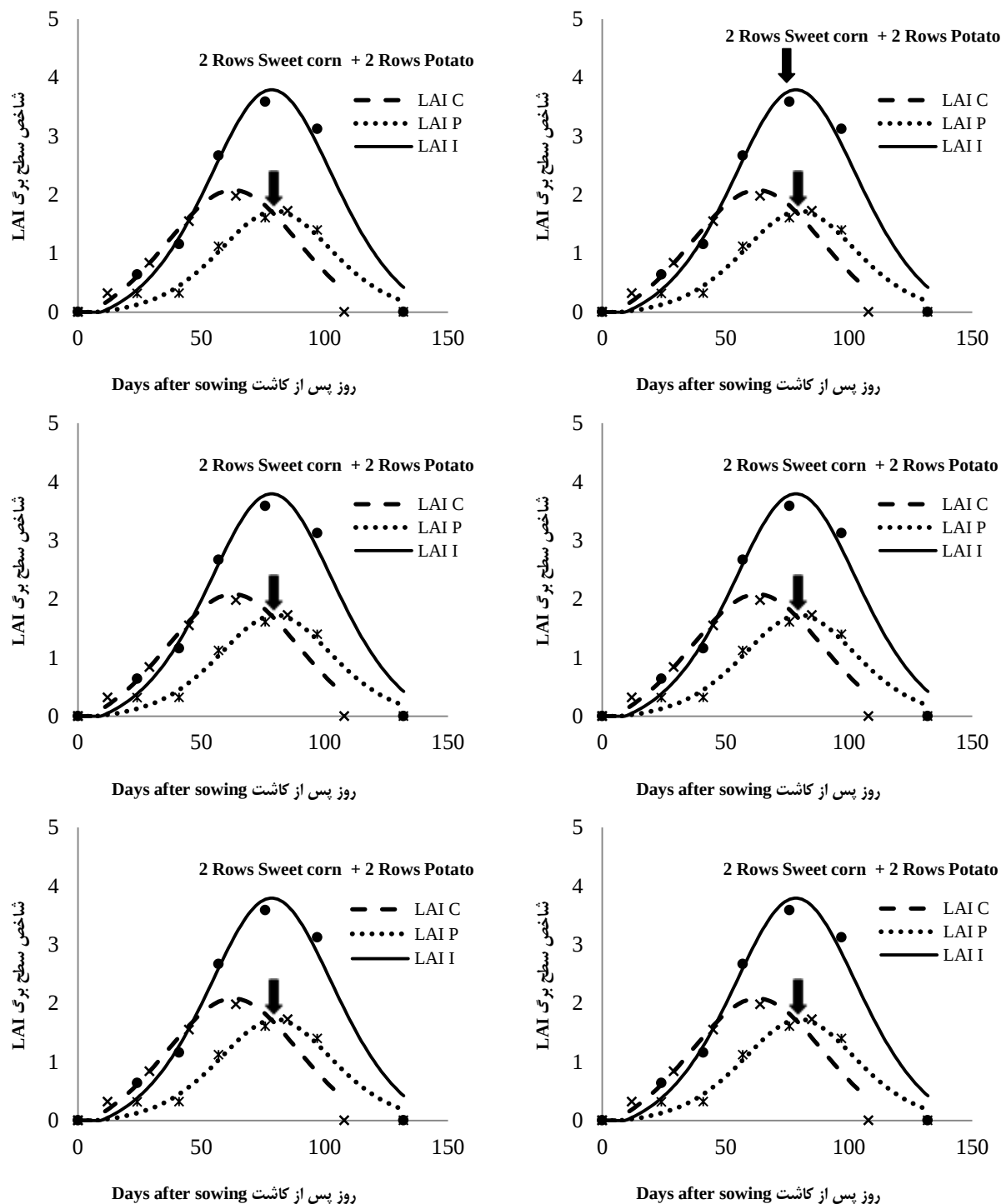
به منظور محاسبه کارایی مصرف نور ابتدا تعداد ساعات آفتابی برای عرض جغرافیایی کرمانشاه از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی دریافت و سپس میزان تشعشع روزانه خورشیدی به روش ارائه‌شده توسط گودریان و وانلار محاسبه گردید (Goudriaan and Van Laar, 2012). نور جذب‌شده روزانه برای کانوپی، ذرت و سیبزمینی نیز بر اساس معادلات زیر محاسبه شد (Tsubo et al., 2005):

$$I_T = I_0 \times (1 - P) \times (1 - \exp(-K_c \times LAI_c) + (-K_p \times LAI_p)) \quad (2)$$

$$I_c = I_T \times ((K_c \times LAI_c) / ((K_c \times LAI_c) + (K_p \times LAI_p))) \quad (3)$$

$$I_p = I_T - I_c \quad (4)$$

در اینجا I_T ؛ نور جذب‌شده توسط کانوپی مخلوط (برحسب مگاژول بر مترمربع)، I_0 ؛ نور رسیده به بالای کانوپی (برحسب مگاژول بر مترمربع)، P؛ ضریب انعکاس نور حدود ۵ درصد و ضریب خاموشی نور ذرت (K_c) و سیبزمینی (K_p) به ترتیب معادل ۰/۶ و ۰/۸ در نظر گرفته شدند (Nassiri Mahallati et al., 2015). نور جذب‌شده



شکل ۱- تغییرات شاخص سطح برگ در کشت‌های خالص و مخلوط ذرت شیرین و سیب‌زمینی. LAI I, LAI P, LAI C به ترتیب شاخص سطح برگ ذرت شیرین، سیب‌زمینی و مخلوط و فلش‌ها زمان برداشت دانه قابل کنسرو ذرت شیرین را نشان می‌دهند.

Figure 1- Trend of sweet corn and potato LAI in sole/intercropping (LAI C, LAI P, LAI I were the LAI of sweet corn, potato, intercropping respectively). The black arrows show the harvesting time for sweet corn shelled kernel)

سیب‌زمینی در زیر کانوپی ذرت شیرین به جذب طول‌موج‌های انتقال‌یافته و منعکس‌شده توسط کانوپی ذرت شیرین و در پی آن باعث افزایش جذب نور کانوپی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌شود. برخی محققان نیز افزایش جذب سایر منابع مصرفی از جمله نور را در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص گزارش کرده‌اند (Rodrigo et al., 2001; Willey, 1990). آن‌ها همچنین، اظهار داشتند که استفاده از سیستم کشت مخلوط یک امر ضروری برای بهبود کارایی جذب و مصرف منابع برای توسعه پایدار تولید محصولات زراعی است.

روند تجمع ماده خشک

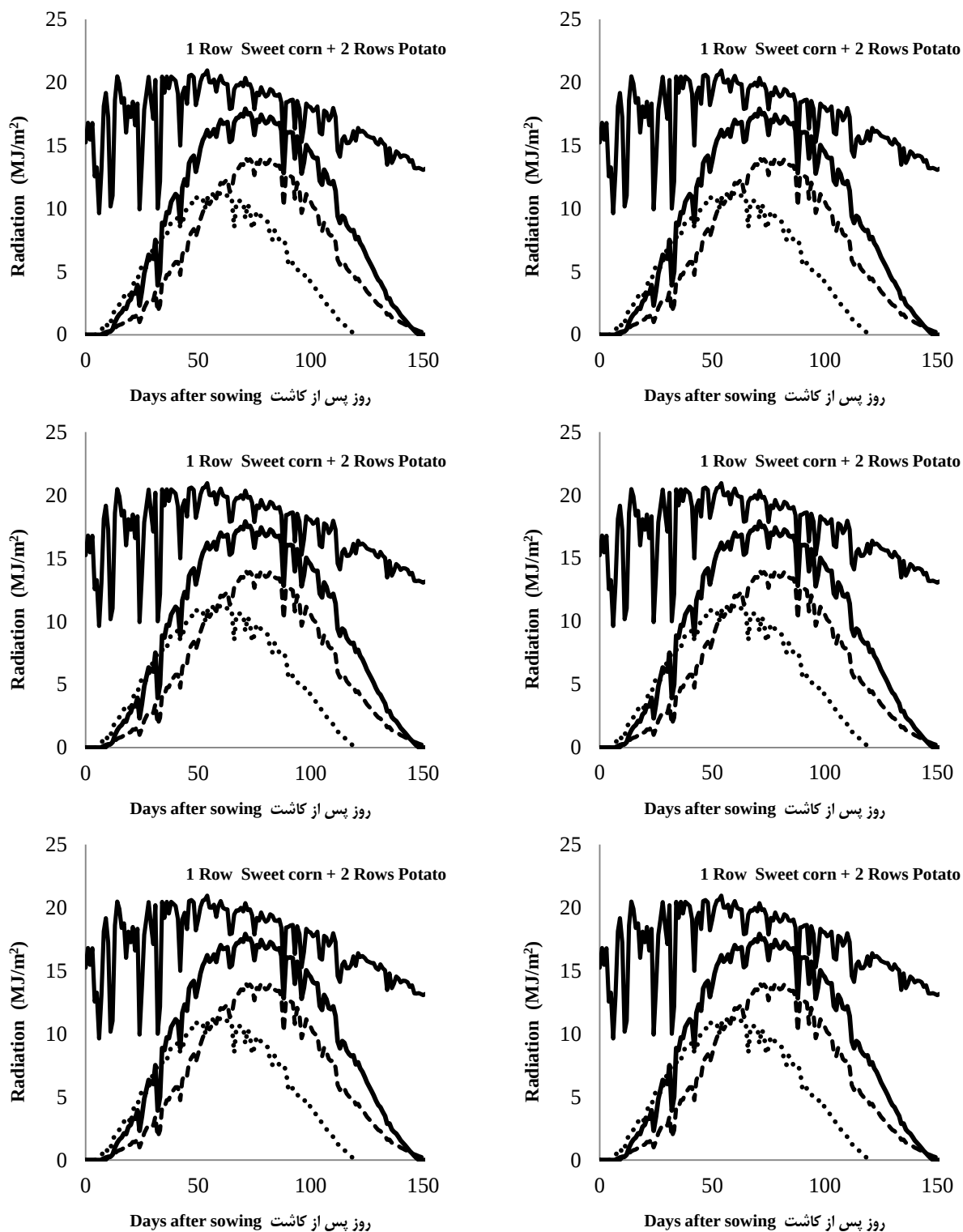
به دلیل کوچک بودن بوته‌ها در ابتدای دوره رشد، اختلاف چندانی در روند تغییر تجمع ماده خشک بین کشت‌های مخلوط ذرت و سیب‌زمینی و کشت خالص آن‌ها مشاهده نشد، اما از حدود ۳۰ روز پس از کاشت با بزرگ شدن بوته‌ها روند تجمع ماده خشک وارد مرحله خطی گردید و به حداکثر مقدار خود رسید و در نهایت روند تقریباً ثابتی را در پیش گرفت و اختلاف بین کشت‌های مخلوط و خالص مشهود گردید (شکل ۳). بر اساس نتایج این آزمایش، در اکثر الگوهای کشت‌های مخلوط سهم ذرت شیرین در افزایش ماده خشک بیشتر از سیب‌زمینی بود که با نتایج دیگر محققان (Anil et al., 1991; Wall et al., 1998) مطابقت داشت. بیشترین تجمع ماده خشک دو گیاه از کشت دو از کشت دو ردیف ذرت شیرین همراه با یک ردیف سیب‌زمینی (۱۷۴۵/۵۵ گرم در مترمربع) به‌دست آمد. بر همین اساس به نظر می‌رسد افزایش نور جذب‌شده توسط کانوپی مخلوط در مقایسه با کشت خالص، به بهبود سرعت رشد محصول و در نهایت تجمع ماده خشک کل منجر گردید. در این رابطه گزارش شده است که افزایش میزان تجمع ماده خشک در کشت مخلوط گونه‌های زراعی بیشتر به دلیل بهبود ظرفیت گونه‌های زراعی برای افزایش جذب و مصرف فیزیولوژیکی منابع توسط آن‌ها حاصل می‌شود (Rostami et al., 2011). نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2015) دریافتند که در تیمارهای کشت مخلوط ذرت و لوبیا، میزان تجمع ماده خشک کل بالاتر از تیمارهای تک‌کشتی بود. همچنین در تحقیقی دیگر کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2009) نشان دادند که بهبود نور جذب‌شده توسط کانوپی کشت مخلوط ذرت و لوبیا، بهبود ماده خشک تولید شده را در مقایسه با شرایط تک‌کشتی این گیاهان ایجاد کرد.

نتایج این بررسی همچنین نشان داد که در بین الگوهای مختلف کشت‌های مخلوط، بالاترین شاخص سطح برگ به کشت دو ردیف ذرت همراه با یک ردیف سیب‌زمینی مربوط بود (۴/۱۲). کمترین شاخص سطح برگ نیز از تیمار یک ردیف ذرت همراه با دو ردیف سیب‌زمینی به‌دست آمد (۳/۴) (شکل ۱). افزایش شاخص سطح برگ در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به حالت تک‌کشتی می‌تواند به علت توزیع مطلوب‌تر نور توسط کانوپی ذرت باشد. در مطالعات دیگر نیز شاخص سطح برگ در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص به دلیل وجود اثرات تسهیل‌کنندگی و تکمیل‌کنندگی ذرت و لوبیا در کنار هم افزایش داشته است. برای نمونه، شاخص سطح برگ کانوپی مخلوط ذرت و لوبیا نسبت به کشت خالص آن‌ها بیشتر بود. به‌گونه‌ای که شاخص سطح برگ ذرت به‌واسطه فراهمی نیتروژن از طریق تثبیت بیولوژیک لوبیا برای ذرت و شاخص سطح برگ لوبیا به دلیل توزیع مطلوب‌تر نور توسط کانوپی ذرت و استفاده لوبیا از ذرت به‌عنوان قیم افزایش یافته است (Koocheki et al., 2009). همچنین افزایش تراکم روی ردیف کشت به دلیل ایجاد کانوپی بسته‌تر، عامل افزایش شاخص سطح برگ ذرت در کشت مخلوط آن با لوبیا گزارش شده است (Rostami et al., 2011).

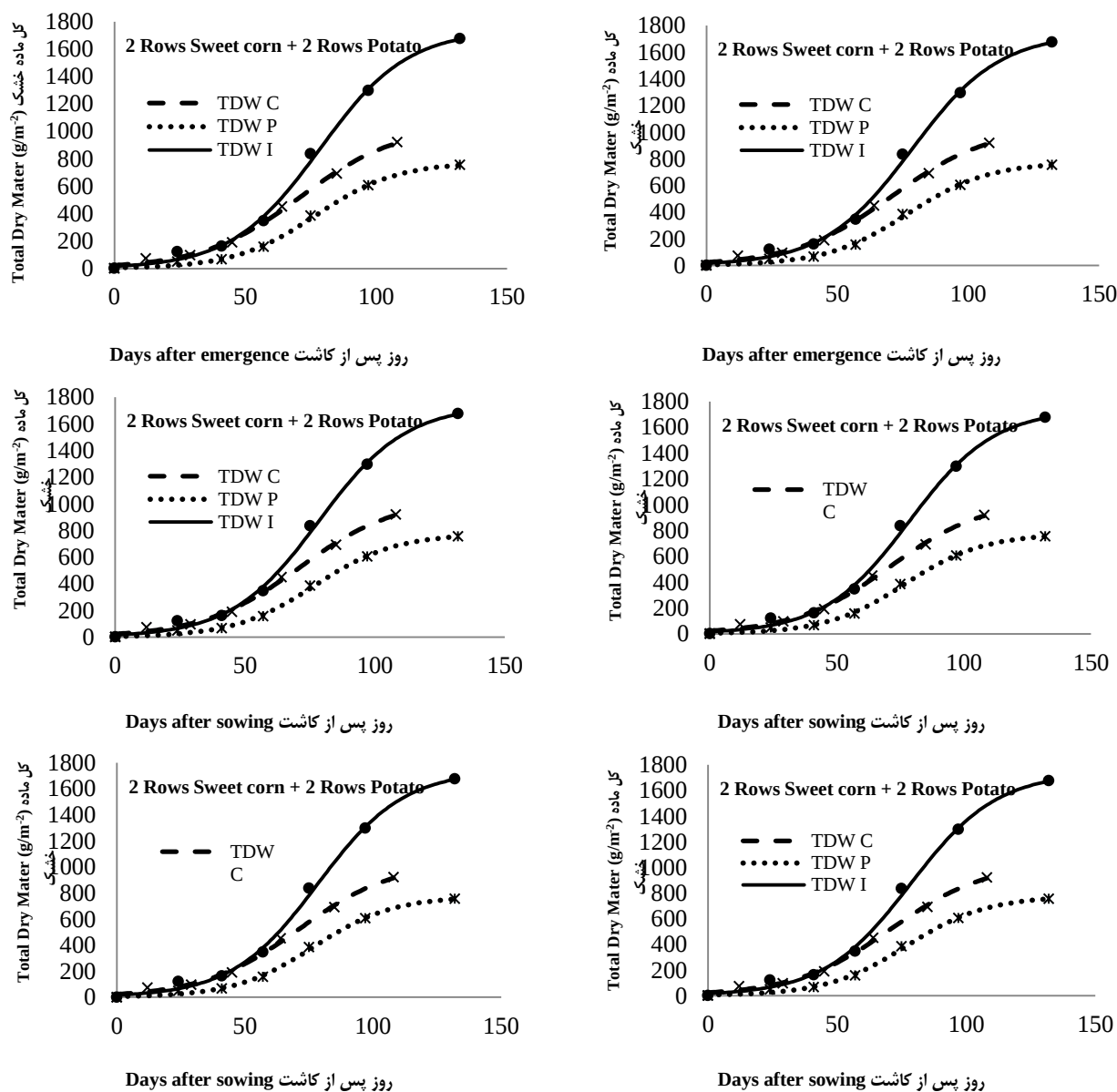
روند جذب نور

متناسب با افزایش شاخص سطح برگ میزان نور جذب‌شده توسط کانوپی ذرت، سیب‌زمینی و کشت مخلوط آن‌ها نیز به‌تدریج افزایش یافت و به حداکثر میزان خود رسید، سپس در انتهای دوره رشد روند نزولی داشت (شکل ۲). افزایش جذب نور را می‌توان به افزایش شاخص سطح برگ در کانوپی مخلوط نسبت داد (Ahmadvand, 2006). بالاترین مقدار جذب نور در کشت مخلوط دو گیاه در الگوی کشت دو ردیف ذرت شیرین همراه با یک ردیف سیب‌زمینی به‌دست آمد (شکل ۲).

تفاوت اصلی در دریافت نور با سایر منابع محیطی در این است که نور قابل ذخیره شدن نیست، بنابراین سیستمی در جذب نور موفق‌تر است که بتواند از نور رسیده به سطح کانوپی حداکثر استفاده را به عمل بیاورد. یک برگ یا کانوپی حتی در تراکم‌های مطلوب در کشت خالص نمی‌تواند به‌طور کامل از نور خورشید استفاده نماید (Keating and Carberry, 1993). بر اساس یافته‌های به‌دست‌آمده از این آزمایش، جذب نور در کانوپی کشت‌های مخلوط ذرت شیرین و سیب‌زمینی نسبت به کشت خالص آن‌ها بیشتر بود که می‌تواند به دلیل تغییر ساختار کانوپی آن‌ها در مجاورت یکدیگر باشد. حضور



شکل ۲- میزان جذب تشعشع توسط کانوپی در کشت‌های خالص و مخلوط ذرت شیرین و سیب‌زمینی
Figure 2- Radiation absorbed by canopy in sweet corn and potato sole/intercropping



شکل ۳- تغییرات تجمع ماده خشک در کشت‌های خالص و مخلوط ذرت شیرین و سیب‌زمینی. TDW I، TDW P، TDW C به ترتیب ماده خشک ذرت شیرین، سیب‌زمینی و مخلوط را نشان می‌دهد.

Figure 3- Trend of sweet corn and potato dry mater accumulation in sole/intercropping. (TDW C, TDW P, TDW I, show dry mater of sweet corn, potato and intercropping respectively)

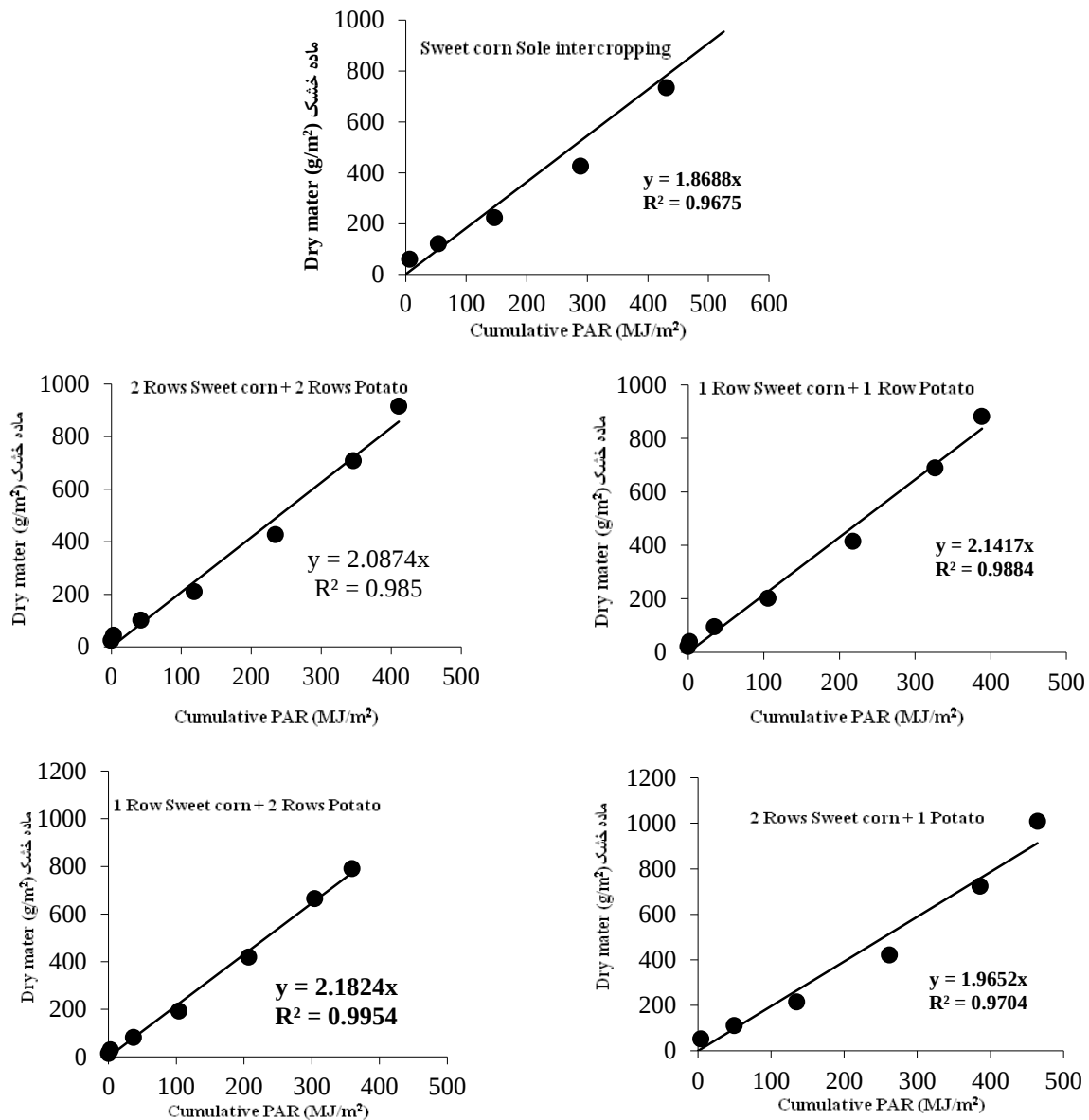
مخلوط برابر با ۲/۱۸ گرم بر مگاژول، به تیمار یک ردیف ذرت شیرین و دو ردیف سیب‌زمینی مربوط بود و کمترین آن از کشت دو ردیف ذرت شیرین و یک ردیف سیب‌زمینی برابر با ۱/۹۶ گرم بر مگاژول به‌دست آمد (شکل ۴). به‌طور کلی با افزایش تعداد ردیف‌های ذرت شیرین و نزدیک‌تر شدن آن به کشت خالص، از میزان کارایی مصرف نور نیز کاسته شد. در مخلوط ذرت با گیاهانی که ارتفاع کمتری دارند ساختار هندسی کانوپی ذرت و میزان جذب نور آن تحت تأثیر گیاه همراه قرار نمی‌گیرد، زیرا ذرت گیاه غالب است و بخش عمده جذب

کارایی مصرف نور ذرت شیرین

در تمامی الگوهای کشت مخلوط و کشت خالص، مقدار ماده خشک ذرت شیرین با ضریب تبیین بیشتر از ۰/۹ ارتباط خطی با میزان نور جذب‌شده داشت (شکل ۴). همچنین شیب روابط خطی به‌عنوان میزان کارایی مصرف نور ذرت شیرین، در کشت‌های مخلوط با سیب‌زمینی بالاتر از کشت‌های خالص آن بود (شکل ۴). این موضوع ممکن است به دلیل توزیع بهتر نور در کانوپی مخلوط باشد. بیش‌ترین کارایی مصرف نور ذرت شیرین در بین الگوهای مختلف کشت

ذرت، افزایش کارایی مصرف نور را در پی دارد (Beheshti *et al.*, 2002).

نور خود را از لایه‌های بالاتر گیاه همراه جذب می‌کند (Awal *et al.*, 2006; Tsubo *et al.*, 2005). همچنین توزیع بهتر نور در کانوپی



شکل ۴- ارتباط بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی و تجمع ماده خشک ذرت در کشت خالص و مخلوط با سیب‌زمینی

Figure 4- The relationship between cumulative absorbed PAR and sweet corn dry matter in sole crop and intercropped with potato

بیشتر شدن کارایی مصرف نور سیب‌زمینی با افزایش تعداد ردیف در کشت مخلوط ممکن است به دلیل افزایش توان رقابتی سیب‌زمینی با ذرت شیرین باشد. بالاترین کارایی مصرف نور از کشت یک ردیف ذرت شیرین و دو ردیف سیب‌زمینی برابر با ۱/۸۶ گرم بر مگاژول به‌دست آمد (شکل ۵). میزان کارایی مصرف سیب‌زمینی بین ۱/۲۷ گرم بر مگاژول (در کشت مخلوط یک‌درمیان با ذرت) و ۱/۴۷ گرم بر مگاژول (در کشت خالص) گزارش شده است (Hosseinpanahi *et al.*, 2010).

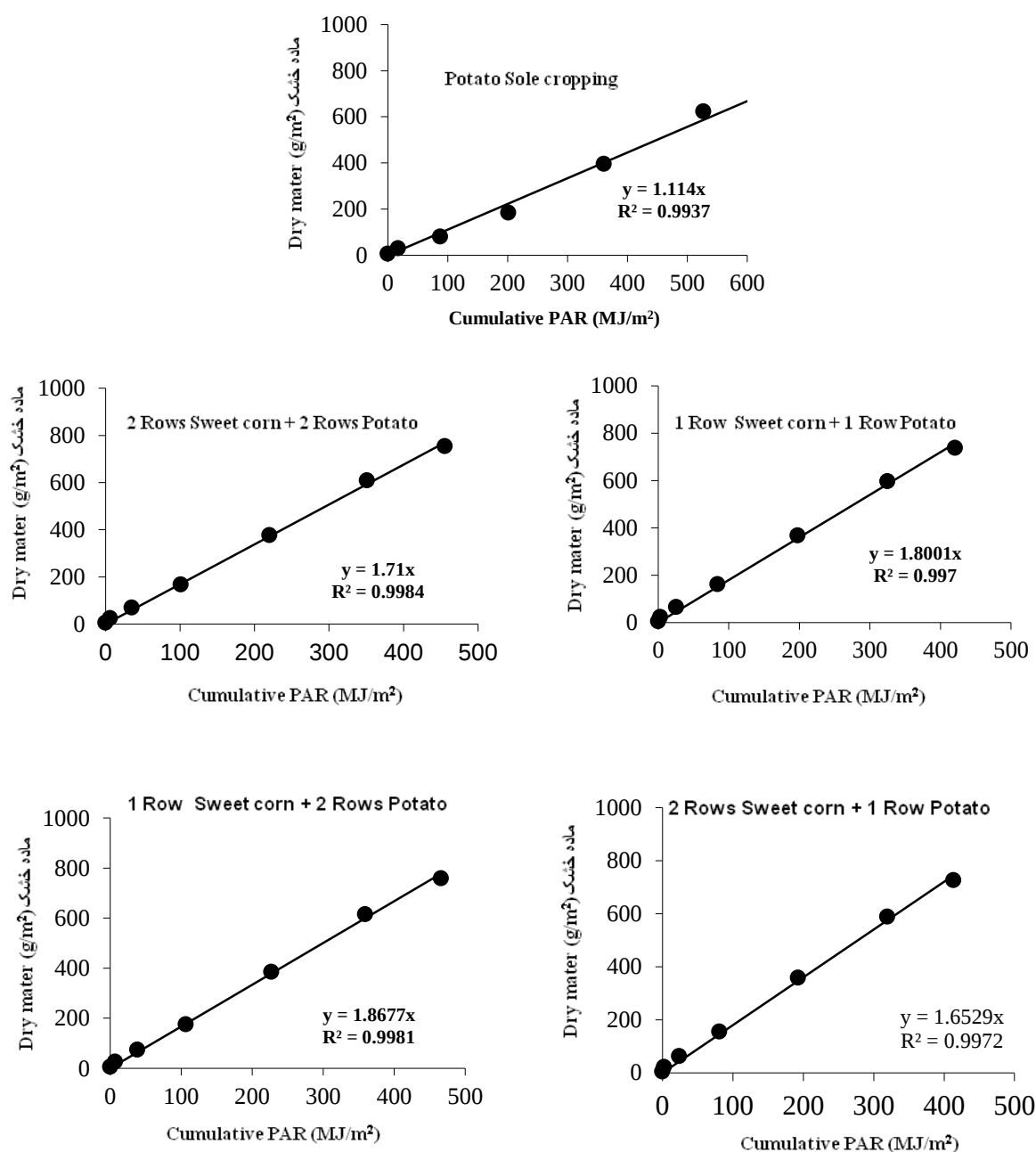
کارایی مصرف نور سیب‌زمینی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده همانند ذرت شیرین، مقدار ماده خشک سیب‌زمینی ارتباط خطی با میزان نور جذب‌شده داشت و تمامی الگوها ضریب تبیین بیشتر از ۰/۹ داشتند (شکل ۵). همچنین میزان کارایی مصرف نور سیب‌زمینی، در کشت‌های مخلوط بیشتر از کشت خالص آن بود (شکل ۵). برخلاف ذرت شیرین، افزایش تعداد ردیف‌های سیب‌زمینی کارایی بیشتری را در مصرف نور در پی داشت.

می توان به استفاده بهتر دو گیاه از نور و اختلافات مورفولوژیک و فیزیولوژیک بین آن ها نسبت داد. بررسی نسبت های برابری جزئی نشان داد که ذرت شیرین رقیب قوی تری نسبت به سیب زمینی بوده است و سیب زمینی تأثیر بیشتری از مخلوط پذیرفته است. بیشترین عملکرد قابل کنسرو ذرت شیرین (۳۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سیب زمینی (۹۴۶۰ کیلوگرم در هکتار) نیز به ترتیب از الگوهای ۲:۱ و ۲:۲ به دست آمد (جدول ۲).

نسبت برابری زمین در کشت مخلوط ذرت شیرین و سیب زمینی

بر اساس نتایج به دست آمده میزان نسبت برابری زمین در تمامی الگوهای کشت مخلوط بالاتر از ۱ بود. در همین رابطه کشت دو ردیف ذرت شیرین همراه با دو ردیف سیب زمینی بالاترین نسبت برابری زمین را به دست داد (جدول ۲). میزان عملکرد اضافه به دست آمده (عملکرد قابل کنسرو ذرت شیرین و غده سیب زمینی) را



شکل ۵- ارتباط بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی و تجمع ماده خشک سیب زمینی در کشت خالص و مخلوط با ذرت شیرین
Figure 5- The relationship between cumulative absorbed PAR and potato dry matter in sole crop and intercropped with sweet corn

جدول ۲- نسبت برابری زمین و عملکرد ذرت شیرین و سیبزمینی در کشت‌های مخلوط و خالص
 Table 2- Land equivalent ratio (LER) and yield of sweet corn and potato in sole and intercropping

الگوی کاشت Cultivation pattern	عملکرد Yield (kg.ha ⁻¹)		نسبت برابری جزئی زمین Partial LER		نسبت برابری زمین LER
	ذرت شیرین Sweet corn	سیبزمینی Potato	ذرت شیرین Sweet corn	سیبزمینی Potato	
کشت خالص ذرت شیرین/سیبزمینی Sweet corn/Potato Sole cropping	3600	17130.55	-	-	-
یک ردیف ذرت شیرین + یک ردیف سیبزمینی 1 Row Sweet corn + 1 Row Potato	2600	7960.52	0.72	0.46	1.18
دو ردیف ذرت شیرین + دو ردیف سیبزمینی 2 Rows Sweet corn + 2 Rows Potato	3100	9460.33	0.86	0.55	1.41
دو ردیف ذرت شیرین + یک ردیف سیبزمینی 2 Rows Sweet corn + 1 Row Potato	3300	4940.81	0.91	0.29	1.19
یک ردیف ذرت شیرین + دو ردیف سیبزمینی 1 Row Sweet corn + 2 Rows Potato	2200	12590.99	0.61	0.73	1.34

نتیجه‌گیری

هرچند برای پیشنهاد بهترین الگوی کشت مخلوط این دو گیاه، باید میزان و کارایی مصرف آب نیز مورد بررسی قرار گیرد. از آنجایی که بررسی نسبت‌های جزئی برابری زمین، نشان داد که ذرت شیرین رقیب قوی‌تری نسبت به سیبزمینی است، می‌توان با کاشت زودتر سیبزمینی و افزایش توان رقابتی آن در برابر ذرت، عملکرد بهتری از کشت مخلوط این دو گیاه به‌دست آورد همچنین می‌توان مقایسه سایر ارقام ذرت شیرین و سیبزمینی از نظر دوره رسیدگی و یا بررسی تراکم‌های متفاوت برای دو گیاه را پیشنهاد نمود.

به‌طور کلی بر پایه یافته‌های به‌دست‌آمده از این آزمایش، می‌توان اظهار داشت که کشت مخلوط ذرت شیرین و سیبزمینی به بهبود شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک، میزان جذب نور و کارایی مصرف نور ذرت شیرین و سیبزمینی منجر شده است. علاوه بر این مقادیر به‌دست‌آمده از شاخص نسبت برابری زمین نیز نشانگر مناسب بودن کشت مخلوط این دو گیاه است. در این ارتباط از دید اقتصادی، کشت دو ردیف سیبزمینی همراه با دو ردیف ذرت توصیه می‌شود.

References

- Ahmadvand, A., Nassiri- Mahalati, M., and Koocheki, A. 2006. Effect of light competition and nitrogen fertilizer on canopy structure of wheat and wild oat. Journal of Agricultural Science and Natural Resource 12: 100-112. (in Persian with English abstract).
- Anil, L., Park, J., Phipps, R., and Miller, F. 1998. Temperate intercropping of cereals for forage: a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. Grass and Forage Science 53: 301-317.
- Awal, M., Koshi, H., and Ikeda, T. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Agricultural and forest meteorology 139: 74-83.
- Beheshti, A., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2002. The effect of planting pattern on light interception and radiation use efficiency in canopy of three maize cultivars. Seed and Plant Improvement Journal 18: 417-431. (in Persian with English abstract).
- Dabbagh Mohammadi Nassab, A., Amini, R., and Tamar, E. 2015. Evaluation of maize and three cultivars of common bean intercropping with application of biofertilizers and chemical fertilizers. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 25: 99-113. (in Persian with English abstract).
- Goudriaan, J., and Van Laar, H. 2012. Modeling potential crop growth processes: textbook with exercises. Springer Science and Business Media.
- Hauggaard-Nielsen, H., Andersen, M. K., Joernsgaard, B., and Jensen, E. S. 2006. Density and relative frequency effects on competitive interactions and resource use in pea-barley intercrops. Field Crops Research 95: 256-267.
- Hosseiniapanahi, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2010. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in potato/corn intercropping. Journal of Agroecology 2: 50-60. (in Persian with English abstract).
- Karimian, K., Ghorbani, R., Koocheki, A. R., and Asadi, Gh. A. 2015. Investigating of radiation absorption and use efficiency in intercropping of wheat and canola. International Journal of Life Sciences 9: 61-71.
- Keating, B., and Carberry, P. 1993. Resource capture and use in intercropping: solar radiation. Field Crops Research 34: 273-301.

11. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mondani, F., Feyzi, H., and Amirmoradi, S. 2009. Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercropping canopy. *Journal of Agroecology* 1: 13-23. (in Persian with English abstract).
12. Mansoori, H., Mansoori, L., Jamshidi, K., Rastgoo, M., and Moradi, R. 2013. Radiation absorption and use efficiency in additive intercropping of maize and bean in Zanjan region. *Journal of Crop Production and Processing* 3: 15-27. (in Persian with English abstract).
13. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Mondani, F., Amirmoradi, S., and Fayzi, H. 2015. Evaluation of physiological indices of growth in corn (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) *Iranian Journal of Field Crops Research* 13: 14-23. (in Persian with English abstract).
14. Raei, Y., Bolandnazar, S., and Dameghsi, N. 2011. Evaluation of common bean and potato densities effects on potato tuber yield in mono-cropping and intercropping systems. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 21: 131-142.
15. Rezig, M., Sahli, A., Hachicha, M., Jeddi, F. B., and Harbaoui, Y. 2013. Potato (*Solanum tuberosum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in sole intercropping: effects on light interception and radiation use efficiency. *Journal of Agricultural Science* 5: 65.
16. Rodrigo, V., Stirling, C., Teklehaimanot, Z., and Nugawela, A. 2001. Intercropping with banana to improve fractional interception and radiation-use efficiency of immature rubber plantations. *Field Crops Research* 69: 237-249.
17. Rostami, L., Koocheki, A., and Nassiri Mahalati, M. 2011. The effect of different crop plant densities on radiation absorption and use efficiency by corn (*Zea mays*) and bean (*Phaseolous vulgaris* L.) intercropped canopy. *Journal of Agroecology* 3: 290-297. (in Persian with English abstract).
18. Tsubo, M., Walker, S., and Ogindo, H. 2005. A simulation model of cereal-legume intercropping systems for semi-arid regions: I. Model development. *Field Crops Research* 93: 10-22.
19. Wall, G., Pringle, E., and Sheard, R. 1991. Intercropping red clover with silage corn for soil erosion control. *Canadian Journal of Soil Science* 71: 137-145.
20. Wang, Q., Sun, D., Hao, H., Zhao, X., Hao, W., and Liu, Q. 2015. Photosynthetically active radiation determining yields for an intercrop of maize with cabbage. *European Journal of Agronomy* 69: 32-40.
21. Willey, R. 1990. Resource use in intercropping systems. *Agricultural Water Management* 17: 215-231.



Evaluation of Radiation Absorption and Use Efficiency in intercropped Sweet corn (*Zea mays* Var. *saccharata*) with Potato (*Solanum tuberosum*)

H. Homafar¹, M. Khoramivafa^{2*}, F. Mondani², H. Zolnuri³

Received: 09-12-2017

Accepted: 03-11-2018

Introduction

Intercropping is one of the suitable management methods in crops production that improves absorption and use efficiency of resources by plants. Higher production in intercropping systems compared to sole cropping systems is attributed to morphological differences and different needs of the plants to utilize of environmental resources such as light, water and nutrients. There are the adequate logical and reasonable grounds to intercropping of potato and sweet corn because of their economic importance and physiological and morphological differences. Furthermore, harvesting of these crops had not any disorder. While, access to information such as resources use efficiency is need to find the best intercropping combination. Then the objective of this study was evaluation of radiation absorption and use efficiency (RUE) of sweet corn (*Zea mays* Var. *saccharata*) intercropped with potato (*Solanum tuberosum*) under Kermanshah climate condition.

Materials and Methods

The experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications in the research farm of campus of agriculture and natural resources, Razi University, Kermanshah, Iran during the growing season of 2013. Treatments were included the intercropping of sweet corn (Chase) and potato (Agria) with 1:1, 2:2, 2:1, 1:2 ratios (that shows the sweet corn and potato rows, respectively) along with sole cropping of sweet corn and potatoes. Planting intra rows spacing were 13 and 25 cm for sweet corn and potato respectively. Planting inter rows were 75 cm with 7 m long for both crops. The destruction sampling was done at two weeks after emergence. In every stage, three plants were selected from each plot randomly. Absorbed radiation was calculated by simulated entrance radiation and absorbed radiation percent multiply; and cumulative total absorbed radiation was obtained by simulated entrance radiation $\times$ integral of absorbed daily radiation to time ratio. Ultimately, RUE of sweet corn and potato was evaluated as g MJ^{-1} by linear regression slope between total accumulative dry mater (g m^{-2}) and accumulative daily radiation (MJ m^{-2}) for each plot individually.

Results and Discussion

Results showed that leaf area index (LAI) was higher in all intercropping treatments than sole cropping. Among intercropping patterns, the highest and lowest LAI were observed in 2 rows sweet corn + 1 row potato (4.12) and 1 row sweet corn + 2 rows potato (3.4), respectively. Also dry mater accumulation trend was affected by intercropping patterns and radiation absorption increased by sweet corn and potato canopy appropriate to LAI rising. RUE of sweet corn and potato in intercropping was higher than of sole cropping. Among different intercropping patterns, the highest amount of sweet corn RUE were 2.18 and 1.86 g MJ^{-1} , respectively that obtained in intercropping of 1 row sweet corn + 2 rows potato. The highest sweet corn shelled kernel for conserving (3300 kg ha^{-1}) and potato yield (9460 kg ha^{-1}) were obtained in 2 row sweet corn + 1 rows potato and 2 row sweet corn + 2 rows potato, respectively. On the contrary, increasing the number of potato rows resulted in higher RUE. Results also showed that land equivalent ratios were bigger than 1 in all intercropping patterns. Pattern of 2 rows sweet corn + 1 row potato, was recommended with the highest LER (1.41) economically. The additional obtained yield can attribute to better radiation use because of the morphological and physiological differences between sweet corn and potato. There was no considerable dissimilarity in dry matter accumulation trend between intercropping of sweet corn with potato and their sole cropping because of little plants in early growth season. However, the dry mater trend continued as linear stage at 30 days after sowing date as the differences were appeared between intercropping and sole cropping plots.

Conclusions

Compared to sole cropping, results of present study showed that the intercropping of sweet corn and potato resulted in LAI improvement, dry matter rising, more efficiency in radiation absorption and increasing of

1- Former Student of Agroecology, Razi University

2- Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Razi University

3- Retired trainer of Agricultural and Natural Resources Research Center of Kermanshah Province

(* - Corresponding Author Email: Khoramivafa@razi.ac.ir)

radiation use efficiency. Also this intercropping is recommended economically based on obtained LERs. Therefore, this study suggests the intercropping of 2 rows sweet corn + 2 rows potato economically. However, the water consumption and water use efficiency must be investigated to choose the best intercropping pattern.

Keywords: Cultivation pattern, Productivity, Resources use efficiency



بررسی تأثیر سطوح آبیاری، نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد ماده خشک و برخی صفات فیزیولوژیک ارزن پادزهری (*Panicum antidotale* Retz.)

زین العابدین جویبان^۱، محمد کافی^{۲*}، احمد نظامی^۲، سید غلامرضا موسوی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۷

چکیده

استفاده بهینه از منابع آب موجود، به همراه بهبود کارایی عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی، ضمن کمک به تحقق اهداف کشاورزی پایدار، سبب افزایش و یا ثبات عملکرد گیاهان زراعی نیز می‌شود. این مطالعه با هدف بررسی اثرات تنش خشکی و عناصر نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک گیاه ارزن پادزهری (*Panicum antidotale* Retz.) در شرایط آب و هوایی بیرجند در خراسان جنوبی انجام شد. آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی بیرجند انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل آبیاری بر اساس تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر در سه سطح (۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر)، نیتروژن بر اساس آزمون خاک در سه سطح صفر، مصرف به میزان نصف مقدار قابل توصیه آزمون خاک (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و مصرف بر اساس مقدار قابل توصیه آزمون خاک (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و پتاسیم در دو سطح (صفر و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. نتایج نشان داد که با افزایش تبخیر تجمعی رطوبت از تشتک تبخیر و یا کاهش آب مصرفی، کارایی مصرف تشعشع کاهش و کارایی مصرف آب افزایش یافت. همچنین با افزایش نیتروژن مصرفی، کارایی مصرف نیتروژن کاهش یافت. در صفت عملکرد ماده خشک در مجموع چین‌ها، اثر متقابل سه‌گانه رژیم آبیاری و کودهای نیتروژن و پتاسیم معنی‌دار بود و کاربرد این عناصر در زمان افزایش شدت تنش، صفت فوق را بهبود داد. در مجموع به نظر می‌رسد که کاربرد عناصر نیتروژن و پتاسیم در شرایط تنش خشکی، می‌تواند در کاهش اثرات مخرب تنش و افزایش تحمل ارزن پادزهری به خشکی موثر باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، کارایی مصرف آب، عناصر غذایی

مقدمه

(۱۹۹۳) از جایگاه قابل توجهی برخوردار است. از این رو، می‌توان به‌جای کشت گیاهانی چون یونجه (*Medicago sativa* L.) و چغندر علوفه‌ای (*Beta vulgaris* L.) که مقدار زیادی از منابع آبی منطقه را به خود اختصاص می‌دهند، با ترویج کاشت ارزن پادزهری علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف منابع آب، علوفه قابل قبولی هم تولید نمود. به عبارت دیگر، تولید علوفه با استفاده از گونه‌های علوفه‌ای که نیاز چندانی به آب نداشته و به آب‌های با کیفیت پایین سازگار باشند، راه‌حل مناسبی برای افزایش تولیدات دامی کشور بوده و گیاهانی که بتوانند با مصرف آب کمتر، ماده خشک بیشتری تولید نمایند و کارایی مصرف آب بالاتری داشته باشند، از این نظر حائز اهمیت هستند (Eshghizadeh et al., 2012). ثقه‌الاسلامی و همکاران واکنش چهار ژنوتیپ اصلاح شده ارزن معمولی و یک ژنوتیپ از توده محلی بیرجند را در شرایط تنش خشکی بررسی و گزارش کردند که تنش خشکی در مرحله ظهور خوشه باعث بیشترین کاهش در عملکرد دانه و بازده استفاده از آب شد (Seghatoleslami et al., 2007).

عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم سه عنصر اصلی پرمصرف در تغذیه گیاه هستند. نیتروژن چهارمین عنصر اصلی تشکیل‌دهنده وزن خشک گیاهان و یکی از اجزای تشکیل‌دهنده مولکول‌های مهم زیستی از قبیل پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، برخی هورمون‌ها و

محدودیت شدید منابع آبی کشور عامل مهمی در کاهش تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. در سال‌های اخیر، در استان خراسان جنوبی به دلیل فراهم نبودن شرایط جوی مساعد، ریزش‌ها به حداقل خود کاهش یافته و این موضوع علاوه بر بروز بحران کم‌آبی، سبب تشدید مشکل شوری آب و خاک نیز شده است. بنابراین با توجه به شرایط کم آبی در منطقه خراسان جنوبی شناخت گیاهان سازگار به کم‌آبی و به‌کارگیری روش‌های لازم برای مصرف بهینه آب آبیاری بسیار ضروری و حائز اهمیت می‌باشد. ارزن پادزهری (*Panicum antidotale* Retz.) گیاهی بومی مناطق معتدل و گرمسیری آسیا از خاورمیانه تا هند (افغانستان، ایران، یمن، هند و پاکستان) بوده (Eshghizadeh, 2012) و به دلیل تحمل به شوری و خشکی، چند ساله بودن و بهره‌گیری از مسیر فتوسنتزی C₄ (Roundy et al.,

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند

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

DOI: 10.22067/gsc.v17i3.69964

افزایش نشان داد (Dastbandannejad et al., 2010). در آزمایشی دیگر، محققان اثرات تنش آبی و کود پتاسیم را بر عملکرد ارقام ذرت علوفه‌ای مورد بررسی قرار داده و عنوان کردند که علی‌رغم اینکه ارقام مورد بررسی از نظر صفات تعداد روز تا ظهور گل‌تاجی و کاکل تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند، اما از نظر میانگین ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و تعداد کل برگ در بوته، تفاوت غیرمعنی‌داری را از خود نشان دادند. آنها بیان نمودند که کاربرد پتاسیم تأثیرات مثبت و معنی‌داری بر روی میزان تولید محصول داشت، اما اثرات متقابل سطوح مختلف کود پتاسیم و سایر تیمارها از نظر صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (Mohammadian et al., 2004). با توجه به آنچه گفته شد، هدف از این تحقیق، مطالعه اثرات سطوح نیتروژن و پتاسیم بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد ماده خشک گیاه ارزن پادزهری در پاسخ به تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در طی سال‌های زراعی ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند واقع در کیلومتر چهار جاده بیرجند - زاهدان با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی و ۱۴۸۰ متر ارتفاع از سطح دریا انجام شد. میانگین ۱۵ ساله بارندگی در این منطقه ۱۷۶ میلی‌متر بوده و حداقل و حداکثر مطلق و میانگین درجه حرارت به‌ترتیب ۴/۶، ۳۹/۱ و ۲۷/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین میانگین حداقل و حداکثر رطوبت نسبی به‌ترتیب ۲۲/۵ و ۵۹/۶ درصد است. شهرستان بیرجند در شرق ایران قرار گرفته و بخش عمده آن، به دلیل مجاورت با دشت لوت، دارای اقلیم بیابانی گرم و خشک است. مشخصات خاک محل آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. بافت خاک محل آزمایش از نوع لومی بود.

کلروفیل است (Taiz and Zeiger, 2006; Hopkins, 2004). پتاسیم نیز عملکرد و کیفیت محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این عنصر در فعال‌سازی آنزیم‌ها، ایجاد تعادل اسمزی برای حفظ تورژسانس و تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها موثر است (Kelik et al., 2010). با توجه به اهمیت نیتروژن بر رشد و فتوسنتز به‌ویژه در گیاهان علوفه‌ای از یک سو و نقش پتاسیم در بهبود رشد، افزایش مقاومت به شرایط آب و هوایی نامطلوب از جمله تنش کم‌آبی، استحکام ساقه و مقاومت گیاه در برابر بیماری‌ها از سوی دیگر، مطالعه و تعیین مناسب‌ترین میزان مصرف این عناصر ضروری به نظر می‌رسد. اونیل و همکاران، طی بررسی تأثیر دو سطح نیتروژن شامل مقادیر صفر و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط بدون تنش و تنش کم‌آبی در ذرت اظهار داشتند که سطوح نیتروژن و آبیاری اثر معنی‌داری بر عملکرد ماده خشک ذرت (*Zea mays* L.) و راندمان مصرف نیتروژن داشته است اما اثر متقابل نیتروژن و آبیاری بر این صفات معنی‌دار نبوده است (O'Neill et al., 2004). کاهش کارایی استفاده از کود نیتروژن با افزایش مقدار مصرف آن (قانون بازده نزولی) توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Sadeghipour et al., 2004; Marvi, 2009; Zebbarth et al., 2004). بر اساس نتایج آزمایشی که در آن به بررسی اثر مقادیر نیتروژن و آبیاری بر راندمان مصرف آب ذرت پرداخته شد، اثر نیتروژن، آبیاری و اثر متقابل آبیاری و نیتروژن بر راندمان مصرف آب معنی‌دار بود. بدین ترتیب که افزایش مصرف نیتروژن در دو سال آزمایش باعث افزایش راندمان مصرف آب گردید، اما بین تیمار کودی ۲۵۰ و ۳۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (Al-Kaisi and Yin, 2003). در تحقیقی دیگر، پژوهشگران نشان دادند که مصرف سولفات پتاسیم در شرایط رطوبتی مطلوب و تنش خشکی در گیاه ذرت، عملکرد بیولوژیک را نسبت به تیمارهای مشابه ولی بدون مصرف پتاسیم،

جدول ۱- مشخصات خاک محل آزمایش
Table 1- Traits of soil of experiment location

سال Year	فسفر قابل جذب Absorbable P (ppm)	پتاسیم قابل جذب Absorbable K (ppm)	گچ Gypsum (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	آهک Lime (%)	نیتروژن کل Total N (%)	کربن آلی OC (%)	هدایت- الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	pH
2013	15.41	266	0.001	44	36	20	10.5	0.041	0.17	7.23	7.79
2014	15.64	257	0.004	42	38	20	8.5	0.056	0.26	7.45	7.89

کیلوگرم در هکتار) و مصرف بر اساس مقدار قابل توصیه بر اساس آزمون خاک (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و مقدار پتاسیم در دو سطح (صفر و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. در این تحقیق سطوح آبیاری به‌عنوان کرت اصلی و مقادیر نیتروژن و پتاسیم فاکتوریل شده و به‌عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند. کود پتاسیم به‌صورت

آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عوامل مورد آزمایش شامل آبیاری بر اساس تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر در سه سطح (۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر)، نیتروژن بر اساس آزمون خاک در سه سطح صفر، مصرف به میزان نصف مقدار قابل توصیه بر اساس آزمون خاک (۱۰۰

نیتروژن در پایان فصل رشد اندازه‌گیری شدند. عملکرد ماده خشک نیز در هر چین برداشت اندازه‌گیری گردید. بدین ترتیب که با رعایت اثرات حاشیه‌ای، برداشت صورت گرفت و گیاهان جهت تعیین عملکرد ماده خشک به آزمایشگاه انتقال داده شدند.

جهت تعیین میزان RUE ابتدا میزان تشعشع جذب شده توسط گیاه به روش مستقیم اندازه‌گیری گردید (Koocheki et al., 2009; Vafa bakhsh et al., 2008). برای این منظور، به صورت هفتگی، میزان نور بالا و پایین سایه‌انداز توسط دستگاه Sun scan در چهار نقطه از هر کرت و در فواصل ساعات ۱۱ تا ۱۴ اندازه‌گیری شد. بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده شاخص سطح برگ و میزان نور اندازه‌گیری شده در بالا و پایین سایه‌انداز و با استفاده از معادله بیر-لامبرت (رابطه ۲)، مقدار ضریب خاموشی (k) تعیین شد.

$$\ln \frac{I_t}{I_0} = -k \times LAI \quad (2)$$

در این رابطه، I_0 : میزان نور در بالای سایه‌انداز ($MJ M^{-2} s^{-1}$)، I_t : میزان نور در زیر سایه‌انداز ($MJ M^{-2} s^{-1}$)، k : ضریب خاموشی نور و LAI : شاخص سطح برگ هستند.

میزان تشعشع ورودی روزانه با احتساب ساعات آفتابی روزانه و استفاده از اطلاعات هواشناسی محاسبه و به کمک معادله سهو به روش گوآدریان و وان لار (Goudriaan and Van Laar, 1993) تصحیح شد.

$$\frac{I}{I_0} = A + B \left(\frac{n}{N} \right) \quad (3)$$

در این معادله، I : میزان تابش روزانه شبیه‌سازی شده، I_0 : میزان تابش روزانه بالای سایه‌انداز با توجه به ساعات آفتابی، n : تعداد ساعات آفتابی در روز، N : طول روز و A و B : ضرایب آنگستروم بوده که به ترتیب ۰/۳۷۳ و ۰/۳۵۱ هستند (Moeini et al., 2010).

سپس شاخص سطح برگ روزانه (LAI_t) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد و در ادامه، به کمک آن و تابش ورودی روزانه (I_0)، میزان تشعشع روزانه جذب شده (I_{abs}) از طریق رابطه ۵ محاسبه گردید. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری سطح برگ و ماده خشک بوته به صورت هر دو هفته یک بار، با برداشت سه بوته از هر کرت و به ترتیب با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل Li-1300) و آون (قرار دادن گیاهان در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت) انجام شد.

$$y = a + b \times 4 \times (\exp(-(x-c)/d)) / (1 + \exp(-(x-c)/d))^2 \quad (4)$$

$$I_{abs} = I_0 (1 - e^{(-k \times LAI_t)}) \quad (5)$$

مقدار تابش جذب شده روزانه تجمعی با استفاده از اعداد تجمعی I_{abs} تا رسیدگی نهایی محاسبه شد. کارایی مصرف تشعشع (بر حسب گرم بر مگاژول) به عنوان شیب رگرسیون خطی بین ماده خشک تجمعی (بر حسب گرم بر متر مربع) و میزان نور جذب شده تجمعی (بر حسب مگاژول بر متر مربع) به دست آمد.

سولفات پتاسیم و هم‌زمان با اولین آبیاری در سال دوم اعمال گردید. مقادیر کود نیتروژن نیز به صورت کود اوره در سال دوم و در سه نوبت به صورت ۱/۳ در مرحله شش برگی گیاه در چین اول، ۱/۳ در اولین آبیاری پس از برداشت چین اول و مابقی (۱/۳) در اولین آبیاری پس از برداشت چین دوم به صورت سرک اعمال شدند.

طول هر کرت آزمایشی پنج متر، تعداد خطوط کاشت چهار خط، فواصل خطوط کاشت ۵۰ سانتی‌متر (ابعاد کرت ۲×۵ متر مربع) و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۶ سانتی‌متر بود. همچنین فاصله بین کرت‌های اصلی و فرعی، به ترتیب ۱/۵ و یک متر در نظر گرفته شد. زمین مورد آزمایش طی دو سال قبل آیش بود. جهت آماده‌سازی بستر کاشت در اوایل بهار شخم نسبتاً عمیق (۳۰ سانتی‌متر) صورت گرفت و پس از انجام عملیات دیسک، نسبت به تسطیح زمین با لولر اقدام شد و در نهایت جوی و پشته‌ها با استفاده از فاروئر ایجاد و انتهای کرت‌های آزمایشی بسته شدند. بذره‌های گیاه ارزن پادزهری از منطقه رودشت اصفهان جمع‌آوری و پس از ضدعفونی با قارچ‌کش بنومیل، در اول مردادماه ۱۳۹۲ در کرت‌های آزمایشی در عمق تقریبی ۱-۰/۵ سانتی‌متری کشت شدند و آبیاری مزرعه تا استقرار گیاه با فاصله زمانی کوتاه (سه تا پنج روز) و پس از آن هر هشت تا ۱۰ روز (با توجه به شرایط آب و هوایی) انجام شد. در طی دوره رشد گیاه، وجین علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. با توجه به اینکه ارزن پادزهری گیاهی چند ساله بوده و در سال اول بیشتر مواد فتوسنتزی، صرف استقرار گیاه می‌شوند، لذا اعمال تیمارهای آزمایشی و نمونه‌برداری صفات، در سال دوم آزمایش انجام شد. در سال دوم، اولین آبیاری در تاریخ ۹۳/۱/۶ صورت پذیرفت و در ادامه فصل رشد، سطوح رژیم آبیاری (۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی) براساس تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر از مرحله شش برگی تا انتهای فصل رشد اعمال شدند. جهت به‌دست آوردن ارتفاع آب آبیاری (برای تعیین حجم آب مصرفی) از رابطه ۱ مورد استفاده قرار گرفت (Ansari et al., 2011):

$$d = \rho_b \cdot w \cdot D / 100 \quad (1)$$

در این رابطه، d : ارتفاع آب آبیاری، ρ_b : وزن مخصوص ظاهری خاک، w : میزان تغییر رطوبت و D : عمق ریشه (۴۰ سانتی‌متر) می‌باشد.

مقدار آب مصرفی برای هر کرت نیز با استفاده از کنتور که در ابتدای هر کرت قرار داده شده بود کنترل شد. همچنین در سال دوم، سه چین محصول به صورت دستی به ترتیب در تاریخ‌های ۹۳/۳/۲، ۹۳/۵/۱ و ۹۳/۷/۱۵ برداشت شد.

صفت کارایی مصرف تشعشع (RUE^1) در طول فصل رشد و صفات کارایی مصرف آب، کارایی مصرف نیتروژن و کارایی زراعی

جهت تعیین کارایی استفاده و کارایی زراعی کود نیتروژن برای عملکرد علوفه از روابط ۶ و ۷ (Rathke et al., 2006) و به منظور تعیین کارایی مصرف آب (WUE^1) از رابطه ۸ (برحسب کیلوگرم بر متر مکعب) استفاده گردید (Panahi, 2016):

$$(۶) \quad \text{میزان عملکرد در واحد سطح} = \frac{\text{میزان کود مصرفی در واحد سطح}}{\text{کارایی استفاده از کود}}$$

$$(۷) \quad \text{عملکرد کورت کود نخورده} - \text{عملکرد کورت کود خورده} = \text{کارایی زراعی کود}$$

$$(۸) \quad \text{میزان عملکرد در واحد سطح} = \frac{\text{میزان آب مصرفی در واحد سطح}}{\text{کارایی مصرف آب}}$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C و مقایسات میانگین از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

مقدار کل آب مصرفی برای هر یک از سطوح رژیم آبیاری در جدول ۲ آورده شده است. ملاحظه می‌شود با افزایش تبخیر تجمعی رطوبت از تشتک تبخیر، مقدار آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه ارزن پادزه‌ری کاهش یافت.

کارایی مصرف تشعشع

اثر رژیم آبیاری بر کارایی مصرف تشعشع گیاه ارزن پادزه‌ری در هر سه چین اول، دوم و سوم معنی‌دار شد (جدول ۳). با افزایش تبخیر تجمعی رطوبت از تشتک تبخیر و به دنبال آن، کاهش دفعات آبیاری، کارایی مصرف تشعشع کاهش یافت. در هر سه چین، بیشترین کارایی مصرف تشعشع در تیمار ۷۰ میلی‌متر و کمترین آن در تیمار ۲۱۰ میلی‌متر ملاحظه گردید (جدول ۴).

جدول ۲- حجم آب مصرفی در سطوح مختلف رژیم آبیاری
Table 2- Volume of irrigation water used in different water treatments

کل آب مصرفی Total irrigation water ($m^3 ha^{-1}$)	سطوح رژیم آبیاری Irrigation treatment (تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر) (cumulative evaporation from evaporation pan)
10250	70 (I_0)
5260	140 (I_1)
3400	210 (I_2)

به‌طور کلی بین تشعشع دریافت شده توسط کانوپی و رشد گیاه همبستگی نزدیکی وجود دارد و عموماً جذب نور توسط گیاه تا حد زیادی تابع اندازه کانوپی و سطح برگ گیاه بوده و با افزایش رشد گیاه

میزان تشعشع دریافتی نیز افزایش می‌یابد. از آنجایی که کارایی مصرف تشعشع به‌صورت ماده خشک تولید شده در واحد سطح به‌ازای میزان انرژی تشعشعی استفاده شده تعریف می‌شود، لذا به نظر می‌رسد که افزایش تولید ماده خشک به‌واسطه تأمین آب و مواد غذایی کافی می‌تواند سبب افزایش کارایی مصرف تشعشع گردد (Jami Al- Ahmadi et al., 2008). در این پژوهش، با وقوع تنش رطوبتی کارایی مصرف تشعشع گیاه ارزن پادزه‌ری کاهش یافت. به نظر می‌رسد که عدم فراهمی آب به میزان کافی به‌واسطه کاهش رشد گیاه، باعث کاهش سطح برگ و جثه گیاه شده و این موضوع سبب کاهش تشعشع دریافتی و به دنبال آن، کاهش کارایی مصرف تشعشع گشته است. به عبارت دیگر با کاهش فراهمی آب، گیاه ارزن پادزه‌ری تشعشع دریافتی را با کارایی کمتری به ماده خشک تبدیل می‌کند. اثر سطوح کود نیتروژن بر کارایی مصرف تشعشع گیاه ارزن پادزه‌ری در چین اول معنی‌دار شد (جدول ۳). به‌طوری که با افزایش کاربرد کود نیتروژن از صفر به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی مصرف تشعشع نیز افزایش پیدا کرد (جدول ۵).

همچنین اثر متقابل سطوح کود نیتروژن و کود پتاسیم بر کارایی مصرف تشعشع گیاه در چین اول معنی‌دار شد (جدول ۳). به‌طوری که بالاترین کارایی مصرف تشعشع در تیمار $N_{200}-K_{100}$ مشاهده شد و کمترین آن در تیمار N_0-K_0 ملاحظه گردید. لکن کارایی مصرف تشعشع در سایر تیمارها از تیمار $N_{200}-K_{100}$ کمتر و از تیمار N_0-K_0 بیشتر بود و از این نظر در یک کلاس آماری قرار داشتند (جدول ۶).

چنین تفسیر می‌گردد که تأمین عناصر غذایی نیتروژن و پتاسیم به میزان کافی برای گیاه ارزن پادزه‌ری، به‌واسطه بهبود رشد گیاه سبب افزایش جذب نور و استفاده کارآمدتر آن در تولید ماده خشک و در نهایت افزایش کارایی مصرف تشعشع شده است. در همین راستا، بهشتی (Beheshti, 2002) بیان نمود که با افزایش مصرف نیتروژن، میزان تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR^3) و کارایی مصرف تشعشع (RUE) در گیاه ذرت بهبود یافت. جامی‌الاحمدی و همکاران (Jami Al-Ahmadi et al., 2008) نیز در بررسی اثر تنش شوری بر کارایی مصرف نور گیاه هالوفیت کوشیا گزارش کردند که تحت شرایط تنش شوری ملایم (شوری ۸/۶ دسی‌زیمنس بر متر)، کارایی مصرف نور گیاه کوشیا افزایش پیدا کرد. آنها این موضوع را به ایفای نقش برخی از املاح به‌جای برخی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه (مانند یون هکتار).

3- Photosynthetic Active Radiation

1- Water Use Efficiency

سديم به‌جای یون، بتاسیم) و تاثیر مثبت آنها در بهبود رشد گیاه هالوفیت کوشا نیست دادند.

جدول ۳- تجزیه واریانس کارایی مصرف تشعشع ارزن پادزهری در چین‌های اول تا سوم

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	چین اول 1st harvested	چین دوم 2nd harvested	چین سوم 3rd harvested
تکرار Replication	2	0.005	0.256	0.041
آبیاری Irrigation (I)	2	5.83 **	5.20 **	7.13 **
خطای اول E (a)	4	0.070	0.101	0.135
نیتروژن N	2	1.03 **	0.300 ns	0.046 ns
پتاسیم K	1	0.151 ns	0.363 ns	0.065 ns
پتاسیم × نیتروژن K *N	2	0.310 *	0.140 ns	0.073 ns
نیتروژن × آبیاری I *N	4	0.079 ns	0.137 ns	0.137 ns
پتاسیم × آبیاری I * K	2	0.072 ns	0.061 ns	0.228 ns
پتاسیم × نیتروژن × آبیاری I * K *N	4	0.050 ns	0.601 ns	0.106 ns
خطای دوم E (b)	30	0.080	0.226	0.099
(%) cv	–	10.3	17.2	12.1

ns: non-significant
*: significant in 5% level
**: significant in 1% level

جدول ۴- مقایسات میانگین اثر سطوح آبیاری بر کارایی مصرف تشعشع انرژی در چین‌های اول تا سوم

Table 4- Mean comparisons of effect of irrigation levels on radiation use efficiency of blue panic grass in different cuts

سطلوح رژیم آبیاری Irrigation treatment (تبخیر تجمعی از تشنک تبخیر) (Cumulative evaporation from evaporation pan)	کارایی مصرف تشعشع radiation use efficiency (g MJ ⁻¹)		
	چین سوم 3rd cut	چین دوم 2nd cut	چین اول 1st cut
	70	3.16 a	3.24 a
140	2.72 b	2.85 b	2.70 b
210	1.92 c	2.18 c	2.19 c

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند.
Means that have at least one common letter have no significantly difference at 5%.

جدول ۵- مقایسات میانگین اثر سطوح نیتروژن بر کارایی مصرف تشعشع اوزن پادزهری در چین اول

Table 5- Mean comparisons of effect of nitrogen levels on radiation use efficiency of blue panic grass in the first cut

کود نیتروژن N fertilizer (kg ha ⁻¹)	کارایی مصرف تشعشع radiation use efficiency (g MJ ⁻¹)
0	2.49 c
100	2.75 b
200	2.97 a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند.
Means that have at least one common letter have no significantly difference at 5%.

کارایی مصرف آب

بررسی نتایج مقایسات میانگین اثر متقابل سه گانه نشان داد که

بالاترین کارایی مصرف آب در دو تیمار $I_{210}-N_{100}-K_0$ و $I_{210}-N_{200}-K_{100}$ مشاهده شد (جدول ۸).

اثرات رژیم آبیاری، کود نیتروژن و اثر متقابل آنها و نیز اثر متقابل سه گانه رژیم آبیاری، کود نیتروژن و کود پتاسیم بر کارایی مصرف آب گیاه ارزن پادزه‌ری در مجموع چین‌ها معنی‌دار شد (جدول ۷).

جدول ۶- مقایسات میانگین اثر متقابل سطوح نیتروژن و پتاسیم بر کارایی مصرف تشعشع ارزن پادزه‌ری در چین اول

Table 6- Mean comparisons of interactions of nitrogen and potassium levels on radiation use efficiency of blue panic grass in the first cut

کود نیتروژن N fertilizer (kg ha ⁻¹)	کود پتاسیم K fertilizer (kg ha ⁻¹)	کارایی مصرف تشعشع radiation use efficiency (g MJ ⁻¹)
0	0	2.36 c
	100	2.63 bc
100	0	2.85 ab
	100	2.65 b
200	0	2.85 ab
	100	3.10 a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند.
Means that have at least one common letter have no significant difference at 5%.

جدول ۷- تجزیه واریانس صفات کارایی مصرف آب، کارایی مصرف نیتروژن و کارایی زراعی نیتروژن ارزن پادزه‌ری

Table 7- Analysis of variance for water use efficiency, nitrogen use efficiency and agronomic nitrogen efficiency of blue panic grass

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	کارایی زراعی نیتروژن Agronomic nitrogen efficiency	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency	کارایی مصرف آب Water use efficiency
تکرار Replication	2	69.15	83.97	0.107
آبیاری Irrigation (I)	2	812.81 ns	11827.06 **	12.50 **
خطای اول E (a)	4	147.52	57.37	0.026
نیتروژن N	2	86.58 ns	60405.35 **	0.995 **
پتاسیم K	1	24.98 ns	38.62 ns	0.003 ns
پتاسیم × نیتروژن K * N	2	60.60 ns	67.04 ns	0.126 ns
نیتروژن × آبیاری I * N	4	341.19 *	1497.66 **	0.334 **
پتاسیم × آبیاری I * K	2	674.03 **	169.18 ns	0.020 ns
پتاسیم × نیتروژن × آبیاری I * K * N	4	432.59 **	5420.70 **	0.245 **
خطای دوم E (b)	30	71.19	68.01	0.039
(%) cv	-	68.0	6.3	6.6

ns: غیر معنی‌دار
*: معنی‌دار در سطح ۵ درصد
**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد
ns: non-significant
*: significant in 5% level
**: significant in 1% level

تیمارهای ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌متر، کاربرد کودهای نیتروژن و پتاسیم، چندان باعث افزایش کارایی مصرف آب نشد. اما در تیمار ۲۱۰

به‌طور کلی با افزایش مقدار تبخیر تجمعی از ۷۰ به ۲۱۰ میلی‌متر و کاهش میزان آبیاری، کارایی مصرف آب افزایش پیدا کرد. در

موجود، بهترین استفاده را کرده و بیشترین ماده خشک را تولید کند. به عبارت دیگر و در مورد نهاده آب، با افزایش مقدار مصرف آب، میزان تولید اضافه شده کاهش یافته و این امر در نهایت منجر به کاهش تولید به ازای هر واحد آب مصرفی می شود (Zarea and Shahbazi, 2007). در این پژوهش با کاهش آب مصرفی، مقدار ماده خشک تولیدی به ازای هر واحد آب مصرفی افزایش یافت و همین امر سبب افزایش کارایی مصرف آب گردید. هرچند که این موضوع می تواند با کاهش عملکرد همراه باشد.

میلی متر، به کارگیری کودهای نیتروژن و پتاسیم تا حدی سبب افزایش معنی دار کارایی مصرف گردید (جدول ۸). به نظر می رسد که در زمان وقوع تنش های خشکی نسبتاً شدید، کاربرد کودهای نیتروژن و پتاسیم تا حدی می تواند در افزایش کارایی مصرف آب موثر باشد. در همین راستا واعظی و همکاران (Vaezi et al., 2002) در بررسی اثر کود – آبیاری بر کارایی مصرف کود و آب و در گیاه ذرت علوفه ای بیان نمودند که با مصرف صحیح و بهینه کود می توان کارایی مصرف آب را بالا برد. عموماً در یک سیستم کشاورزی کم نهاده، کارایی استفاده از نهاده ها بالاتر است. چرا که گیاه تلاش می کند تا از حداقل نهاده

جدول ۸- مقایسات میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری، نیتروژن و پتاسیم بر کارایی مصرف آب، کارایی مصرف نیتروژن و کارایی زراعی نیتروژن گیاه ارزن پادزهری

Table 8- Mean comparisons of interactions of irrigation, nitrogen and potassium levels on water use efficiency, nitrogen use efficiency and agronomic nitrogen efficiency of blue panic grass

سطوح رژیم آبیاری Irrigation treatment (تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر) (Cumulative evaporation from evaporation pan)	کود نیتروژن N fertilizer (kg ha ⁻¹)	کود پتاسیم K fertilizer (kg ha ⁻¹)	کارایی زراعی نیتروژن Agronomic nitrogen efficiency (kg kg ⁻¹)	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency (kg kg ⁻¹)	کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg m ⁻³)
70	0	0	-	-	1.92e
		100	-	-	1.97 e
	100	0	15.71 b	213.30 a	2.08 e
		100	15.89 b	218.80 a	2.13 e
	200	0	16.93 b	115.72 de	2.25 e
140		100	0.94 bc	102.38 ef	1.99 e
	0	0	-	-	3.29 cd
		100	-	-	3.06 d
	100	0	7.84 c	165.54 b	3.14 d
		100	7.32 bc	168.36 b	3.20cd
210	200	0	0.82 bc	87.50 e	3.32 cd
		100	16.53 b	97.06 fg	3.69 b
	0	0	-	-	3.02 d
		100	-	-	3.18cd
	100	0	40.41 a	143.21 c	4.21 a
		100	12.29 b	120.48 d	3.54 bc
	200	0	13.45 b	64.85 h	3.81 b
		100	16.51 b	70.61 h	4.15 a

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند.
Means that have at least one common letter have no significantly difference at 5%.

بالاتر است. چرا که گیاه تلاش می کند تا از حداقل نهاده موجود، بهترین استفاده را بکند. در این تحقیق نیز کارایی مصرف نیتروژن در تمامی سطوح رژیم آبیاری و کود پتاسیم، در سطح کود نیتروژن ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به سطح کودی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بالاتر بود. علاوه بر این، با افزایش مقدار تبخیر تجمعی از ۷۰ به ۲۱۰ میلی متر و کاهش میزان آبیاری، کارایی مصرف نیتروژن کاهش پیدا کرد. اما کاربرد کود پتاسیم در سطوح مختلف کود نیتروژن تأثیر چندانی در نوسانات کارایی مصرف نیتروژن نداشت (جدول ۸). زکیا و

کارایی مصرف نیتروژن

اثرات رژیم آبیاری، کود نیتروژن و اثر متقابل آنها و نیز اثر متقابل سه گانه رژیم آبیاری، کود نیتروژن و کود پتاسیم بر کارایی مصرف نیتروژن گیاه ارزن پادزهری در مجموع چین ها معنی دار شد (جدول ۷). نتایج مقایسات میانگین اثر متقابل سه گانه نشان داد که بالاترین کارایی مصرف نیتروژن در دو تیمار I₇₀-N₁₀₀-K₀ و I₇₀-N₁₀₀-K₁₀₀ مشاهده شد (جدول ۸). همان طور که در بخش کارایی مصرف آب ذکر گردید، عموماً کارایی یک نهاده در زمان مصرف کمتر آن نهاده

همکاران (Zakia et al., 2010) بیان نمودند که هنگامی که آب عامل محدودکننده برای رشد گیاه نیست، مصرف مقادیر زیاده‌تر نیتروژن برای رشد گیاه سودمند خواهد بود. درحالی‌که تحت شرایط تنش رطوبتی کاربرد کود نیتروژن رشد رویشی گیاه را افزایش می‌دهد و با افزایش رشد رویشی، میزان تبخیر و تعرق نیز افزایش یافته و رطوبت موجود در خاک از این طریق تخلیه می‌شود و این امر منجر به کاهش میزان ماده خشک تولیدی به‌ازای هر واحد نیتروژن مصرفی و کاهش کارایی مصرف نیتروژن می‌گردد.

کارایی زراعی نیتروژن

اثرات متقابل رژیم آبیاری و کود نیتروژن و نیز رژیم آبیاری و کود پتاسیم و همچنین اثر متقابل سه‌گانه رژیم آبیاری، کود نیتروژن و کود پتاسیم بر کارایی زراعی نیتروژن گیاه ارزن پادزه‌ری در مجموع چین‌ها معنی‌دار شد (جدول ۷). بررسی نتایج مقایسات میانگین اثر متقابل سه‌گانه نشان داد که بالاترین کارایی زراعی نیتروژن در تیمار $I_{210}-N_{100}-K_0$ مشاهده شد. هرچند که روند چندان منطقی‌ای میان نتایج وجود نداشت. با این حال با افزایش مقدار نیتروژن از ۱۰۰ به

۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در سطوح مختلف رژیم آبیاری و کود پتاسیم، کارایی زراعی نیتروژن تا حدی یک روند کاهشی را نشان داد (جدول ۸). چنین به نظر می‌رسد که با افزایش کود مصرفی، میزان هدر رفت نیتروژن نیز افزایش یافته و همین امر سبب کاهش کارایی زراعی نیتروژن شده است. از آنجایی که کارایی زراعی نیتروژن قابلیت تولید عملکرد یک گیاه را در ارتباط با مصرف کود نیتروژن نشان می‌دهد، لذا به نظر می‌رسد که با ارزیابی این پارامتر، میزان واحد عملکرد تولیدی به‌ازای هر واحد نیتروژن مصرفی مشخص می‌گردد (Rathke et al., 2006). جلالی و بحرانی (Jalali and Bohrani, 2014) نیز در تحقیقات خود به بررسی تاثیر بقایای گیاهی و کود نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن در تولید ذرت پرداختند. این محققین نیز کاهش کارایی زراعی نیتروژن را طی افزایش مقدار کود نیتروژن از ۱۵۰ به ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند.

عملکرد ماده خشک

اثر رژیم آبیاری بر عملکرد ماده خشک گیاه ارزن پادزه‌ری در چین‌های اول و سوم معنی‌دار شد (جدول ۹).

جدول ۹- تجزیه واریانس صفت عملکرد ماده خشک ارزن پادزه‌ری در چین‌های اول تا سوم و مجموع چین‌ها

Table 9- Analysis of variance for dry matter yield of blue panic grass in different cuts

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع چین‌ها	چین سوم	چین دوم	چین اول
S.O.V	df	Total dry matter	3rd cut	2nd cut	1st cut
تکرار	2	249.19	1154.94	17188.93	49.32
Replication					
آبیاری	2	34367.59 **	453496.97 **	317524.20 **	390788.32 **
Irrigation (I)					
خطای اول	4	37.43	5303.10	6587.74	1922.42
E (a)					
نیتروژن	2	2181.75 **	5622.23 ns	1911.42 ns	73258.43 **
N					
پتاسیم	1	24.29 ns	2421.24 ns	8982.01 ns	8964.48 ns
K					
پتاسیم × نیتروژن	2	44.24 ns	3052.55 ns	1410.82 ns	9929.78 ns
K * N					
نیتروژن × آبیاری	4	303.92 ns	4534.83 ns	8281.34 ns	4634.54 ns
I * N					
پتاسیم × آبیاری	2	82.31 ns	8230.14 ns	2710.86 ns	3632.59 ns
I * K					
پتاسیم × نیتروژن × آبیاری	4	670.57 **	6907.69 ns	23012.72*	1634.37 ns
I * K * N					
خطای دوم	30	73.99	4588.37	7394.95	3115.52
E (b)					
(%) CV	-	5.07	28.11	25.04	26.56

ns: غیر معنی‌دار

ns: non-significant

*: معنی‌دار در سطح ۵ درصد

*: significant in 5% level

***: معنی‌دار در سطح ۱ درصد

***: significant in 1% level

همچنین اثر کود نیتروژن بر عملکرد ماده خشک گیاه ارزن پادزه‌ری در چین اول معنی‌دار گردید (جدول ۹). با افزایش مقادیر کود نیتروژن مصرفی از صفر به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد ماده

در هر دو چین، با افزایش تبخیر تجمعی رطوبت از تشتک تبخیر، عملکرد ماده خشک کاهش پیدا کرد. به‌طوری‌که هر یک از سطوح رژیم آبیاری در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۱۰).

خشک گیاه نیز به طور معنی داری افزایش یافت و در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب به میزان ۲۰/۱۴ و ۱۰/۲۳ درصد کیلوگرم نیتروژن در هکتار در مقایسه با تیمارهای صفر و ۱۰۰ بیشتر بود (جدول ۱۱).

جدول ۱۰ - مقایسات میانگین اثر رژیم آبیاری بر عملکرد ماده خشک ارزن پادزهری در چین های اول تا سوم

Table 10- Mean comparisons of effect of irrigation levels on dry matter yield of blue panic grass in different cuts

سطوح آبیاری Irrigation treatment (تبخیر تجمعی) (Cumulative evaporation) (mm)	عملکرد ماده خشک در چین سوم Dry matter yield in the 3 rd cut (g m ⁻²)	عملکرد ماده خشک در چین دوم Dry matter yield in the 2 nd cut (g m ⁻²)	عملکرد ماده خشک در چین اول Dry matter yield in the 1 st cut (g m ⁻²)
70	683.52 a	709.37 a	721.77 a
140	565.57 b	605.29 b	558.20 b
210	369.30 c	445.68 c	427.70 c

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند.
Means that have at least one common letter have no significantly difference at 5%.

جدول ۱۱ - مقایسه میانگین اثر سطوح نیتروژن بر عملکرد ماده خشک ارزن پادزهری در چین اول

Table 11- Mean comparisons of effect of nitrogen levels on radiation use efficiency of blue panic grass in the 1st cut

کود نیتروژن N fertilizer (kg ha ⁻¹)	عملکرد ماده خشک Dry matter yield (g m ⁻²)
0	505.76 c
100	568.56 b
200	633.34 a

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد با یکدیگر ندارند.
Means that have at least one common letter have no significantly difference at 5%.

جدول ۱۲ - مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری، نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد ماده خشک گیاه ارزن پادزهری در چین دوم و مجموع چین ها

Table 12- Mean comparisons of interactions of irrigation, nitrogen and potassium levels on dry matter yield of blue panic grass in the 2nd cut and total dry matter

سطوح رژیم آبیاری Irrigation treatment (تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر) (Cumulative evaporation from evaporation pan)	کود نیتروژن N fertilizer (kg ha ⁻¹)	کود پتاسیم K fertilizer (kg ha ⁻¹)	عملکرد ماده خشک در مجموع چین ها Total dry matter (g m ⁻²)	عملکرد ماده خشک در چین دوم Dry matter yield in the 2 nd cut (g m ⁻²)
70	0	0	1975.87 d	675.26 a-e
		100	2029.00 cd	707.07 a-d
	100	0	2132.98 bc	726.44 a-c
		100	2187.94 ab	759.66 ab
	200	0	2314.43 a	798.02 a
		100	2047.65 b-d	589.74 c-g
140	0	0	1733.72 e	622.23 b-f
		100	1610.47 e	539.48 e-h
	100	0	1655.38 e	568.88 c-g
		100	1683.62 e	607.70 b-f
	200	0	1750.08 e	623.71 b-f
		100	1941.13 d	669.75 a-e
210	0	0	1027.96 i	369.71 i
		100	1081.94 hi	381.58 hi
	100	0	1432.08 f	554.87 d-g
		100	1204.85 gh	427.77 g-i
	200	0	1297.02 fg	457.95 f-i
		100	1412.18 f	482.17 f-i

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند.
Means that have at least one common letter have no significantly difference at 5%.

مطالعات خود کاهش عملکرد ماده خشک گیاه ارزن پادزهری را تحت سطوح شوری ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر گزارش کرد. ناخدا و همکاران (Nakhoda et al., 2000) اثرات تنش کم آبی را بر ارزن مرواریدی هیبرید علوفه‌ای نوتریفید (*Pennisetum glaucum* L.) مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که علی‌رغم تحمل بالای ارزن مرواریدی به تنش کم‌آبی، تحت تنش شدید خشکی، عملکرد علوفه تر و تولید ماده خشک در چین‌های مختلف به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین کیفیت علوفه و تولید پروتئین خام و فیبر نیز تحت تاثیر تنش شدید خشکی کاهش یافت.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، کاربرد عناصر غذایی نیتروژن و پتاسیم در شرایط تنش خشکی، توانست تا حدی اثرات مخرب تنش را خنثی کرده و در بهبود صفات مورد بررسی تاثیرگذار باشد. همچنین نتایج این تحقیق، نویدبخش احتمال وجود یک مقاومت نسبی به تنش خشکی در گیاه ارزن پادزهری بوده و مبین آن است که می‌توان با انجام کارهای به‌نژادی تحمل به تنش خشکی را در این گیاه افزایش داد که در صورت تحقق این هدف، علاوه بر صرفه‌جویی در آب مصرفی در زراعت گیاه ارزن پادزهری، سود اقتصادی حاصله برای کشاورز نیز بیشتر خواهد بود.

علاوه بر این، اثر متقابل سه‌گانه رژیم آبیاری، کود نیتروژن و کود پتاسیم بر عملکرد ماده خشک ارزن پادزهری در چین دوم و مجموع چین‌ها معنی‌دار شد (جدول ۹). به گونه‌ای که در چین دوم، بیشترین عملکرد ماده خشک در تیمارهای I₇₀ و سطوح مختلف کودهای نیتروژن و پتاسیم مشاهده شد (جدول ۱۲).

لکن با افزایش تبخیر تجمعی رطوبت از تشتک تبخیر از ۷۰ به ۲۱۰ میلی‌متر، عملکرد ماده خشک کاهش یافت. هرچند کاربرد کودهای نیتروژن و پتاسیم به میزان ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تا حدی از کاهش عملکرد ماده خشک جلوگیری نمود. در مجموع چین‌ها نیز با افزایش تبخیر تجمعی رطوبت از تشتک تبخیر از ۷۰ به ۲۱۰ میلی‌متر، عملکرد ماده خشک کاهش پیدا کرد و بیشترین عملکرد ماده خشک در تیمارهای I₇₀-N₂₀₀-K₀ و I₇₀-N₁₀₀-K₁₀₀ مشاهده شد (جدول ۱۲). گزارش‌های علمی حکایت از این واقعیت دارند که در شرایط تنش خشکی گیاه به‌منظور حفظ فعالیت‌های متابولیک خود، غلظت متابولیت‌ها را در برخی سلول‌های بخش‌های حساس خود افزایش می‌دهد تا به‌واسطه آن، پتانسیل اسمزی را در این سلول‌ها منفی‌تر کرده و بتواند از این طریق، جذب آب بیشتری را انجام دهد (Kafi et al., 2009; Claudio et al., 2006). ولی این ساز و کار که در راستای حفظ بقای گیاه انجام می‌شود، خود برای گیاه هزینه داشته و سبب تولید کمتر ماده خشک می‌شود. عشقی‌زاده (Eshghizadeh, 2012) نیز در

References

1. Al-Kaisi, M., and Yin, X. 2003. Effects of nitrogen rate, irrigation rate, and plant population on yield and water use efficiency of corn. *Agronomy Journal* 95: 1475-1482.
2. Ansari, H., Sharifan, H., and Davari, K. 2011. Principles and Public Irrigation Operations. Publications of Mashhad Jahad Daneshgahi (in Persian).
3. Beheshti, A. R. 2002. The effect of changes in canopy structure on eco-physiological aspects of hybrid varieties of maize in connection with the radiation use efficiency and nitrogen uptake. PhD thesis, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
4. Claudio, A., Chimenti, M., Marcantonio, M., and Hall, A. J. 2006. Divergent selection for osmotic adjustment results in improved drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) in both early growth and flowering phases. *Field Crops Research* 95: 305-315.
5. Dastbandannejad, S., Saki, S., and Lack, S. 2010. Study effect drought stress and different levels potassium fertilizer on K accumulation in corn. *Nature and Science* 8: 23-28.
6. Eshghizadeh, H. R. 2012. Evaluation of some physiological, morphological and agronomical traits related to salt tolerance in halophyte species, blue panic grass (*Panicum antidotale* Retz). PhD thesis, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
7. Eshghizadeh, H. R., Kafi, M., and Nezami, A. 2012. Effect of soil chemical properties on bio-saline production of blue panic grass (*Panicum antidotale* Retz). Under water-deficit and salinity stress conditions. *Research on Crops* 13 (3): 1039-1047.
8. Goudriaan, J., and Van Laar, H. H. 1993. Modeling potential crop growth processes. Kluwer Academic Press. Dordrecht, 238 pp.
9. Hopkins, W. G. 2004. Introduction to Plant Physiology (3rd ed.). Published in the U.S. with John Wiley and Sons. New York. 557 pp.
10. Jalali, A. H., and Bahrani, M. J. 2014. Effect of crop residue and nitrogen fertilizer on nitrogen use efficiency in corn (*Zea mays* L.) production. *Agronomy Journal* (Pajouhesh and Sazandegi) 102: 197-204. (in Persian with English abstract).

11. Jami Al-Ahmadi, M., Kafi, M., and Nassiri Mahalati, M. 2008. Salinity effects on radiation utilization characteristics of *Kochia* (*Kochia Scoparia* L. Schrad.). *Journal of Pajouhesh and Sazandegi* 78: 177-185. (in Persian with English abstract).
12. Kafi, M., Borzoei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, J. 2009. *Physiology of Environmental Stresses in Plants*. Publications of Mashhad Jahad Daneshgahi. (in Persian).
13. Kelik, H., Asik, B. B., and Katkat, A. 2010. Effect of potassium and iron on macro element uptake of maize. *Zemdirbyste-Agriculture* 97: 11-22.
14. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mondani, F., Feizi H., and Amirmoradi, Sh. 2009. Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercropping canopy. *Journal of Agroecology* 1 (1): 13-23. (in Persian with English abstract).
15. Mohammadian, R., Ahmadian, M., and Ghalebis, S. 2004. Effects of potassium application under different irrigation intervals on yield and water use efficiency of two genotypes of sugar beet in furrow irrigation. *Journal of Sugar Beet* 20: 55-72.
16. Moeini, S., Javadi, Sh., Koukabi, M., and Dehghan Manshadi, M. 2010. Estimation of solar radiation in Iran using an optimal model. *Journal of Iran Energy* 13 (2): 1-10. (in Persian with English abstract).
17. Nakhoda B, Dezfouli A., Banisadr N. 2000. Water stress on forage yield and quality of pearl millet [*Pennisetum americanum* (L.) Leek. var. Nutrifed]. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 31: 701-12. (in Persian with English abstract).
18. O'Neill, P. M., Shanahan, J. F., Schepers, J. S., and Caldwell, B. C. 2004. Agronomic responses of corn hybrids from different eras to deficit and adequate levels of water and nitrogen. *Agronomy Journal* 96: 1660-1667.
19. Panahi, M. 2016. Effect of irrigation regimes the yield and water use efficiency of forage millet. Eleventh Conference of National Committee of Irrigation and Drainage of Iran. (in Persian with English abstract).
20. 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.
21. Roundy, B. A., Winkel, V. K., Cox, J. R., Dobrenz, A. K., and Tewolde, H. 1993. Sowing depth and soil water effects on seedling emergence and root morphology of three warm season grasses. *Agronomy Journal* 85 (5): 975-982.
22. Sadeghipour Marvi, M. 2009. Effect of nitrogen and phosphorous rates on fertilizer use efficiency in lettuce and spinach. *Journal of Horticulture and Forestry* 1 (7): 140-147.
23. Seghatoleslami, M. J., Kafi, M., Majidi, I., Nour-Mohammadi, Gh., and Darvish, F. 2007. Effect of drought stress at different growth stages on yield and water use efficiency of five Proso Millet (*Panicum miliaceum*) genotypes. *Journal of Water and Soil Sciences* 11 (1): 215-227. (in Persian with English abstract).
24. Taiz, L., and Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*. Sinauer Associates. Inc. Publishers.
25. Vaezi, A. R., Homaei, M., and Malakoti, M. J. 2002. Effect of fertigation on fertilizer use efficiency and water use efficiency on forage corn. *Journal of Soil and Water Sciences* 16 (2): 152-160. (in Persian with English abstract).
26. Vafabakhsh, J., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2008. Effect of drought stress on yield and radiation use efficiency in colza cultivars (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Agronomic Research* 6 (1): 193-204. (in Persian with English abstract).
27. Zakia, I. A., Dawelbeit, S. E., and Salih, A. A. 2010. Effect of water stress and nitrogen application on grain yield of wheat, <http://www.arcsudan.sd/proceedings/>.
28. Zarea, Sh., and Shahbazi, H. A. 2007. Economic evaluation of using different amounts of inputs in sugar beet cultivation systems with a focus on water. 6th Conference of Agricultural Economics of Iran. (in Persian).
29. Zebarth, B. J., Leclerc, Y., Moreau, G., and Botha, E. 2004. Rate and timing of nitrogen fertilization of Russet Burbank potato: yield and processing quality. *Canadian Journal Plant Sciences* 84 (3): 855-863.



Effects of Water Stress, Nitrogen and Potassium on Some Physiological Characteristics and Dry Matter Yield of Blue Panic Grass (*Panicum antidotale* Retz.)

Z. Jouyban¹, M. Kafi^{2*}, A. Nezami², S. Gh. R. Mousavi³

Received: 06-01-2018

Accepted: 29-09-2018

Introduction

Severe water shortage is one of the major challenges of agricultural sector in arid and semi-arid region. Optimal use of water resources, along with improving the efficiency of nutrient elements under drought conditions, will increase or stabilize crop yield. Forage production using plant species with low water requirement and adapted to low quality waters is a sustainable strategy for fodder production in dry areas. Blue panic grass (*Panicum antidotale* Retz.) is a halophytic crop plant, which is water productive and adapted to tropical conditions. This study was carried out to investigate the effects of drought stress, nitrogen and potassium on some physiological characteristics and dry matter yield of blue panic grass in Birjand, South-Khorasan province of Iran.

Materials and Methods

This study was conducted as a split-factorial experiment with three replications using a randomized complete block design at the Research Field of Islamic Azad University of Birjand. Irrigation was considered as the main factor at three levels based on cumulative evaporation from evaporation pan class A (70, 140 and 210 mm), nitrogen fertilizer was applied in three levels based on soil test including zero, 50% (100 kg ha⁻¹) and 100% (200 kg ha⁻¹) of recommended N. Potassium was applied in two levels (zero and 100 kg ha⁻¹). Blue panic grass is perennial and in the first year, most of the photosynthetic assimilate are being used for the establishment of the plant; Hence, treatments were imposed in the second year of the experiment. During the growing season, radiation use efficiency and water use efficiency calculated three times during the growing season. Dry matter accumulation was measured at the final harvest. In addition, nitrogen use efficiency and agronomic nitrogen efficiency were calculated based on the consumed nitrogen fertilizer during the growing season and total dry matter harvested during the growing season.

Results and Discussion

Results showed that under water stress conditions the radiation use efficiency decreased, while, water use efficiency increased. We concluded that providing enough water and nutrients can increase dry matter production and radiation use efficiency. Application of nitrogen and potassium fertilizers under severe water stress conditions led to an increasing water use efficiency. Application of higher levels of nitrogen reduced nitrogen use efficiency.

Conclusions

Blue panic grass showed good performance under water stress conditions. Results indicated that application of nitrogen and potassium fertilizers under water stress conditions could mitigate the adverse effects of drought stress and increase nitrogen and water use efficiency.

Keywords: Drought stress, Nutrient elements, Water use efficiency

1- PhD student of Crop Physiology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- Associate Professor, Department of Agronomy, College of Agriculture, Islamic Azad University of Birjand

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



تأثیر تنش خشکی انتهای فصل بر عملکرد دانه و صفات مورفوفیزیولوژیک اکوتیپ‌های *Aegilops triuncialis*

زهرا تقی‌پور^{۱*}، رسول اصغری زکریا^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹

چکیده

به منظور مطالعه اثر تنش خشکی در شرایط آبیاری کامل و تنش رطوبتی انتهای فصل (قطع آبیاری در مرحله تورم غلاف برگ پرچم و قطع آبیاری در مرحله ۵۰٪ ظهور سنبله) روی صفات مختلف هشت اکوتیپ *Aegilops triuncialis* و تعیین صفات موثر بر عملکرد دانه، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تنش رطوبتی موجب کاهش مقادیر کلیه صفات مورد ارزیابی مخصوصاً عملکرد دانه به میزان ۸۹٪ نسبت به شاهد شد. شرایط تنش رطوبتی با آسیب بر دستگاه فتوسنتزی باعث کاهش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II و شاخص کلروفیل گردید. میزان هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش در مرحله تورم سنبله ۴۶ درصد و در مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله ۵۵ درصد کاهش یافته و همچنین موجب کاهش ۲۶ درصدی محتوی نسبی آب برگ نسبت به شرایط نرمال گردید. اگرچه اعمال تنش رطوبتی در این آزمایش باعث کاهش عملکرد دانه در اکوتیپ‌ها نسبت به شرایط بدون تنش شد ولی بعضی از اکوتیپ‌ها مانند هشترو، هوراند و ماکو شرایط تنش را تحمل نموده و کاهش عملکرد کمتری نسبت به سایرین نشان دادند. اکوتیپ‌های هشترو، مرنده، هوراند، البرز و مشکین توانستند در زمان خشکی، با افزایش طول ریشه رطوبت مورد نیاز را از اعماق خاک فراهم کنند.

واژه‌های کلیدی: تنش رطوبتی، فلورسانس کلروفیل، عملکرد دانه، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

خشکسالی و تنش ناشی از آن مهمترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که هر ساله خسارت‌های هنگفتی به محصولات زراعی در جهان به خصوص ایران که به عنوان کشوری خشک و نیمه خشک محسوب می‌گردد، وارد می‌نماید (Sabagh pour, 2003). امروزه برنامه‌های اصلاحی تحمل به خشکی و ایجاد ارقام متحمل برای رسیدن به عملکرد مطلوب در محیط‌های خشک، مرتبط با شناسایی صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی و شناسایی ژن‌های درگیر و انتقال آن‌ها به ارقام زراعی استوار است (Liu et al., 2006). گاتوم و همکاران (Gautam et al., 2011)، بیان داشتند که تنوع ژنتیکی برای تحمل به خشکی در میان گونه‌های *Aegilops* وجود دارد، که می‌توان این تنوع را برای بهبود تحمل به خشکی در گندم در مراحل مختلف تولید مثل و رشد محصول مورد استفاده قرار داد. گونه‌های *Aegilops* از خویشاوندان وحشی گندم و تأمین کننده دو ژنوم از سه ژنوم گندم نان بوده و منبع ژنتیکی مهمی برای افزایش پتانسیل ژنتیکی گندم برای مقاومت در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده

محسوب می‌شوند (Gill et al., 2006). گونه *Aegilops triuncialis* تتراپلوئید ($2n=4X=28$) با فرمول ژنومی UUCC است که از تلاقی بین گونه‌های *Aegilops umbellulata* با فرمول ژنومی UU و *Aegilops caudata* با فرمول ژنومی CC به وجود آمده است (Wang et al., 1997). این گونه در بین گونه‌های مختلف آزیلوپس بیشترین پراکنش را در جهان دارد و تا ارتفاع ۲۷۰۰ متری از سطح دریا یافت می‌شود. به علت پلی‌پلوئیدی بودن، سازگاری این گونه به شرایط محیطی بیشتر است (Van Slageren, 1994).

در ارزیابی ژرمپلاس *Titicum aestivum* از نظر تحمل به تنش‌های محیطی، هم در بین گونه‌ها و هم در درون گونه‌های وحشی تنوع ژنتیکی بالایی از لحاظ صفات مرتبط با عملکرد گزارش شده است. بالباکی و همکاران (Baalbaki et al., 2006)، ۲۱ جمعیت از ۶ جنس آزیلوپس شامل: (*Ae. Biuncialis*)، (*Ae. cylindrica*)، (*Ae. geniculata*)، (*Ae. markgrafi*)، (*Ae. triuncialis*) و (*Ae. vavilovii*) را برای مطالعه تنوع صفات کمی از این جنس‌ها وقتی در معرض سطوح متفاوتی از تنش رطوبتی هستند و شناخت صفات کیفی که می‌توان در ژرمپلاس آزیلوپس برای اهداف اصلاحی استفاده کرد را بررسی کردند. با افزایش شدت تنش خشکی وزن خشک همه گونه‌ها کاهش یافت اما تمام آنها پاسخ

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

(Email: ztaghipour22@yahoo.com)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v17i3.70592

یکسانی به تنش رطوبتی برای ارتفاع بوته نداشتند، ارتفاع بوته‌های *Ae. markgrafii*، *Ae. geniculata* و *Ae. triuncialis* پاسخی به تنش رطوبتی نشان ندادند ولی ارتفاع بوته‌های *Ae. biuncialis*، *Ae. cylindrica* و *Ae. vavilovii* تحت تنش رطوبتی کاهش یافت. در یک ارزیابی وسیع از خویشاوندان وحشی که در مورد قدرت زیست آنها در شرایط خشکی توسط دامانیا و همکاران (Damanian et al., 1992) انجام گرفت، بیان شد که گونه‌های *(Ae. tauschii)*، *Ae. umbellulata*، *(Ae. columnaris)*، *(Ae. peregrina)* و *Ae. triuncialis* مقاوم به خشکی هستند. با توجه به شواهد فوق، درک صفات مورفولوژیک مرتبط با مقاومت به خشکی برای فهم بیشتر مکانسیم‌های مقاومت به خشکی در غلات و دستیابی به منابع ژنتیکی آن برای برنامه‌های اصلاحی ضروری است. بنابراین، تولید ارقام مقاوم به خشکی یا ارقامی که نیاز کمتری به آبیاری داشته باشند و نیز شناخت عواملی که باعث القای مقاومت به خشکی در گیاه شود، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. با توجه به گزارش‌های کمی که در رابطه بررسی تحمل تنش خشکی در گونه‌های آژیلوپس وجود دارد (Flexas and Medrano, 2002; Molnar et al., 2004;) (Baalbaki et al., 2006; Paknejad et al., 2007) این آزمایش با توجه به اهداف ذیل اجرا گردید:

الف) شناسایی اکوتیپ‌های متحمل آژیلوپس با دوره طولانی خشکسالی قبل از مرحله گرده‌افشانی. (ب) شناسایی صفات فیزیولوژیکی، رشد، عملکرد و اجزای عملکرد وابسته به تحمل.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌منظور بررسی اثرات ناشی از تنش خشکی و مطالعه صفات مرتبط با تحمل هشت اکوتیپ مختلف از *triuncialis Aegilops* (اکوتیپ‌های ماکو، مرند، هشت‌رود، نمین، هوراند، کرج، مشکین و اهر) در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۰ انجام شد. به‌منظور اجرای آزمایش گلخانه‌ای از گلدان‌های پلاستیکی به‌ترتیب با طول، عرض و ارتفاع ۴۰، ۳۰ و ۱۰ سانتی‌متر استفاده گردید. خاک مورد استفاده در گلدان‌ها دارای بافت لوم رسی شنی بود. قبل از کشت بذرها، مرطوب شده به مدت ۲۰ روز در دمای ۲-۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا عمل ورنالیزاسیون در آنها صورت گیرد. بعد از جوانه‌زنی بذور، گیاهچه‌های یکنواخت به داخل گلدان‌های پلاستیکی منتقل شدند. تنظیمات گلخانه شامل رطوبت نسبی ۴۰ درصد، دمای دوره روشنایی 3 ± 20 درجه سانتی‌گراد و دمای دوره تاریکی 3 ± 16 درجه سانتی‌گراد و طول روز و شب به‌ترتیب ۱۶ و ۸ ساعت بود. آزمایش با ۳ تکرار به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام شد. سطوح مختلف آبیاری شامل آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری از مرحله تورم غلاف برگ پرچم تا انتهای رشد (T_1) (مرحله رشدی ۴۵

زادوکس) و قطع آبیاری از مرحله ظهور ۵۰٪ سنبله‌ها تا انتهای فصل رشد (T_2) (مرحله رشدی ۵۵ زادوکس) به‌عنوان سطوح تنش رطوبتی در نظر گرفته شد. صفات مورفولوژیک مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته (cm)، وزن خشک بوته (g)، طول پدانکل (cm)، طول سنبله (cm)، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله (g)، وزن صد دانه (g)، وزن خشک سنبله (g)، طول ریشه و حجم ریشه بودند. اندازه‌گیری شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه SPAD-502 انجام گردید. بدین منظور قسمت میانی پهنک برگ پرچم در بین گیره دستگاه قرار گرفت و با فشار دادن گیره، شاخص کلروفیل بر حسب واحد اسپاد اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان فلورسانس کلروفیل از دستگاه OSI 30 (کمپانی ADC Bioscientific) استفاده شد. تمام اندازه‌گیری‌ها در ساعات ۱۰ تا ۱۳ به‌منظور به حداقل رساندن تغییرات روزانه انجام شد. در ابتدا گیره‌های مخصوص پس از اطمینان از بسته بودن دریچه‌های آنها بر روی برگ‌ها، به طوری که از رگرگ اصلی فاصله داشته باشند، نصب شدند. برگ‌ها به مدت ۱۵ دقیقه برای توقف واکنش روشنایی فتوسنتز در تاریکی قرار گرفتند. پس از سپری شدن این مدت گیره‌ها به فیبر نوری دستگاه متصل شدند و دریچه گیره‌ها باز شدند و پتانسیل عملکرد کوانتوم (F_v/F_m) یادداشت گردید. هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر مدل Leaf Porometer SC-1، که با قرار دادن برگ پرچم در داخل سنسور دستگاه، اعداد مربوط به میزان مقاومت روزنه بر حسب $\text{mmol}^2/\text{m}^2\text{s}$ قرائت شد. دو هفته پس از اعمال تنش، برای اندازه‌گیری RWC، چند برگ از قسمت‌های بالایی بوته انتخاب و سریعاً به آزمایشگاه منتقل گردید. ابتدا وزن تر آنها اندازه‌گیری شد. سپس به منظور تعیین وزن تورژسانس به مدت ۲۴ ساعت در شدت نور کم و در دمای اتاق، در داخل آب مقطر قرار داده شدند. در پایان به منظور تعیین وزن خشک به مدت ۲۴ ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و RWC از طریق رابطه زیر به‌دست آمد (Schlemmer et al., 2005):

$100 \times (\text{وزن خشک} - \text{وزن تورژسانس}) / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}) = \text{RWC}$
برای محاسبه درصد تغییرات صفات در اثر کم آبی از رابطه زیر استفاده شده است (Safae chaeekar et al., 2008):

(میانگین صفت - میانگین صفت در شرایط بدون تنش) / {درصد تغییر صفت (میانگین صفت در شرایط بدون تنش) / میانگین صفت در شرایط تنش} $\times 100$

مثبت بودن درصد تغییر صفت به معنی افت میزان آن صفت و منفی بودن آن به منزله افزایش آن صفت در محیط‌های تنش خواهد بود. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل برش‌دهی انجام شد و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون Lsmeans در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

یکدیگر در یک گروه قرار گرفتند و اکوتیپ نمین کمترین وزن صد دانه را تحت شرایط تنش دارا بود (جدول ۲). علت کاهش وزن صد دانه را چنین می‌توان توجیه کرد که قبل از اعمال تنش گیاه تعداد مخازن بیشتری (دانه) تولید می‌کند و با اعمال شرایط تنش که تا انتهای دوره‌ی رشد ادامه دارد و با نزدیک شدن گیاه به انتهای دوره‌ی رشد شرایط تنش شدیدتر شده است، بنابراین آب کافی برای پر شدن دانه‌ها وجود نداشته و با بروز تنش نتوانستند این مخازن را به خوبی پر کنند در نتیجه وزن دانه‌ها به شدت کاهش یافته است (Ji et al., 2010).

تعداد دانه در سنبله

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین سطوح مختلف تنش رطوبتی و بین اکوتیپ‌ها و همچنین اثر متقابل آنها برای تعداد دانه در سنبله اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۱) که نشان‌دهنده رفتار متفاوت اکوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف می‌باشد. تعداد دانه در سنبله یکی از مهمترین اجزای عملکرد در غلات می‌باشد (Riaz and Chowdhry, 2003). تیمار تنش رطوبتی با تأثیر بر تعداد دانه در سنبله موجب ۷۸ درصد کاهش در مقدار آن شد (جدول ۴). کاهش رطوبت در مراحل بحرانی رشد از جمله مرحله گرده‌افشانی (لقاح) و حساسیت دانه‌های گرده به کمبود رطوبت منجر به کاهش تعداد دانه تولیدی در سنبله گردید. با توجه به جدول ۳ بیشترین تعداد دانه در سنبله در شرایط بدون تنش مشاهده شد و اکوتیپ‌های مشکین، مردن، هشترو و کرج از بیشترین تعداد دانه در سنبله برخوردار بودند. در تیمار T_1 بیشترین تعداد دانه در سنبله را اکوتیپ‌های مشکین و هشترو داشتند و اکوتیپ هوراند نیز بدون اختلاف معنی‌دار با آن دو بود. در تیمار T_2 ، بیشترین تعداد دانه در سنبله برای اکوتیپ‌های هشترو و هوراند بود. به‌طور کلی تیمار T_1 بیشترین تأثیر را روی میزان این صفت داشت و کمترین تعداد دانه در سنبله برای اکوتیپ‌های نمین و کرج به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده بیانگر این مطلب است که واکنش متفاوت اکوتیپ‌ها از نظر تعداد دانه در سنبله نشان‌دهنده حساسیت یا مقاومت متفاوت اکوتیپ‌ها به تنش خشکی می‌باشد و اکوتیپ‌های هشترو و هوراند نسبت به سایر اکوتیپ‌ها متحمل به تنش بودند.

به‌طور کلی تیمار T_1 بیشترین تأثیر را بر کاهش این صفت داشت و کمترین تعداد دانه در سنبله برای اکوتیپ‌های نمین و البرز به‌دست آمد.

نتایج به‌دست آمده بیانگر این مطلب است که واکنش متفاوت اکوتیپ‌ها از نظر تعداد دانه در سنبله نشان‌دهنده حساسیت یا مقاومت متفاوت آنها به تنش خشکی می‌باشد و اکوتیپ‌های هشترو و هوراند نسبت به بقیه گونه‌ها متحمل به تنش بودند.

اثر تیمار تنش رطوبتی بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین بین سطوح تنش رطوبتی (جدول ۲) نشان داد که تنش رطوبتی موجب کاهش عملکرد دانه گردید و بیشترین عملکرد دانه از تیمار شاهد به‌دست آمد. تیمارهای T_1 و T_2 (به‌ترتیب قطع آبیاری از مرحله تورم غلاف برگ پرچم و قطع آبیاری در مرحله ۵۰٪ ظهور سنبله تا انتهای فصل رشد) کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. قطع آبیاری در مرحله تورم سنبله (T_1)، حدود ۸۹٪ عملکرد را نسبت به شاهد کاهش داد (جدول ۴). تنش خشکی دوره پر شدن دانه را در غلات کاهش می‌دهد که نتیجه این پیامد چروکیدگی دانه، کاهش وزن و در نتیجه کاهش عملکرد می‌باشد. خشکسالی قبل از گرده‌افشانی منجر به کاهش عملکرد دانه به‌وسیله اثر منفی بر فعالیت‌های فتوسنتزی به صورت کاهش تجمع ذخایر ساقه (کربوهیدرات‌های محلول در آب) می‌شود (Gautam et al., 2011). بین اکوتیپ‌های مورد آزمایش اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد (جدول ۱). در بین اکوتیپ‌های مورد آزمایش، اکوتیپ هشترو بیشترین عملکرد دانه و اکوتیپ نمین کمترین عملکرد دانه را دارا بودند و اکوتیپ‌های اهر، مشکین، مردن، هوراند و البرز بدون اختلاف آماری معنی‌دار با یکدیگر در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۲). بالباکی و همکاران (Baalbaki et al., 2006)، ۲۱ جمعیت از شش جنس اُریلوپس را در سطوح مختلفی از تنش رطوبتی بررسی و بیان داشتند که وزن بذریه‌های *Ae. geniculata*، *Ae. cylindrica*، *Ae. biuncialis* و *Ae. vavilovii* با افزایش تنش رطوبتی کاهش یافت، و عملکرد دانه دارای همبستگی مثبت با ظرفیت تولید پنجه، تعداد بذر، وزن بذریه‌های سنبله و تعداد کل پنجه تحت همه سطوح تنش بود.

وزن صد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که وزن صد دانه در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تنش رطوبتی قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین وزن صد دانه را تیمار شاهد دارا بود و کمترین آن برای تیمار T_1 به‌دست آمد (جدول ۲) و ۸۴٪ کاهش میانگین را نسبت به تیمار T_2 دارا بود (جدول ۴). در واقع تحت شرایط تنش وزن صد دانه کاهش چشمگیر داشته است. خشکسالی در طول مرحله قبل و بعد از گرده‌افشانی باعث کاهش عملکرد دانه همراه با کاهش وزن دانه است (Ahmadi and Baker, 2001; Ji et al., 2010). مطابق با جدول تجزیه واریانس بین اکوتیپ‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد برای عملکرد دانه وجود داشت (جدول ۱). اکوتیپ هشترو دارای بیشترین وزن صد دانه (۲/۱۷) و اکوتیپ‌های هوراند، البرز و مشکین بعد از آن بدون اختلاف آماری معنی‌دار با

تنش رطوبتی باعث کاهش صد درصدی تعداد دانه در سنبله در مقایسه با شاهد در (*Ae. searsii*) و ۶۹٪ در (*Ae. longissima*) شد (Gautam et al., 2011). اعمال تنش رطوبتی در مرحله گلدهی موجب عقیم شدن دانه‌های گرده و اختلال در فتوسنتز جاری و انتقال مواد ذخیره شده به دانه‌ها می‌گردد که می‌تواند دلیلی بر کاهش تعداد دانه در ارقام باشد (Royo et al., 2006).

طول سنبله

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که بین اکوتیپ‌های مختلف و سطوح تنش رطوبتی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد برای طول سنبله وجود داشت. تحت تیمار تنش رطوبتی طول سنبله در مقایسه با شاهد کاهش یافته (جدول ۲) و تاثیر تیمار T_1 بر آن شدیدتر ($23/4$) بود (جدول ۴). به دلیل اینکه مواد غذایی به‌صورت محلول در آب جذب گیاه می‌شوند، بنابراین محدودیت در منابع آبی منجر به محدودیت در کلیه منابع غذایی شده و گیاه مجبور به کم کردن رشد رویشی و اتمام زود هنگام مرحله رویشی و شروع مرحله زایشی می‌گردد. در نتیجه، دوره‌ی رشدی، ارتفاع، طول پدانکل، طول سنبله اصلی و عملکرد بیولوژیک کاهش می‌یابد (Mitra, 2001). بیشترین طول سنبله را اکوتیپ مشکین و هشتگرد دارا بودند و سایر اکوتیپ‌ها اختلاف معنی‌دار با یکدیگر نداشتند و از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۲). کاهش عملکرد دانه در اثر تیمار تنش رطوبتی را می‌توان به کاهش طول سنبله و وزن دانه در سنبله نسبت داد. نتایج این تحقیق با نتایج گودینگ و همکاران (Gooding et al., 2003) و پیری و همکاران (Pierre, 2008) در گندم مطابقت دارد.

وزن خشک سنبله

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که بین اکوتیپ‌های مختلف و همچنین بین سطوح تنش رطوبتی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آنها در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار بود. اعمال تیمار تنش رطوبتی موجب کاهش وزن خشک سنبله نیز گردید که همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده وزن خشک سنبله برای اکوتیپ‌های اهر، هشتگرد و هوراند در هر دو سطح تنش رطوبتی بدون اختلاف معنی‌دار بودند و با اکوتیپ مرند در تیمار T_1 و با مشکین، ماکو و البرز در تیمار T_2 اختلاف معنی‌دار نداشتند. اکوتیپ نمین در هر دو سطح تنش خشکی کمترین وزن خشک سنبله را داشت ولی تاثیر تنش خشکی بر روی آن در مرحله تورم سنبله بیشتر بود و با اکوتیپ‌های ماکو و البرز اختلاف آماری معنی‌دار نداشت. تیمار T_1 موجب کاهش ۷۴٪ وزن خشک سنبله گردید (جدول ۴).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده
Table 1- Analysis of variance of measured traits

منابع تغییر S.O.V	درجه d.f	میانگین مربعیات Mean Square	طول ریشه Root length	حجم ریشه Root volume	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک بوته Plant dry weight	وزن خشک سنبله Dry spike weight	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	ارتفاع بوته Plant height	طول پدانکل Peduncle length	طول سنبله Spike length	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد دانه Grain yield	وزن صد دانه 100 grain weight	پتانسیل عملکرد کواتوم Fv/Fm	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	محتوی آب نسبی RWC
اکوتیپ Ecotype	7	55.93*	0.059**	0.957**	0.059**	0.449**	0.028**	7.690*	399.369**	54.731**	0.508**	0.007**	0.007**	0.152**	0.012**	83.15**	358.25**	498.349**
تنش Stress	2	354.132**	0.027*	0.690**	0.027*	4.366**	0.0327**	214.135**	698.074**	204.667**	10.217**	0.214**	0.214**	1.338**	0.026**	797.12**	6674.69**	1856.613**
اکوتیپ*تنش Ecotype*Stress	14	17.298**	0.013**	0.126**	0.013**	0.117**	0.015*	2.151**	26.910**	4.481**	0.281**	0.002**	0.002**	0.019**	0.004**	52.78**	157.91**	108.155**
اشتباه آزمایشی Error	48	23.81	0.008	0.102	0.008	0.036	0.007	0.698	14.998	5.093	0.193	0.02	0.02	0.010	0.0007	2.26	8.333	3.823
ضریب تغییرات (CV%)		18.8	10.3	24.2	10.3	13.0	23.5	20.1	9.7	19.3	8.95	26.4	26.4	10.1	3.5	3.0	7.6	3.2

جدول ۲- مقایسه میانگین بین سطوح مختلف تنش رطوبتی و اکوتیپ‌های مختلف *Ae. triuncialis* از نظر صفات مورفوفیزیولوژیک اندازه‌گیری شده در شرایط تنش خشکی

Table 2- Comparison of means between stress levels and different ecotypes of *Ae. triuncialis*, under drought stress

اکوتیپ Ecotypes	عملکرد دانه Grain yield (g)	ارتفاع بوته Plant length (cm)	طول پدانکل Peduncle length (cm)	طول سنبله Spike length (cm)	وزن صد دانه grain 100 weight (g)	طول ریشه Root length (cm)	حجم ریشه Root volume (cm ³)
Ahar	0.15bc	36.77c	10.30cd	4.75b	0.39cd	24.24abc	1.45b
Meshkin	0.16bc	42.34b	13.92ab	5.43a	0.66bc	27.86abc	0.6b
Maku	0.18b	42.95b	12.38abc	4.68b	0.70b	22.66c	0.57b
Marand	0.16bc	30.27d	8.52de	4.85b	0.46bcd	26.29abc	2.92a
Hashtrood	0.22a	40.55b	12.11bc	5.41a	2.17a	29.41a	1.06b
Namin	0.13c	32.55d	8.05e	4.61b	0.20d	22.93bc	0.68b
Horand	0.16bc	51.13a	14.53a	4.94b	0.63bc	26.32abc	3.18a
Karaj	0.15bc	43.46b	13.61ab	5b	0.52bc	28.14ab	1.13b
Normal	0.27a	44.41a	14.59a	5.49a	1.16a	22.85b	1.97a
T ₁	0.087c	33.99c	8.75c	4.20c	0.18c	30.27a	0.95b
T ₂	0.14b	41.61b	11.69b	5.02b	0.42b	24.83b	1.43ab

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل دارای حداقل یک حرف مشترک هستند از نظر آماری در سطح پنج درصد فاقد تفاوت معنی‌داری هستند.

Means with the same letter in each column and each factor are not significantly different in 5% probability.

ارتفاع بوته و طول پدانکل

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) اثر اکوتیپ و سطوح تنش رطوبتی در سطح احتمال یک درصد برای ارتفاع بوته و طول پدانکل معنی‌دار گردید ولی اثر متقابل اکوتیپ × تنش غیر معنی‌دار بود. مقایسه میانگین سطوح تنش رطوبتی نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار شاهد مشاهده و تنش رطوبتی کاهش ارتفاع بوته‌ها را موجب شده است. اعمال تیمار T₁ و T₂ به‌ترتیب باعث کاهش ۲۳٪ و ۶/۳٪ ارتفاع بوته نسبت به شاهد شد (جدول ۴). در نتایج جدول مقایسه میانگین، بیشترین و کمترین طول پدانکل به‌ترتیب در شاهد و تیمار T₁ مشاهده گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین بین اکوتیپ‌ها نشان داد که اکوتیپ هوراند دارای بیشترین و اکوتیپ نمین و مرند کمترین ارتفاع بوته را دارا بودند (جدول ۲). تأثیر تنش خشکی بر کاهش طول پدانکل در تیمار T₁، ۴۰ درصد و حدود ۲۰ درصد در تیمار T₂ برآورد گردید (جدول ۴). در مراحل رشدی با اعمال تیمار تنش خشکی چون گیاه هنوز رشد رویشی دارد امکان کاهش طول پدانکل وجود دارد. با ملاحظه‌ی مقایسه میانگین اکوتیپ‌ها (جدول ۲)، اکوتیپ هوراند بیشترین طول پدانکل و اکوتیپ نمین کمترین طول پدانکل را داشتند.

وزن خشک بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین اکوتیپ‌ها، بین سطوح تنش رطوبتی و همچنین اثر متقابل اکوتیپ × تنش اختلاف در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با توجه به جدول ۳ از نظر وزن خشک بوته اکوتیپ اهر در شرایط بدون تنش بیشترین مقدار وزن خشک بوته را داشت و با اکوتیپ‌های ماکو، مرند و هشتروند بدون

اختلاف معنی‌دار بود. همچنین در تیمار T₁ و T₂ بیشترین میزان وزن خشک بوته برای اکوتیپ اهر به‌دست آمد که در تیمار T₂ با اکوتیپ البرز در یک گروه قرار گرفتند. کمترین میزان وزن خشک بوته در تیمار T₁ برای اکوتیپ مشکین بود و بدون اختلاف معنی‌دار با اکوتیپ ماکو، مرند و هوراند در یک گروه قرار گرفتند. به‌طور کلی تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک بوته نسبت به شاهد شد که این کاهش در تیمار T₁ (۶۷٪) بیشتر از تیمار T₂ (۴۵٪) بود (جدول ۴).

سیستم ریشه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، بین اکوتیپ‌ها در سطح احتمال پنج درصد برای طول ریشه و یک درصد برای حجم ریشه و وزن خشک ریشه اختلاف معنی‌دار وجود داشت. همچنین اختلاف بین سطوح تنش رطوبتی برای طول ریشه و حجم ریشه در سطح معنی‌داری یک درصد و وزن خشک ریشه در سطح پنج درصد وجود داشت.

بین تیمار شاهد و تیمار T₂ اختلاف معنی‌داری از نظر طول و حجم ریشه نبود و بیشترین طول و کمترین حجم ریشه در شرایط تنش نسبت به مشاهده شد (جدول ۲). صفت طول ریشه در شرایط تنش در مرحله تورم سنبله (تیمار T₁) مقدار بالاتری نسبت به شرایط شاهد داشت. سیستم مطلوب ریشه، موجب جذب آب بیشتر و تولید اندام هوایی بیشتر می‌شود. افزایش رشد ریشه موجب افزایش توانایی استخراج رطوبت خاک شده و به‌عنوان یک مکانیزم اساسی مقاومت به خشکی عمل می‌کند (Wade et al., 2000). واریته‌هایی که بتوانند در شرایط کمبود رطوبت در خاک طول ریشه خود را افزایش دهند، نشان می‌دهند که این واریته‌ها به دو دلیل می‌توانند در برابر

صفات بالا نشان داد که بیشترین مقدار طول ریشه در اکوتیپ ماکو مشاهده شد که با اکوتیپ‌های هشترو و نمین اختلاف آماری معنی‌دار داشت ولی اختلاف آن با سایر اکوتیپ‌ها معنی‌دار نبود. بیشترین حجم ریشه را اکوتیپ‌های مرند و هوراند و وزن خشک ریشه را اکوتیپ‌های اهر و مرند داشتند و سایر اکوتیپ‌ها با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌دار نداشتند و در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۲).

خشکی مقاوم باشند. اول این که افزایش طول ریشه نشان می‌دهد که گیاه دارای قدرت بالا در جذب آب بوده و توانسته است زنده بماند، دوم این که نشان می‌دهد که گیاه با افزایش طول ریشه در شرایط کمبود رطوبت، دامنه فعالیت ریشه برای جذب آب را بالا می‌برد تا بتواند با خشکی احتمالی مقابله کند (Moaveni and Pazoki, 2010). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اکوتیپ‌ها (جدول ۲) در

جدول ۳- مقایسات میانگین اثر متقابل جمعیت و تنش خشکی بر پارامترهای اندازه‌گیری شده در *Ae. Triuncialis*
Table 3- Mean comparison of interaction between ecotypes and drought stress on parameters of *Ae. Triuncialis*

سطوح آبیاری Irrigation level	اکوتیپ Ecotypes	پتانسیل عملکرد کوانتوم F_v/F_m ($m s^{-1}$)	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	وزن خشک بوته Plant dry weight (g)	وزن خشک سنبله Dry weight per spike (g)	شاخص کلروفیل (اسپد) Chlorophyll index	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance ($mmol m^{-2}s^{-1}$)	محتوی آب نسبی RWC (%)
شاهد Normal	Ahar	0.803a	6.66ab	4.96a	0.173bc	54.9cd	44.88d	81.65b
	Meshkin	0.786ab	7.66a	3.47bcd	0.127bc	46.94ijkl	52.10c	54.87ij
	Maku	0.790a	6.56ab	4.07abc	0.398a	53.66de	79.47a	79.41bc
	Marand	0.8000a	8.00a	4.64ab	0.173bc	61.1b	52.40c	75.18d
	Hashtroud	0.797a	8.00a	4.08abc	0.500a	56.7c	66.45b	58.89hi
	Namin	0.780abc	6.66ab	2.77def	0.213b	56.33cd	48.27cd	76.48cd
	Horand	0.803a	6.51ab	2.76def	0.220b	56.05cd	64.97b	88.17a
	Karaj	0.784a	7.61a	3.38cd	0.143bc	66.15a	48.25cd	66.95e
T ₁	Ahar	0.645e	1.66h	2.75def	0.08bc	47.09ijkl	31.65ghi	42.96mn
	Meshkin	0.763abc	2.66efg	0.397ik	0.063cd	42.56mn	33.97fgh	46.09lm
	Maku	0.775abc	2.33efgh	0.987k	0.05de	49.57fghi	39.20e	66.40ef
	Marand	0.770abc	2.00gh	1.62fgh	0.073bc	50.4fgh	28.17i	65.24efg
	Hashtroud	0.760abc	3.66def	1.58fgh	0.113bc	47.57hijk	27.95i	45.68lm
	Namin	0.580f	1.47i	1.01j	0.015de	36.33o	19.75j	41.11n
	Horand	0.773abc	2.93ef	1.04j	0.079bc	48.45ghij	28.65hi	61.81gh
	Karaj	0.773a	1.00i	1.10ij	0.047de	40.88n	38.33ef	62.70fgh
T ₂	Ahar	0.680e	3.33def	3.32cd	0.117bc	48.67ghij	31.55ghi	50.89jk
	Meshkin	0.770abc	3.30def	1.33ghi	0.14bc	44.46lm	18.38j	47.17kl
	Maku	0.76babc	3.66de	1.12hi	0.163bc	50.86fg	34.85efg	66.23ef
	Marand	0.736bc	3.58de	2.49def	0.113c	46.25jkl	31.81ghi	66.92e
	Hashtroud	0.783abc	5.4bc	1.62fgh	0.127bc	49.94fgh	21.12j	47.26kl
	Namin	0.683de	1.83h	2.03fg	0.063cd	45.05klm	19.20j	43.95lmn
	Horand	0.753abc	4.28cd	2.77cde	0.157bc	52.13ef	29.05hi	65.55efg
	Karaj	0.733cd	3.60de	3.19cd	0.110bc	48.92ghij	22.75j	44.74lmn

در هر ستون حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون Lsmeans می‌باشد.

Means followed by the same letters in each column, are non significantly different (P=0.05) according to Lsmeans test.

راندمان کوانتومی فتوسیستم II و شاخص کلروفیل

پتانسیل عملکرد کوانتوم (F_v/F_m) شاخص مناسبی جهت ارزیابی بازدارندگی نوری در گیاهانی است که در معرض تنش‌های محیطی مانند خشکی و گرما همراه با میزان تشعشع زیاد قرار می‌گیرند. همچنین مقدار کلروفیل به‌عنوان پارامتر متاثر تحت تنش می‌باشد. بررسی تغییرات F_v/F_m نشان می‌دهد که میزان راندمان کوانتومی

فتوسیستم II، تحت تاثیر تنش خشکی کاهش یافته است. با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها و معنی‌دار شدن اثر متقابل اکوتیپ × تنش برای پتانسیل عملکرد کوانتوم (جدول ۱) در تیمار T₁ بیشترین کاهش F_v/F_m در جمعیت‌های اهر و نمین مشاهده گردید و سایر جمعیت‌ها اختلاف معنی‌دار با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). در تیمار T₂ جمعیت هشترو بیشترین مقدار F_v/F_m را دارا بود و با جمعیت‌های

T₁ و ۱۰ درصدی در تیمار T₂ (جدول ۴) نشانه کاهش میزان حفاظت نوری بوده و همچنین دلیلی است بر اینکه تنش خشکی بر کارایی فتوسنتز اثر معنی‌دار گذاشته است.

مشکین‌شهر، ماکو و هوراند اختلاف آماری معنی‌دار نداشت و کمترین مقدار این پارامتر مربوط به جمعیت‌های اهر و نمین بود. بیشترین میزان F_v/F_m در سطح شاهد مشاهده شد و با افزایش تنش خشکی از میزان آن کاسته شد. کاهش ۱۳ درصدی نسبت F_v/F_m در تیمار

جدول ۴- میزان کاهش میانگین صفات مورفیز یولوژیک اکوتیپ‌های مختلف *Ae. Triuncialis* در اثر تنش خشکی (درصد)
Table 4- Decreasing percent of traits values for studied ecotypes of *Ae. Triuncialis*

صفات	Traits	Normal	میانگین Mean		درصد تغییر صفت Change percent of trait	
			T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
طول ریشه	Root length (cm)	22.85	30.27	24.83	-32.45	-8.65
حجم ریشه	Root volume (cm ³)	1.97	0.95	1.43	51.6	27.42
وزن خشک ریشه	Root dry weight (g)	0.32	0.20	0.22	37.58	31.8
وزن خشک بوته	Plant dry weight (g)	3.77	1.23	2.04	67.22	45.67
وزن خشک سنبله	Dry weight per spike (g)	0.24	0.06	0.12	74.67	59.66
تعداد دانه در سنبله	Number of grains per spike	7.41	1.56	3.45	78.93	73.91
ارتفاع بوته	Plant length(cm)	44.4	33.9	41.6	23.4	6.30
طول پدانکل	Peduncle length (cm)	14.5	8.70	1.60	40.00	19.80
طول سنبله	Spike length (cm)	5.400	4.200	5.02	23.40	8.56
عملکرد دانه	Grain yield	0.69	0.07	0.18	89.18	73.91
وزن صد دانه	grain 100 weight (g)	1.16	0.18	0.42	84.23	63.23
پتانسل عملکرد کوانتوم (Fv/Fm)	Fv/Fm (ms)	0.80	0.71	0.72	13.75	10.10
شاخص اسپد	Spad index	54.19	53.16	54.12	0.93	0.14
میزان هدایت روزنه‌ای	Stomatal conductance (mmol m ⁻² s ⁻¹)	46.6	46.4	46.3	0.46	0.53
محتوی آب نسبی	RWC (%)	72.7	54	54.09	25.72	25.59

جمعیت‌های ماکو و کرج بیشترین و جمعیت نمین کمترین هدایت روزنه‌ای را دارا بودند و در تیمار T₂ اکوتیپ‌های اهر، ماکو، مرند و هوراند بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای را داشتند (جدول ۲). وقوع تنش رطوبتی موجب کاهش ۲۵ درصدی محتوی نسبی آب برگ در دو سطح تنش مورد مطالعه نسبت به شرایط بدون تنش شد (جدول ۴). با توجه به نتایج جدول مقایسات میانگین اثر متقابل (جدول ۳) در محیط بدون تنش جمعیت هوراند بیشترین و جمعیت‌های مشکین‌شهر و هشتروند کمترین RWC برگ را نشان دادند. در تیمار T₁ اکوتیپ ماکو بیشترین میزان RWC را داشت که با اکوتیپ‌های مرند و کرج بدون اختلاف معنی‌دار بود. اکوتیپ نمین بدون اختلاف معنی‌دار با اکوتیپ اهر کمترین میزان RWC را در این سطح از تنش دارا بود. در

نتایج تجزیه واریانس حاکی از معنی‌دار شدن اثر متقابل اکوتیپ × تنش برای شاخص کلروفیل بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که در اثر تیمار تنش خشکی کاهش در شاخص کلروفیل نسبت به شاهد مشاهده گردید (جدول ۳). اکوتیپ‌های ماکو و مرند بدون اختلاف معنی‌دار با اکوتیپ‌های هشتروند و هوراند بیشترین میزان شاخص کلروفیل در تیمار T₁ را دارا بودند و بیشترین خسارت ناشی از تنش خشکی در اکوتیپ نمین مشاهده شد. در تیمار T₂ اکوتیپ مشکین بدون اختلاف معنی‌دار با اکوتیپ‌های ماکو و نمین کمترین میزان شاخص کلروفیل را داشتند (جدول ۳).

هدایت روزنه‌ای و محتوی نسبی آب برگ (RWC)

میزان هدایت روزنه‌ای تحت تأثیر تنش رطوبتی در تیمارهای T₁ و T₂ در حدود ۵۰/۰ کاهش یافت (جدول ۴). در تیمار T₁

تیمار T2 اکوتیپ‌های ماکو، مرنده و هوراند بیشترین و جمعیت‌های نمین و کرج کمترین میزان RWC را داشتند (جدول ۳).

نتیجه‌گیری

با جمع‌بندی نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، تنش رطوبتی موجب کاهش در اکثر صفات مورفوفیزیولوژیک مورد مطالعه گردید. تنش رطوبتی بعد از گرده‌افشانی و در طول مرحله پر شدن دانه منجر به کاهش عملکرد دانه به‌وسیله اثر منفی بر فعالیت‌های فتوسنتزی به‌صورت کاهش تجمع ذخایر ساقه (کربوهیدرات‌های محلول در آب) می‌شود (Gautam et al., 2011). به دلیل اینکه مواد غذایی به‌صورت محلول در آب جذب گیاه می‌شوند، بنابراین محدودیت در منابع آبی منجر به محدودیت در کلیه منابع غذایی شده و گیاه مجبور به کم کردن رشد رویشی و اتمام زود هنگام مرحله رویشی و شروع مرحله زایشی می‌گردد. در نتیجه، دوره‌ی رشدی، ارتفاع، طول پدانکل، طول سنبله اصلی و عملکرد بیولوژیک کاهش می‌یابد (Mitra, 2001). اکوتیپ‌هایی که دارای ارتفاع بوته بلندتری در مقایسه با سایرین بودند، میزان عملکرد دانه بیشتری نیز داشتند مانند اکوتیپ‌های هشترو، هوراند، مشکین و ماکو. اینز و همکاران (Innes et al., 1985) بیان داشتند در شرایط خشکی پایان فصل ژنوتیپ‌های پابلند، عملکرد دانه بیشتری از ژنوتیپ‌های پاکوتاه داشتند. آنها این امر را به قابلیت بیشتر ژنوتیپ‌های پابلند برای استخراج آب از خاک نسبت دادند. وزن صد دانه تحت تاثیر تنش خشکی کاهش چشمگیری (۸۴/۲۳ درصد کاهش در تیمار T₁ و ۶۳/۲۳ درصد کاهش در تیمار T₂) در کل اکوتیپ‌ها داشت. علت کاهش وزن صد دانه را چنین می‌توان توجیه کرد که قبل از اعمال تنش رطوبتی گیاه تعداد مخازن بیشتری (دانه) تولید کرده و شرایط تنش برای این تیمار تا انتهای دوره‌ی رشد ادامه داشته و با نزدیک شدن گیاه به انتهای دوره‌ی رشد شرایط تنش شدیدتر شده است، بنابراین آب کافی برای پر شدن دانه‌ها وجود نداشته و با بروز تنش نتوانستند این مخازن را به‌خوبی پر کنند در نتیجه وزن دانه‌ها به شدت کاهش پیدا نموده است. تنش رطوبتی باعث کاهش صد درصدی تعداد دانه در سنبله در مقایسه با شاهد در *Ae. searsii* و ۶۹٪ در *Ae. longissima* شد (Gautam et al., 2011). اینکه سنبله‌های بلندتر پتانسیل بیشتری از نظر ایجاد تعداد سنبله‌چ و در نتیجه تعداد دانه‌های بیشتر دارند از اهمیت بالایی برخوردارند، می‌توان در شرایط تنش خشکی اکوتیپ‌های هشترو، هوراند و مشکین را متحمل از نظر تغییر در این صفات نامید.

اکوتیپ‌های هشترو، مرنده، هوراند، البرز و مشکین توانستند در زمان خشکی جهت حفظ بقا با افزایش طول ریشه رطوبت مورد نیاز را از اعماق خاک فراهم کنند. در توجیه افزایش طول ریشه (۳۲/۴۵٪ افزایش در تیمار T₁ و ۸/۶۵٪ افزایش در تیمار T₂) در محیط‌های تحت تیمار تنش رطوبتی می‌توان بیان نمود که با ادامه تنش و قرار گرفتن ریشه در معرض کمبود آب، ریشه جذب آب را از نواحی عمیق‌تر انجام می‌دهد تا بتواند موجبات ادامه حیات را برای گیاه فراهم کند. این امر یکی از دلایل افزایش توسعه و وزن خشک ریشه‌ها و یکی از سازوکارهای تحمل به خشکی است. نتایج لیو و همکاران (Liu et al., 2004) نیز مبنی بر تأیید این نتایج است. تنش خشکی با آسیب رساندن به سیستم فتوسنتزی، با کاهش فتوسنتز و کلروفیل و محدود شدن اختصاصات فتوسنتزی به دانه‌ها در شرایط تنش خشکی موجب کاهش وزن آنها و در نهایت منجر به کاهش عملکرد می‌شود. طبق گزارش گانوم و همکاران (Gautam et al., 2011)، تنش خشکی موجب ۲۶٪ کاهش وزن دانه، ۴۷٪ کاهش در Fv/Fm و ۲۵٪ کاهش در شاخص کلروفیل *Ae. tauschii* شد. خشکی محیط با تاثیر بر هدایت روزنه‌ای سبب کاهش آب درون بافتی برگ‌ها می‌شود (Wang et al., 1997). از طرفی احتمالاً در دسترس بودن CO₂ در کلروپلاست، که عمده‌تاً توسط هدایت روزنه‌ای تنظیم می‌شود، در پاسخ به کمبود آب، به‌عنوان سیگنالی برای تنظیم متابولیسمی در برگ عمل می‌کند و بسته شدن روزنه اولین دلیل کم شدن سرعت فتوسنتز در شرایط خشکی است (Flexas and Medrano, 2002). طبق گزارش پاک‌نژاد و همکاران (Paknejad et al., 2007)، کاهش محتوای آب نسبی برگ و بسته شدن روزنه‌ها اولین تاثیر تنش خشکی بوده که از طریق اختلال در سیستم ساخت مواد فتوسنتزی موجب کاهش میزان عملکرد می‌شود. بالا بودن میزان درصد محتوای آب نسبی در جمعیت‌های مرنده، ماکو و هوراند می‌تواند به دلیل وجود برخی عوامل کم کننده تلفات آب از طریق بستن روزنه‌ها و یا جذب بیشتر آب از طریق گسترش ریشه باشد. دیگر محققان نیز دریافتند که تنش خشکی از طریق تسریع پیری برگ و کاهش دوره پر شدن دانه، از وزن دانه می‌کاهد (Royo et al., 2006). پس اکوتیپ‌های با نسبت بالای Fv/Fm و کاهش کمتر شاخص کلروفیل در شرایط تنش قادر بودند از کاهش عملکرد کمتری برخوردار باشند. به نظر می‌رسد برتری عملکرد اکوتیپ‌های هشترو، هوراند و ماکو در شرایط تنش نسبت به سایر اکوتیپ‌ها به دلیل داشتن ویژگی‌های مهمی چون بلند بودن طول پدانکل، طول ریشه، افزایش حجم ریشه، بالا بودن میزان درصد محتوای آب نسبی و نسبت بالای Fv/Fm باشد.

References

- Ahmadi, A., and Baker, D. A. 2001. The effect of water stress on grain filling processes in wheat. Journal Agriculture Science 136: 257-269.

2. Baalbaki, R., Hajj-Hassan, N., and Zurayk, R. 2006. *Aegilops* species from semiarid areas of Lebanon: Variation in quantitative attributes under water stress. *Crop Science* 46: 799-806.
3. Damania, A. B., Hakim, S., and Moualla, M. Y. 1992. Evaluation of variation in *Triticum dicoccum* for wheat improvement in stress environments. *Hereditas* 116: 163-166.
4. Dulai, S., Molnar, I., Pronay, J., Csernak, A., Tarnai, R., and Molnar-Lang, M. 2006. Effects of drought on photosynthetic parameters and heat stability of PSII in wheat and *Aegilops* species originating from dry habitats. *Acta Biologica Szegediensis* 50 (1-2): 11-17.
5. Flexas, L., and Medrano, H. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plant: Stomatal and non-stomatal limitation revisited. *Annales Botanici Fennici* 89: 183-189.
6. Gautam, P. P., Fritz Allan, K., Kirkham, M. B. K., and Gill, B. 2011. Response of *Aegilops* species to drought stress during reproductive stages of development. *Fundamental for Life: Soil, Crop & Environmental Sciences. International Annual Meetings* 16-19.
7. Gill, B. S., Friebe, B., Raupp, W. J., Wilson, D. L., Stan, C. T., Sears, R. G., Brown-Guedira, G. L., and Fritz, A. K. 2006. Wheat genetics resource center: the first 25 years. *Advances in Agronomy* 89: 73-136.
8. Gooding, M. J., Ellis, R. H., Shewry, P. R., and Schofield, J. D. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on grain filling, drying and quality of water wheat. *Journal of Cereal Science* 37: 295-309.
9. Innes, P., Hoogendoorn, J., and Blackwell, R. D. 1985. Effects of difference in date of early emergence and height on yield of winter Wheat. *Journal of Agricultural Science* 105: 543-549.
10. Ji, X., Shiran, B., Wan, J., Lewis, D. C., Jenkins, C. L. D., Condon, A. G., Richards, R. A., and Dolferus, R. 2010. Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. *Plant Cell and Environment* 33: 926-942.
11. Liu, J. X., Liao, D. Q., Oane, R., Estenor, L., Yang, X. E., Li, Z. C., and Bennett, J. 2006. Genetic variation in the sensitivity of anther dehiscence to drought stress in rice. *Field Crops Research* 97: 87-100.
12. Liu, H. S., Li, F. M., and Xu, H. 2004. Deficiency of water can enhance root respiration rate of drought-sensitive but not drought-tolerance spring wheat. *Agricultural water management* 64 (1): 41-48.
13. Mitra, J. 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plant. *Current Science* 80: 758-763.
14. Moaveni, P., and Pazoki, A. 2010. Investigation of proline changes, cytoplasmic membrane stability, yield and root length in four wheat cultivars under drought stress conditions. *Plant and ecosystem* 6 (21): 59-72. (in Persian).
15. Molnar, I., Gaspar, L., Sarvari, E., Dulai, S., Hoffmann, B., Molnar-Lang, M., and Galiba, G. 2004. Physiological and morphological responses to water stress in *Aegilops biuncialis* and *Triticum aestivum* genotypes with differing tolerance to drought. *Functional Plant Biology* 31: 1149-1159.
16. Paknejad, F., Majidi heravan, E., Noor mohammadi, Qh., Siyadat, A., and Vazan, S. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars *American Journal of Biochemistry and Biotechnology* 5 (4): 162-169.
17. Pierre, C. S., Petersona, J., Rossa, A., Ohma, J., Verhoerena, M., Larsona, M., and Hoefera, B. 2008. White wheat grain quality changes with genotype, nitrogen fertilization, and water stress. *Journal of Agronomy Science* 100 (2): 414-420.
18. Rampino, P., Pataleo, S., Gerardi, C., Mita, G., and Perrotta, C. 2006. Drought stress response in wheat: Physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. *Plant Cell and Environment* 29 (12): 2143-2152.
19. Riaz, R., and Chowdhry, M. A. 2003. Genetic analysis of some economic traits of wheat under drought condition. *Australian Journal of Plant Science* 2 (10): 790-796.
20. Royo, C., Aparicio, N., Blanco, R., and Villegas, D. 2004. Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* 69: 231-233.
21. Royo, C., Alvaro, F., Martos, V., Ramdani, A., Isidro, J., Villegas, D., and Garcia del Mortel, L. F. 2006. Genetic changes in durum wheat yield components and associated traits in Italian and Spanish varieties during the 20th century. *Euphytica* 155: 259-270.
22. Sabagh pour, S. H. 2003. Mechanism of plant tolerance. *Journal of Dry and Saeson Dry* 13: 21-32. (in Persian).
23. Safaee chaeekar, S., Rabiee, B., Sami zaheh, H., and Esfahani, M. 2008. Evaluation of tolerance to terminal drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences* 9 (4): 315-331. (in Persian).
24. 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.
25. Van Slageren, M. W. 1994. Wild wheats: a monograph of *Aegilops* L. and *Amblyopyrum* (jaub. and Spach) Eig (*poaceae*). Wageningen Agricultural University. Wageningen, the Netherland pp: 94-107.
26. Wang, G., Miyashita, N. T., and Tsunewaki, K. 1997. Plasmon analysis of *Triticum* (wheat) and *Aegilops*: PCR-single-strand conformational polymorphism (PCR-SSCR) analyses of organellar DNAs. *Proceeding of National Academy Sciences of the USA* 94: 570-577.

27. Zhang, J., and Davies, W. J. 1989. Absciscic acid produced in dehydrating roots may Enable the plant to measure the water status of the soil. *Plant, Cell and Environment* 12 (1): 73-81.
28. Wade, L. J., Kamoshita, A., Yamauchi, A., and Azhiri-Sigari, T. 2000. Genotypic variation in response of lowland rice to drought and rewatering. I. Growth and water use. *Plant Production Science* 3 (2): 173-179.



Effect of Terminal Water Stress on Grain Yield and Morpho-physiological Traits of *Aegilops triuncialis* Ecotypes

Z. Taghipour^{1*}, R. Asghari-Zakaria²

Received: 29-01-2018

Accepted: 10-03-2019

Introduction

Drought stress is the most important and common environmental stress that annually bring huge damage to crops in the world and especially in Iran, which is considered as an arid and semi-arid country. Nowadays, most plants breeding plans for resistance against drought and preparing resistant species are to achieve favorable yield in arid environments and are based on recognizing morpho-physiological and biochemical traits and involved genes and transforming them to cultivars. There is a genetic diversity regarding resistance against aridity among *Aegilops* species that can be used to improve resistance against aridity in wheat during different stages of reproduction and plant growth.

Materials and Methods

This investigation was performed in green house of Agricultural Faculty in University of Mohaghegh Ardabili on 2011 in order to survey the effects of aridity stress and study the traits related to resistance in eight ecotypes of *Aegilops triuncialis* (ecotypes of Maku, Marand, Hashtrud, Namin, Hurand, Karaj, Meshkin and Ahar). The experiment was performed in three replications as factorial and based on completely randomized design. Different stages of irrigation including full irrigation as control, cutting of irrigation from booting (T_1), (zadoks stage 45) and from 50% spike emergence (T_2) (zadoks stage 55) to maturity were considered as water stress levels. Studied morphological traits include plant height (cm), plant dry weight (g), peduncle length (cm), spike length (cm), number of grains in spike, weight of grains per spike (g), 100 grain weight (g), spike dry weight (g), root length and root mass. Chlorophyll content was measured by SPAD-502 machine. In order to measure fluorescence content of chlorophyll, OSI 30 machine of ADC Bioscientific Company and to measure stomatal conductance leaf porometer (SC-1 model) were used. Data analysis was performed by SAS ver.9.1 software and cutting was done in case of significant interactive effect. Mean comparison was done by Lsmeans test at probability level of 5%.

Results and Discussion

Water stress decreased all evaluated traits especially grain yield (89%). Water stress condition, by damaging photosynthesis system, reduced photochemical efficiency of PS II and chlorophyll index. Stomatal conductance rate reduced by 46% at booting stage and 55% at spike emergence and also decreased relative water content by 26% compared to normal circumstances. Although drought stress application in the experiment decreased grain yield in ecotypes compared to no stress conditions, some ecotypes like Hashtrud, Hurand and Maku could resist stress conditions and showed less grain yield decrease in comparison to the others. Ecotypes of Hashtrud, Marand, Meshkin could supply their necessary moisture from deep soil by increasing their root length. Ecotypes with higher ratio of Fv/Fm and less chlorophyll index decrease under stress condition could have less grain yield decrease. It seems that superiority of Hashtrud, Hurand and Maku ecotypes in stress conditions compared to other ecotypes could be due to these characteristics.

Conclusions

Terminal drought results in reduced growth period, length, peduncle length, main panicle length and also reduced grain yield. Drought stress by damaging photosynthesis system and decreased photosynthesis and chlorophyll and limiting photosynthesis allocations of grains under stress condition decreases their weight and finally their yield.

Keywords: Drought stress, Fluorescence chlorophyll, Grain yield, Stomatal conductance

1- M.Sc. Student of Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Professor, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

(*- Corresponding Author Email: ztaghipour22@yahoo.com)



اثر کود نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد کمی و کیفی کنگد با استفاده از طرح مرکب مرکزی

هدا لطیفی^۱، سرور خرم دل^{۲*}، مهدی نصیری محلاتی^۳، جواد وفابخش^۴، عبدالله ملافیلابی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۲

چکیده

بهینه‌سازی نیتروژن و تراکم یکی از راهکارهای مدیریتی برای حفاظت از منابع و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی محسوب می‌شود. مدل سطح پاسخ (RSM) مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری مورد استفاده برای بهینه‌سازی نهاده‌های تولید به‌شمار می‌آید. در این مطالعه، اثر کود نیتروژن و تراکم بوته کنگد با استفاده از طرح مرکب مرکزی (CCD) برای مدل سطح پاسخ بررسی شد. این آزمایش با ۱۳ تیمار و دو تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ انجام شد. تیمارها بر اساس سطح پایین و بالای تراکم بوته (به‌ترتیب با ۱۰ و ۴۰ بوته در متر مربع) و نیتروژن (به‌ترتیب با صفر و ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) تعیین شدند. ارتفاع بوته، اجزای عملکرد (شامل تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه)، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، درصد روغن، عملکرد روغن، درصد پروتئین و عملکرد پروتئین به‌عنوان متغیر وابسته مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند و تغییرات این متغیرها با استفاده از مدل رگرسیونی ارزیابی شد. به‌منظور ارزیابی کیفیت مدل برازش شده از آزمون عدم برازش استفاده شد. بسندگی مدل با استفاده از آنالیز واریانس مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌طور کلی، معادله چند جمله‌ای درجه دوم کامل برای تعیین معنی‌داری مدل و اجزای مدل (خطی، درجه دو و اثر متقابل) مورد بررسی قرار گرفت. کیفیت مدل برازش شده با استفاده از ضریب تبیین (R^2) ارزیابی شد. نتایج نشان داد که اثر جزء خطی بر تمام صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. اثر جزء درجه دو کامل تمام صفات به‌جز شاخص برداشت، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. اثر متقابل دو عامل نیتروژن و تراکم بوته تنها بر کارایی مصرف نیتروژن، ارتفاع بوته و تعداد کپسول در بوته و درصد پروتئین معنی‌دار بود. آزمون عدم برازش در مورد هیچ‌کدام از صفات معنی‌دار نشد که این امر نشان‌دهنده برازش مطلوب مدل رگرسیون درجه دو کامل بود. بیشترین عملکرد دانه مشاهده شده و برازش شده به‌ترتیب برای تراکم ۲۵ بوته در متر مربع و ۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار و تراکم ۲۵ بوته در متر مربع و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار بود. بیشترین درصد روغن و درصد پروتئین مشاهده شده به‌ترتیب از تراکم ۱۰ بوته در متر مربع و عدم مصرف اوره (۴۶/۶۷ درصد) و ۴۰ بوته در متر مربع و ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار (۲۵/۳۱ درصد) حاصل شد و بالاترین مقادیر مشاهده شده این صفات به‌ترتیب مربوط به تراکم ۱۰ بوته در متر مربع و عدم مصرف اوره (۴۶/۴۹ درصد) و ۴۰ بوته در متر مربع و ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار (۲۵/۰۱ درصد) بود. به‌طور کلی، اثر تراکم بوته بر افزایش عملکرد در سطوح بالای کود نیتروژن افزایش یافت که به‌طور آشکار نشان‌دهنده اهمیت نیتروژن در بهبود عملکرد دانه کنگد می‌باشد. بهینه‌سازی میزان مصرف منابع با استفاده از طرح مرکب مرکزی می‌تواند به‌عنوان راهکاری مطلوب در تولید پایدار کنگد مد نظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آزمون عدم برازش، تولید پایدار، مدل سطح پاسخ

مقدمه

بهبود کارایی سامانه‌ها و افزایش کارایی فرآیندها بدون افزایش هزینه دارای اهمیت بسیاری می‌باشد. روش مورد استفاده بدین

منظور، بهینه‌سازی^۶ نامیده می‌شود. جهت تعیین حد بهینه عوامل کنترل‌کننده رشد، استفاده از مدل‌ها و روابط تجربی ریاضی امری اجتناب‌ناپذیر به‌نظر می‌رسد (Amini, 2007). به منظور دستیابی به عملکرد قابل قبول و کاهش هم‌زمان آلودگی‌های زیست‌محیطی، نهاده‌های مورد استفاده در مزرعه باید بر مبنای عملکرد مورد انتظار به‌صورت بهینه مصرف شوند. یکی از روش‌های آماری برای حصول مقادیر بهینه نهاده‌ها، استفاده از مدلسازی سطح پاسخ^۷ می‌باشد (Aslan, 2007; Kwak, 2005). مدل سطح پاسخ (RSM) مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری مورد استفاده برای بهینه‌سازی نهاده‌های تولید به‌شمار می‌آید (Box and Wilson, 1951; Wang)

۱- دانشجوی دکتری بوم‌شناسی زراعی گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۵- استادیار گروه زیست فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

(*) نویسنده مسئول:

(Email: khorramdel@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v17i3.72836

6- Optimization

7- Response-Surface Methodology

داشتند که افزایش اندازه بنه و تراکم اثر مثبتی بر افزایش عملکرد اقتصادی، قطر بنه، تعداد بنه دختری، تعداد بنه اصلی، تعداد گل و وزن تر گل داشت (Nassiri Mahallati et al., 2015).

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت و تغییر در الگوی غذایی جوامع، مصرف روغن‌های گیاهی نیز در حال افزایش است. لذا با توجه به اینکه بخش زیادی از روغن مورد نیاز کشور از طریق واردات تأمین می‌گردد، افزایش تولید و کیفیت دانه‌های روغنی در داخل کشور بسیار حائز اهمیت می‌باشد (Mohajer, 2017). در بین گیاهان دانه روغنی، کنجد (*Sesamum indicum*) طی سالیان طولانی به‌صورت گسترده‌ای کشت و کار می‌شده است، اما امروزه همانند بسیاری از گیاهان زراعی دیگر نظیر یولاف (*Avena sativa*)، گندم سیاه (*esculentum Fagopyrum*) به دلایلی مثل توجه کمتر به اصلاح خصوصیات ژنتیکی، این گیاهان در مقایسه با گیاهان زراعی غالب بسیار کمتر مورد توجه بوده و لذا کشت و کار این گیاهان در معرض فراموشی قرار گرفته است (Rezvani Moghaddam, 2008). کنجد با نام علمی (*Sesamum indicum* L.) به دلیل محتوی بالای روغن در دانه (۶۰-۵۰ درصد) به‌عنوان ملکه گیاهان دانه روغنی شناخته شده است (Jefferson, 2003; Toan et al., 2010).

نیترژن یکی از عناصر پرمصرف و مؤثر در افزایش تولید گیاهان زراعی است همچنین یکی از مهمترین عناصر غذایی در نظام‌های تولید گیاهی محسوب می‌شود و تحقیقات انجام شده در این ارتباط، بازگوکننده این مطلب هستند که افزایش تولیدات کشاورزی در طی ۵۰ سال گذشته عمدتاً به‌دلیل کاربرد کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیترژن بوده است (Laegreid et al., 1999; Maman et al., 2003). اگرچه نیترژن نقشی اساسی در دستیابی به عملکرد بالای کمی و کیفی در محصولات زراعی دارد، ولی به آسانی از خاک شسته شده و باعث بروز آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود. حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد کود نیترژن اضافه شده به خاک از آن خارج می‌شود و این مقدار با افزایش کاربرد کود نیترژن افزایش می‌یابد (Wenxue et al., 2005). در آزمایشی روی بررسی اثرات مقادیر نیترژن (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و زمان‌های مختلف مصرف نیترژن بر خصوصیات کمی و کیفی کنجد، بهترین تیمار برای عملکرد مربوط به مصرف ۷۵ کیلوگرم نیترژن در هکتار بود و بهترین زمان مصرف در دو مرحله پیش از کاشت و قبل از گلدهی توصیه گردید که افزایش عملکرد به افزایش تعداد کپسول در بوته و افزایش وزن هزار دانه نسبت داده شد (Garshasbi et al., 2011).

یکی دیگر از عوامل مهم و تعیین‌کننده در عملکرد گیاهان زراعی تراکم بوته در واحد سطح است، چرا که در تراکم‌های بیش از تراکم مطلوب، بروز رقابت درون گونه‌ای باعث کاهش عملکرد شده و در تراکم‌های کمتر از حد مطلوب، از امکانات محیطی اعم از نور،

مدل سطح پاسخ یک روش آماری برای بهینه‌سازی چند فاکتور است که با استفاده از ترکیب طرح‌های آزمایشی شرایط بهینه عوامل تولید را تعیین می‌کند (Dean and Voss, 2002). مراحل RSM به‌ترتیب شامل انتخاب متغیرهای مستقل و سطوح آنها، گزینش طرح آماری مناسب، پیش‌بینی و ارزیابی اعتبار مدل و ارائه گرافیکی مدل پیش‌بینی و تعیین سطح بهینه فاکتورهای تحت بررسی می‌باشد. عینی کردن رابطه پیش‌بینی شده مدل برازش شده را می‌توان به‌وسیله نمودار سطح پاسخ انجام داد. سطح پاسخ نموداری سه‌بعدی تئوریک است که رابطه میان پاسخ و متغیرهای مستقل را به نمایش درمی‌آورد.

طرح مرکب مرکزی (Central Composite Design) یکی از انواع طرح‌های آماری برای مدلسازی سطح پاسخ است که به‌عنوان جایگزینی مناسب برای آزمایشات فاکتوریل محسوب می‌شود. این طرح توسط باکس و ویلسون (Box and Wilson, 1951) مطرح و توسط باکس و هانت (Box and Hunter, 1957) تکمیل گردید. با استفاده از طرح مرکب مرکزی می‌توان حداکثر اطلاعات را با استفاده از کمترین اجرا از طریق توزیع نقاط آزمایشی در محدوده مورد نظر استخراج کرد (Mansouri, 2014). طرح مرکب مرکزی به‌عنوان طرحی به‌منظور تعیین مقادیر متغیرهای مستقل برای توصیف تغییرات متغیر وابسته تعریف می‌شود. در این طرح میانگین سطوح فاکتورها به‌عنوان نقطه مرکزی در نظر گرفته می‌شود (Clarke et al., 1997; Kalavathy et al., 2009). کوچکی و همکاران (۱۳۹۲) طی آزمایشی در قالب طرح مرکب مرکزی به‌منظور تعیین بهینه میزان مصرف آب (۱۵۰۰ و ۴۰۰۰ مترمکعب)، کود نیترژن (صفر و ۴۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار) و تراکم (۵۰ و ۱۵۰ بوته در متر مربع) در کشت کلزا (*Brassica napus*) گزارش نمودند که افزایش سطوح آبیاری و کود باعث افزایش عملکرد دانه و تشدید تلفات نیترژن گردید، در صورتی که افزایش تراکم باعث افزایش عملکرد شد و به دلیل افزایش جذب نیترژن، کاهش تلفات آن را به دنبال داشت (Koochehi et al., 2013). منصوری و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی کود نیترژن (۱۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار)، آبیاری (۱۵۰۰ و ۳۵۰۰ مترمکعب) و تراکم (۱۰ و ۱۸ بوته در مترمربع) در گیاه دارویی موسیر ایرانی با استفاده از طرح مرکب مرکزی دریافتند که افزایش کود و سطوح آبیاری باعث افزایش عملکرد غده موسیر و تلفات نیترژن گردید، در صورتی که افزایش تراکم باعث افزایش عملکرد و کاهش تلفات نیترژن شد. در سناریوی اقتصادی-زیست‌محیطی به‌ترتیب معادل ۱۶۹ کیلوگرم کود اوره در هکتار، ۲۰۲۵ مترمکعب آب در هکتار و ۱۷/۷ بوته در مترمربع به‌دست آمد (Mansouri et al., 2014). نصیری محلاتی و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی اثر متقابل تراکم (۵۰ و ۲۵۰ بنه در مترمربع) و وزن بنه (کمتر از ۴ و ۸-۴ گرم) زعفران با استفاده از طرح مرکب مرکزی بیان

هکتار) با مطالعه مقالات درخصوص تاثیر فاکتورهای فوق بر روی گیاه کنجد تعیین شد (جدول ۱). نقطه مرکزی تیمارها (۲۵ بوته در مترمربع و ۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار) پنج بارتکرار شد.

جدول ۱- ضرایب و مقادیر تیمارها بر اساس طرح مرکب مرکزی
Table 1- Rates and coefficients for treatments based on central composite design

تیمارها Treatments		ضرایب* Coefficients*	
تراکم بوته Plant (No.m ⁻²)	سطح کود اوره Nitrogen (kg.ha ⁻¹)	X ₂	X ₁
density	fertilizer		
10	0	-1	-1
40	0	-1	+1
10	100	+1	-1
40	100	+1	+1
10	50	0	-1
40	50	0	+1
25	0	-1	0
25	100	+1	0
25	50	0	0
25	50	0	0
25	50	0	0
25	50	0	0

X₁ و X₂: به ترتیب نشان دهنده متغیرهای مستقل نیتروژن و تراکم بوته هستند.
X₁ and X₂: indicate independent variables of nitrogen and plant density, respectively.

در مرحله آماده سازی زمین و پیش از کاشت، نمونه ای مرکب از خاک مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتی متری به صورت تصادفی تهیه و جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد. نتایج آزمون خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 2- Physical and chemical properties of soil

بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)
لوم سیلتی	7.92	0.58	0.62	0.058	29.2	186

استقرار) و بخش سوم، دو ماه پس از کاشت (در مرحله گلدهی) توزیع شد.

اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و آبیاری های بعدی تا پایان رشد محصول، به شیوه نشتی و با استفاده از سیفون به صورت هفتگی انجام شد. به منظور جلوگیری از اختلاط اثر تیمارهای کودی، انتهای کرت ها مسدود و آبیاری کرت ها به صورت جداگانه انجام شد. وجین علف های هرز از هفته سوم و به صورت مستمر و تا بسته شدن کانوپی گیاهان، به صورت دستی انجام شد. برای حصول تراکم نهایی در هر کرت، تنک شدن در سه مرحله پس از استقرار بوته ها و حصول

فضا، آب و خاک به نحو مطلوب استفاده نشده که در نهایت، سبب کاهش عملکرد می گردد (Martin and Deo, 2000). روی و همکاران (Roy et al., 2009) در بررسی اثر فواصل بین ردیف مختلف (۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی متر) بر عملکرد کنجد مشاهده کردند که عملکرد و اجزای عملکرد با افزایش فاصله بین بوته از ۱۵ به ۳۰ سانتی متر افزایش یافت. بالاسوبرامانیان و همکاران (Balasubramaniyan et al., 1995) گزارش کردند که تراکم بوته بر رشد و عملکرد کنجد تأثیر دارد، به طوری که تراکم زیاد موجب افزایش ارتفاع بوته و کاهش شاخه دهی و تعداد کپسول در بوته شد. با توجه به آنچه گفته شد، هدف از اجرای این تحقیق بررسی اثر کود نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد کمی و کیفی کنجد با استفاده از طرح مرکب مرکزی در شرایط آب و هوایی مشهد بود.

مواد و روش ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا با دو تکرار اجرا شد. تعداد تیمارهای طراحی شده در طرح مرکب مرکزی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Aslan, 2007; Box and Hunter, 1957).

$$t = 2^k + 2k + r \quad (1)$$

در این معادله، k: نشان دهنده تعداد فاکتور و r: تعداد تکرار تیمار در سطح میانگین می باشد. بر این اساس، ترکیب تیمارهای آزمایشی با توجه به سطوح بالا و پایین تراکم (۱۰ و ۴۰ بوته در مترمربع) و سطوح بالا و پایین کود نیتروژن (۰ و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در

بذر مورد استفاده جهت کاشت قبل از شروع آزمایش از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی تهیه شد. بذر لاین شماره پنج، در گروه متوسط رس قرار دارد. این لاین، چند شاخه، کم کرک، بذر قهوه ای رنگ و محتوی روغن حدود ۴۹ درصد می باشد. پس از آماده سازی زمین، عملیات کاشت دستی در ۴ خرداد ماه در عمق ۳-۲ سانتی متری انجام شد. کود نیتروژن مصرفی (به صورت کود اوره با ۴۶ درصد نیتروژن) برای هر کرت و بر اساس جدول ۱ به سه قسمت مساوی تقسیم شد که یک سوم آن در زمان کاشت اعمال گردید. بخش دوم کود نیتروژن یک ماه پس از کاشت (در مرحله

۲۰ درصد، خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد، متوسط و بالاتر از ۳۰ درصد، ضعیف برآورد می‌شود (Koocheki et al., 2016). در نهایت، مقادیر بهینه کاربرد کود نیتروژن و تراکم کاشت کنجد برای حصول پاسخ عملکرد دانه و درصد روغن مورد بررسی قرار گرفت. جهت تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزار ver.17 Minitab استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه دو کامل برای هر کدام از متغیرهای وابسته شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد روغن، عملکرد روغن، عملکرد پروتئین، اجزای عملکرد شامل تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه کنجد در جدول ۳ ارائه شده است.

نتایج نشان داد که اثر خطی بر تمام صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. اثر جزء درجه دو کامل تمام صفات به‌جز تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. اثر متقابل دو عامل نیتروژن و تراکم بوته تنها بر تعداد کپسول در بوته و درصد پروتئین معنی‌دار بود. آزمون عدم برازش در مورد هیچ‌کدام از صفات معنی‌دار نشد که این امر نشان‌دهنده برازش مطلوب مدل رگرسیون درجه دو کامل می‌باشد. مقدار پایین RMSE نشان‌دهنده برازش خوب مدل می‌باشد (جدول ۳).

آنالیز رگرسیون و ضریب تبیین برای برازش روابط بین متغیرهای نیتروژن و تراکم بوته با هریک از متغیرهای وابسته در جدول ۴ ارائه شده که نمودارهای سطح پاسخ بر اساس این ضرایب به‌دست آمده است.

مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد روغن، عملکرد روغن، عملکرد پروتئین، اجزای عملکرد شامل تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه کنجد در جدول ۵ نشان داده شده است.

نتایج سطح پاسخ اثر تراکم بوته و نیتروژن بر اجزای عملکرد نشان داد که با افزایش تراکم، موجب کاهش تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه گردیده است. همچنین با افزایش تراکم تا ۲۵ بوته در مترمربع، عملکرد دانه ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت (شکل ۱).

نتایج نشان داد بیشترین عملکرد دانه مشاهده شده و پیش‌بینی شده با ۱۳۲۰/۵۲ و ۱۲۷۲/۴۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب برای تراکم ۲۵ بوته در متر مربع و ۵۰ کیلو گرم کود اوره در هکتار و تراکم ۲۵ بوته در متر مربع و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار به‌دست آمد و کمترین عملکرد دانه مشاهده شده و پیش‌بینی شده ۹۰۴/۵۵ و

اطمینان از سبز شدن مناسب بوته‌ها انجام گردید. برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد (شامل تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه) از هر کرت در انتهای فصل رشد و هم‌زمان با رسیدگی بوته‌ها، ۵ بوته به‌صورت تصادفی در هر کرت انتخاب و صفات فوق‌الذکر شمارش و ثبت شد. برداشت محصول در مرحله رسیدگی کپسول‌ها و هم‌زمان با زرد شدن بوته‌ها در ۱۱ مهرماه انجام شد. پس از حذف حاشیه‌های نیم‌متری کرت‌ها، برداشت از سه متر مربع (۱/۵×۲ متر) انتهای هر کرت انجام شد. در هنگام برداشت، در سطح مذکور کلیه بوته‌ها از محل طوقه توسط داس جدا شد. پس از خشک شدن بوته‌ها، دانه با استفاده از الک از کاه و کلش، کاملاً جدا و تمیز شد. دانه‌های برداشت شده به‌طور جداگانه با ترازوی دقیق توزین شدند. جهت اندازه‌گیری درصد روغن دانه از دستگاه سوکسله استفاده شد. عملکرد روغن نیز از حاصلضرب عملکرد دانه در درصد روغن هر تیمار محاسبه گردید. برای تعیین نیتروژن و پروتئین خام از دستگاه میکروکجلدال خودکار استفاده شد. سپس نیتروژن دانه در ضریب ۶/۲۵ ضرب شد و عدد حاصل به‌عنوان پروتئین مد نظر قرار گرفت (AOAC, 1990). عملکرد پروتئین از حاصلضرب عملکرد دانه در درصد نیتروژن دانه هر تیمار به‌دست آمد.

به‌منظور انتخاب مدل مناسب، مدل درجه دو کامل^۱ به همراه اجزای آن (خطی، درجه ۲ و اثر متقابل) با اثرات متقابل بین فاکتورها برازش داده شد (رابطه ۲). سپس بر اساس معیارهای آماری تجزیه رگرسیون (مقادیر F ، P و R^2) و آزمون عدم برازش^۲ بهترین مدل انتخاب و از این مدل برای بهینه‌سازی استفاده گردید (Koocheki et al., 2016; Koocheki et al., 2013).

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1^2 + a_4x_2^2 + a_5x_1x_2 \quad (2)$$

در این معادله، Y : متغیر وابسته (که پاسخ به عملکرد دانه، بیولوژیک و سایر صفات تحت بررسی بودند)، x_1 : متغیر مستقل کود نیتروژن، x_2 : متغیر مستقل تراکم و a_5 تا a_1 : ضرایب معادله می‌باشند. در نهایت، نتایج پیش‌بینی با داده‌های مشاهده شده مورد مقایسه قرار گرفتند و اعتبار مدل‌های رگرسیون با استفاده از جذر میانگین مربعات خطا^۳ انجام شد (رابطه ۳).

$$RMSE (\%) = \frac{100}{\bar{O}} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (3)$$

که در این معادله، $\bar{O}$: میانگین مشاهدات، P_i : مقادیر پیش‌بینی شده و O_i : مقادیر مشاهده شده می‌باشد.

RMSE به‌صورت درصد اختلاف نسبی مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر واقعی بیان می‌شود و براساس تعریف، قدرت پیش‌بینی مدل در صورتی که RMSE کمتر از ۱۰ درصد باشد، عالی، بین ۱۰ تا

- 1- Full quadratic regression
- 2- Lack of-fit
- 3- RMSE: Root mean square error

۹۱۰/۶۸ کیلوگرم در هکتار برای تراکم ۴۰ بوته در متر مربع و ۵۰ کیلو گرم کود اوره در هکتار به دست آمد (جدول ۵).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات مدل رگرسیونی درجه دو کامل
Table 3- Analysis of variance of the full quadratic regression model

منابع تغییر S.O.V.	درجه d.f	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	وزن هزار دانه 1000-seed weight	کپسول Seed number per capsule	تعداد کپسول در بوته Capsule number per plant	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	درصد پروتئین Protein content	عملکرد پروتئین Protein yield
مدل Model	6	915263**	79835**	0.145556**	14.6200**	1547.62**	13.3280**	17780.3**	5.6696**	5761.5**
تکرار Replication	1	66**	1100**	0.006154**	0.15**	0.15**	12.2547**	2759.6*	0.0424**	41.3**
خطی Linear	2	1565937**	147573**	0.416667**	42.0833**	4439.08**	23.7513**	44089.2**	9.0135**	5686.3**
تراکم Density	1	3044012**	292459**	0.270000**	14.0833**	8694.08**	31.7092**	87680.7**	8.9269**	9121.5**
نیتروژن Nitrogen	1	87862**	2688**	0.563333**	70.0833**	184.08**	15.7934**	497.6**	9.1002**	2251**
درجه ۲ Square	2	1175793**	91121**	0.011300**	1.6373**	200.63**	9.9646**	7871.6**	7.4041**	11349.3**
تراکم × نیتروژن Density × Nitrogen	1	2100814**	166720**	0.21281**	3.2516**	357.34**	18.9052**	14361.1**	14.3781**	21070.7**
نیتروژن × نیتروژن Nitrogen × Nitrogen	1	7948**	1628**	0.007947**	0.2993**	1.15**	0.5195**	127.2**	0.7026**	323.8**
اثر متقابل Interaction	1	8052**	519**	0.011250**	0.1250**	6.13*	0.2813**	0.9**	1.1400*	456.6**
تراکم × نیتروژن Density × Nitrogen	1	8052**	519**	0.011250**	0.1250**	6.13*	0.2813**	0.9**	1.1400*	456.6**
خطا Error	19	31012	3026	0.010796	0.7597	0.93	0.5875	603.2	0.2243	219.6
عدم برازش Lack of-fit	11	36218**	3859**	0.014284**	0.6940**	1.03**	0.6185**	747.8**	0.1504**	254.4**
خطای خالص Pure error	8	23854	1880	0.006000	0.8500	0.8	0.5449	404.3	0.3261	171.8
RMSE (%)	—	2.37	2.72	2.47	1.92	0.59	0.99	2.78	1.51	3.28

ns و **: به ترتیب نشان دهنده غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد است.
ns, * and ** represent non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- ضرایب رگرسیون و تبیین برای مدل درجه دو کامل: $Y=a_0+a_1X_1+a_2X_2+a_3X_1^2+a_4X_2^2+a_5X_1X_2$

	مقادیر ضرایب Coefficient values						R ²
	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	
عملکرد بیولوژیک Biological yield	2793	105.6	1.25	-2.741	0.0152	-0.0423	90.31
عملکرد دانه Seed yield	1006.5	28.74	-0.12	-0.772	0.00687	-0.0107	89.28
وزن هزار دانه 1000-seed weight	2.940	0.0063	0.00407	-0.000276	0.000015	-0.000050	80.98
تعداد دانه در کپسول Seed number per capsule	29.14	0.1066	0.0432	-0.00341	0.000093	-0.000167	85.87
تعداد کپسول در بوته Capsule number per plant	104.17	-0.654	0.0309	-0.03575	0.000183	0.001167	99.81
درصد روغن Oil percentage	50.983	-0.532	-0.0169	0.00822	-0.000123	0.000250	87.75
عملکرد روغن Oil yield	532.9	5.61	-0.332	-0.2266	0.00192	0.0005	89.23
درصد پروتئین Protein content	17.846	0.4412	0.0157	-0.007170	0.000143	-0.000503	88.86
عملکرد پروتئین Protein yield	164.9	12.39	0.22	-0.2745	0.00306	-0.01007	89.23

X₁ و X₂: به ترتیب نشان دهنده متغیرهای مستقل تراکم بوته و نیتروژن هستند.X₁ and X₂: indicate independent variables of nitrogen and plant density, respectively.

جدول ۵- مقایسه مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده عملکرد کنگد تحت تأثیر سطوح نیتروژن و تراکم بوته

Table 5- Comparison of observed and predicted values of sesame yield as affected by nitrogen and plant density levels

تیمار Treatment		عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha ⁻¹)		عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)		وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)		تعداد دانه در کپسول Seed number per capsule		تعداد کپسول در بوته Capsule number per plant		درصد روغن Oil percentage		درصد پروتئین Protein percentage	
X ₁	X ₂	مشاهده شده Observed	پیش بینی شده Predicted	مشاهده شده Observed	پیش بینی شده Predicted	مشاهده شده Observed	پیش بینی شده Predicted	مشاهده شده Observed	پیش بینی شده Predicted	مشاهده شده Observed	پیش بینی شده Predicted	مشاهده شده Observed	پیش بینی شده Predicted	مشاهده شده Observed	پیش بینی شده Predicted
		Observed	Predicted	Observed	Predicted	Observed	Predicted	Observed	Predicted	Observed	Predicted	Observed	Predicted	Observed	Predicted
10	0	3574.11	3574.9	1231.62	1216.7	3	2.98	30.5	29.87	100	99.94	46.67	46.49	21.32	21.54
40	0	2611.21	2631.4	913.92	920.9	2.65	2.75	28	27.95	44	44.35	43	42.86	23.97	24.02
10	100	3850.66	3809.6	1296.55	1262.7	3.55	3.48	35.5	34.95	106	106	43.68	43.82	24.17	24.04
40	100	2760.85	2739.2	946.62	934.8	3.05	3.11	32.5	32.53	53.5	53.94	40.77	40.94	25.31	25.01
10	50	3612.64	3654.25	11731.61	1222.53	3.1	3.19	31	32.17	102.5	102.5	45.41	45.46	22.52	22.43
40	50	2643.43	2647.3	904.55	910.68	3.05	2.89	30	30.01	49.5	48.69	42.24	42.2	23.92	24.16
25	0	3739.06	3719.88	1233.89	1242.5	3	2.93	29	29.67	80.5	80.19	42.5	42.82	24.67	24.39
25	100	3826.28	3891.13	1226.07	1272.45	3.35	3.36	34	34.51	88.5	88.03	40.83	40.53	25.71	26.14
25	50	3733.74	3767.5	1232.13	1240.3	3.1	3.1	32.5	31.86	83	83.65	40.89	41.98	25.84	24.91
25	50	3999.64	3767.5	1320.52	1240.3	3.05	3.1	32.5	31.86	83.5	83.65	41.87	41.98	24.99	24.91
25	50	3742	3767.5	1222	1240.3	3.05	3.1	32.5	31.86	83.5	83.65	42.57	41.98	24.78	24.91
25	50	3791.5	3767.5	1243.4	1240.3	3.05	3.1	31	31.86	84.5	83.65	41.93	41.98	24.82	24.91
25	50	3611.92	3767.5	1237	1240.3	3.05	3.1	32	31.86	83	83.65	42.66	41.98	24.29	24.91

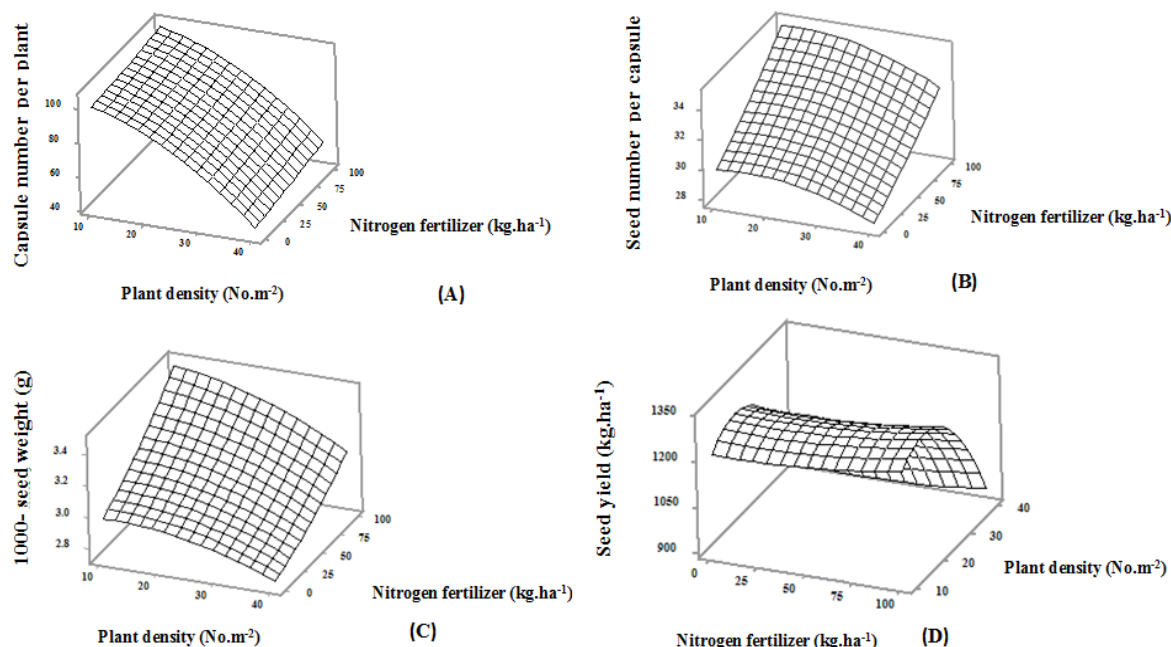
X₁ و X₂: به ترتیب نشان دهنده متغیرهای مستقل تراکم (بوته در مترمربع) و نیتروژن (کود اوره در هکتار) هستند.X₁ and X₂: indicate independent variables such as nitrogen and plant density, respectively.

نیتروژن این صفات افزایش یافت (شکل ۱). نتایج احمدی و بحرانی (Ahmadi and Bahrani, 2009) نشان داد که تأثیر نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد کنگد به جز وزن هزار دانه معنی دار بود. کاربرد بیش از حد از نیتروژن باعث کاهش کارایی مصرف نیتروژن می شود. گزارش شده است که کمتر از ۳۳ درصد نیتروژن مصرفی

همچنین نتایج نشان داد اثر نیتروژن بر عملکرد معنی دار نشد، اما اجزای عملکرد را به طور معنی داری تحت تأثیر قرار داد و در بین اجزای عملکرد فقط اثرات متقابل کود نیتروژن و تراکم بر تعداد کپسول در بوته معنی دار شد (جدول ۳). نتایج سطح پاسخ اجزای عملکرد به تراکم بوته و نیتروژن نشان داد که با افزایش مصرف

گلخانه‌ای می‌شود (Shindo et al., 2009).

توسط گیاه جذب می‌شود، در حالی که باقیمانده از دسترس خارج شده و باعث تشدید بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی نظیر انتشار گازهای

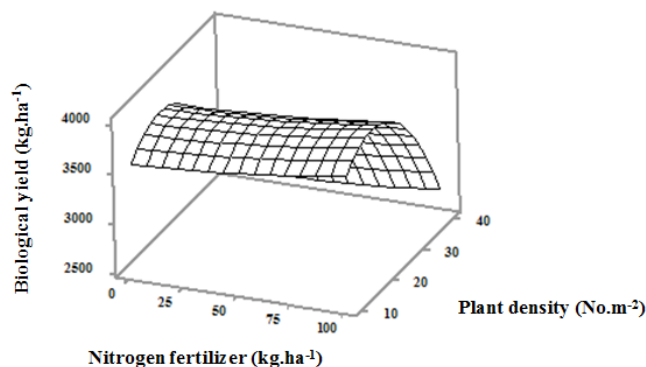


شکل ۱- مدل سطح پاسخ تعداد کپسول در بوته (الف)، تعداد دانه در کپسول (ب)، وزن هزار دانه (ج) و عملکرد دانه (د) کنجد تحت تأثیر سطوح تراکم و کود نیتروژن

Figure 1- Response surface model for capsule number per plant (A), seed number per capsule (B), 1000-seed weight (C) and seed yield (D) of sesame affected as plant density and nitrogen fertilizer

نتایج به‌دست آمده برای عملکرد بیولوژیک مشابه عملکرد دانه است، به‌نظر می‌رسد در تراکم ۲۵ بوته در مترمربع که شرایط بهتری برای رشد بوته‌ها اعم از نور، فضا و عناصر غذایی فراهم شده است که در نتیجه نسبت به تراکم‌های بالاتر شاخه‌زایی مطلوب‌تری انجام شده و موجب افزایش عملکرد بیولوژیک بالاتر شده است. همچنین افزایش مصرف کود اوره تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار به دلیل تحریک رشد رویشی باعث افزایش عملکرد بیولوژیک گردید.

نتایج نشان داد بیشترین عملکرد بیولوژیک مشاهده شده و پیش‌بینی شده به‌ترتیب با ۳۹۹۹/۶۴ و ۳۸۹۱/۱۳ کیلوگرم در هکتار در تراکم ۲۵ بوته در متر مربع و ۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار و تراکم ۲۵ بوته در متر مربع و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵). نتایج سطح پاسخ عملکرد بیولوژیک به تراکم بوته و نیتروژن نشان داد با افزایش تراکم تا ۲۵ بوته در متر مربع، عملکرد بیولوژیک ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت ولی افزایش مصرف نیتروژن، بهبود عملکرد بیولوژیک را موجب گردید (شکل ۲).



شکل ۲- مدل سطح پاسخ عملکرد بیولوژیک کنجد تحت تأثیر سطوح تراکم و کود نیتروژن

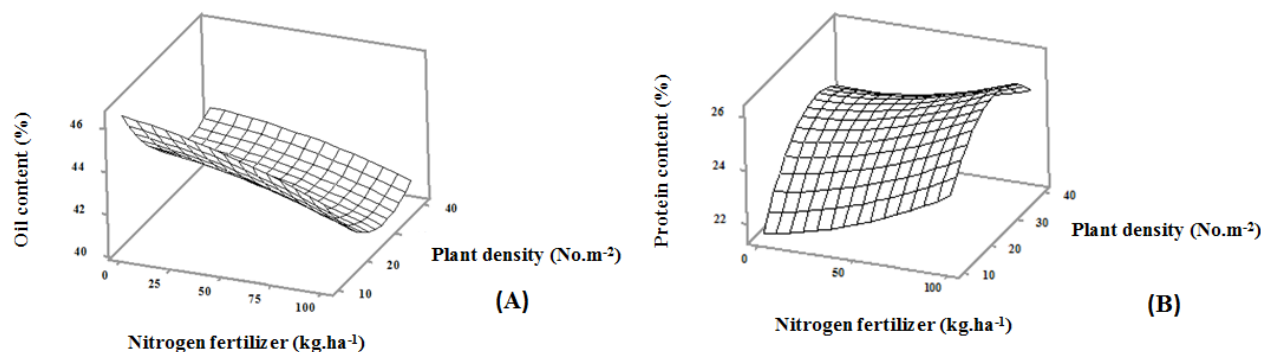
Figure 2- Response surface model for biological yield of sesame affected as plant density and nitrogen fertilizer

رضوانی مقدم و همکاران (۱۳۸۴) گزارش کردند که افزایش تراکم کنبج از ۲۰ به ۵۰ بوته در مترمربع تأثیر معنی‌داری بر ماده خشک تک بوته داشت؛ به‌طوری‌که با افزایش تراکم، ماده خشک تک بوته کاهش یافت (Rezvani Moghaddam, 2008). قوش و پاتر (Ghosh and Patar, 1994) و اوسی بانسو (OseiBonsu, 1977) نیز طی مطالعات مختلف روی اثر تراکم در کنبج بیان داشتند که بیشترین میزان ماده خشک تک بوته در تراکم‌های پایین به‌دست آمد. آن‌ها علت این امر را وجود رقابت شدید بین گیاهان، کاهش دسترسی به منابع، کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش تولید ماده خشک در تراکم‌های بالا ذکر کردند. کالسیکان و همکاران (Caliskan et al., 2004)، چیمان‌شیت و دوپل (Chimanshette and Dhoble, 1992) و ماجومادر و روی (Majumdar and Roy, 1992) گزارش نمودند که در کنبج با افزایش تراکم بوته در واحد سطح، عملکرد دانه افزایش پیدا کرده، نتایج این آزمایش نیز نشان داد که با افزایش تراکم از ۱۰ به ۲۵ بوته در مترمربع عملکرد دانه افزایش و سپس با افزایش بیشتر تراکم، مقدار آن کاهش یافت که با نتایج تحقیقات بهروز و همکاران (Behrooz et al., 2010) مطابقت نداشت. بیشترین عملکرد دانه در آزمایشات فوق در تراکم‌های ۴۰ و ۵۰ بوته در متر مربع به‌دست آمد اما با نتیجه تحقیق پاپری مقدم فرد و بحرانی (PapariMoghaddam Fard and Bahrani, 2005) که تراکم‌های ۱۰، ۱۶/۶ و ۲۵ بوته در مترمربع را مورد آزمایش قرار دادند، مطابقت داشت. همچنین شارما و همکاران (Sharma, 2005) نیز گزارش نمودند که بین تراکم‌های ۳۰۰ و ۶۰۰ هزار بوته در هکتار اختلاف معنی‌داری در عملکرد دانه کنبج به وجود نیامد. رقم کشت شده در تحقیق حاضر رقم چند شاخه است که احتمالاً در تراکم‌های کمتر به دلیل وجود فضای کافی رشد رویشی بیشتری صورت گرفته و ماده خشک بیشتری برای شاخه‌زایی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. همچنین در تراکم‌های پایین، رقابت کمتری برای جذب آب و عناصر غذایی بین بوته‌ها وجود دارد. از سوی دیگر، در تراکم‌های کم به دلیل رقابت کمتر و نفوذ نور بیشتر، گل‌های بیشتری تبدیل به کپسول شده و در نهایت، تعداد کپسول باقی‌مانده در زمان برداشت نیز بیشتر گردید. در تراکم‌های بالا نفوذ نور به درون کانوبی کاهش یافته که سبب ایجاد محدودیت در نفوذ نور به پایین بوته گردید و بنابراین، تعداد کمتری کپسول در گره‌های پایین گیاه تشکیل شده و گاهی گره‌های پایین بدون کپسول بودند. در تراکم ۲۵ بوته در مترمربع، فضای کافی و مطلوبی برای رشد و ایجاد شاخه فراهم شد و موجب گردد که بیشترین عملکرد حاصل گردد.

نتایج سطح پاسخ درصد روغن کنبج به تراکم بوته و نیتروژن نشان داد که با افزایش تراکم، درصد روغن ابتدا کاهش، سپس افزایش یافت ولی با افزایش نیتروژن، درصد روغن روند کاهشی نشان داد (شکل ۳-الف). نتایج سطح پاسخ درصد پروتئین کنبج به تراکم بوته و نیتروژن نشان داد با افزایش تراکم درصد پروتئین افزایش و سپس کاهش یافت و با افزایش میزان مصرف نیتروژن روند افزایشی برای درصد پروتئین مشاهده شد (شکل ۳-ب). همچنین نتایج نشان داد بیشترین درصد روغن مشاهده شده و پیش‌بینی شده به‌ترتیب با ۴۶/۶۷ و ۴۶/۴۹ درصد در تراکم ۱۰ بوته در متر مربع و عدم مصرف نیتروژن به‌دست آمد و بیشترین درصد پروتئین مشاهده شده و پیش‌بینی شده به‌ترتیب با ۲۵/۳۱ و ۲۵/۰۱ درصد در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار حاصل شد (جدول ۵) و اثر متقابل تراکم و کود نیتروژن بر درصد پروتئین معنی‌دار بود (جدول ۳).

آن‌چنان‌که انتظار می‌رود در اثر افزایش کود نیتروژن، درصد روغن کاهش یافت چرا که با کاربرد نیتروژن درصد پروتئین دانه افزایش می‌یابد و کاربرد نیتروژن باعث ورود ترکیبات نیتروژنه (نظیر آمیدها و آمین‌ها) بیشتری به بذر شده که برای تولید پروتئین‌ها با استفاده از اسکلت کربنی حاصل از ساکارز مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نتیجه کربن کمتری برای تولید روغن در دانه باقی می‌ماند که باعث کاهش درصد روغن دانه می‌شود (Babaei Abarghouei, 2016). نتایج حقانیان و همکاران (Haghanian et al., 2016) و شارما (Sharma et al., 1998) بر روی گیاه کنبج و نتایج چائوهان و همکاران (Chauhan et al., 1993) بر روی گیاه کلزا موبد این مطلب است.

مقادیر بهینه کاربرد کود نیتروژن و تراکم کاشت کنبج برای حصول پاسخ عملکرد دانه و درصد روغن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که کاربرد ۲۲ کیلوگرم کود اوره در هکتار و تراکم ۱۴ بوته در متر مربع باعث تولید ۱۲۵۰ کیلوگرم دانه در هکتار با ۴۲ درصد روغن می‌شود. مقدار شاخص مطلوبیت بهینه‌سازی ($0 < DI \leq 1$) یک به‌دست آمد که نشان‌دهنده نتایج قابل قبولی برای سطوح پاسخ تحت تأثیر متغیرهای مستقل می‌باشد. لازم به ذکر است که هرچه این شاخص به یک نزدیکتر باشد نشان‌دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی مقدار متغیرهای وابسته تحت تأثیر متغیرهای مستقل می‌باشد (Kalavathy et al., 2009).



شکل ۳- مدل سطح پاسخ درصد روغن (الف) و درصد پروتئین (ب) کنجد تحت تأثیر سطوح تراکم و کود نیتروژن
Figure 3- Response surface model for Oil content (A) and Protein content (B) of sesame affected as plant density and nitrogen fertilizer

نتیجه گیری

همچنین مصرف بیش از مقادیر ذکر شده نهاده‌ها برای حصول بالاترین عملکرد دانه و روغن کنجد (تراکم ۲۵ بوته در مترمربع و ۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار البته با توجه به نیتروژن موجود در خاک مزرعه) فقط باعث افزایش هزینه‌ها و آلودگی زیست‌محیطی می‌گردد. همچنین بر مبنای نتایج بهینه‌سازی کاربرد کود نیتروژن و تراکم کاشت کنجد برای حصول پاسخ بررسی و عملکرد دانه و محتوی روغن دانه به‌عنوان شاخص اقتصادی، به نظر می‌رسد مصرف منابع با توجه به مقادیر بهینه‌سازی شده می‌تواند به‌عنوان مناسب‌ترین سطوح مصرف کود نیتروژن و تراکم بوته با توجه به شرایط مطالعه شده در نظر گرفته شوند و کاربرد ۲۲ کیلوگرم کود اوره در هکتار و تراکم ۱۴ بوته در مترمربع باعث تولید ۱۲۵۰ کیلوگرم دانه در هکتار با ۴۲ درصد روغن می‌شود.

برای دستیابی به تولید پایدار محصولات زراعی، توجه به اصول اولیه بهبود مدیریت انرژی، کارایی مصرف منابع و جلوگیری از هدر رفت نهاده‌ها بر مبنای استفاده از مدل‌های آماری همچون طرح مرکب مرکزی امری اجتناب‌ناپذیر به‌نظر می‌رسد. نتایج این مطالعه روی اثر کود نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد کمی و کیفی کنجد با استفاده از طرح مرکب مرکزی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۱۳۲۰/۵۲ کیلوگرم در هکتار) در تراکم ۲۵ بوته در مترمربع و مصرف ۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار به‌دست آمد که به‌نظر می‌رسد در این تراکم پوشش گیاهی توانسته از نور خورشید، آب و کود اوره مصرف شده، بیشترین استفاده را نماید و همچنین با توجه به رشد کند کنجد در مراحل اولیه رشد، گیاه کنجد در تراکم مذکور توانسته بر رشد علف‌های هرز پیشی گرفته و استفاده مناسبی از منابع نموده است.

References

- Ahmadi, M., and Bahrani, M. 2009. Effect of nitrogen fertilizer on yield and yield components of three sesame cultivars in Bushehr province. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 48: 123-131. (in Persian with English abstract).
- Amini, M. 2007. Optimization the conditions for extraction of hydrocolloid compounds of Ballengo-Shirazi seed and studying the effect of its addition on rheological properties and bulk bread quality compared to Gazanthan gum. M.Sc. Thesis, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. Iran. (in Persian with English abstract).
- AOAC. 1990. Official methods of analyses. Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC.
- Aslan, N. 2007. Application of response surface methodology and central composite rotatable design for modeling the influence of some operating variables of a Multi-ravity Separator for coal cleaning. Fuel 86: 769-776.
- Babaei Abarghouei, G. H. 2016. Effects of sowing date and integrative nitrogen application on nitrogen efficiency, yield and quality criteria of sesame. Ph.D. Thesis, College of agriculture, University of Ferdowsi. Mashhad. Iran. (in Persian with English abstract).
- Balasubramanian, P., Gnanamurthy, P., and Dharmalingam, V. 1995. Response of irrigated sesame varieties to planting density and nitrogen. Sesame and Safflower Newsletter 10: 59-6.
- Behrooz, Z., Khodabandeh, N., Madani, H., and Shirzadi, M. H. 2010. Study of bush accumulation and division of nitrogen fertilizer on agronomic characteristic of local sesame Jiroft area. New Finding in Agriculture 4 (2): 91-99. (in Persian with English abstract).
- Box, G. E. P., and Hunter, J. S. 1957. Multi-factor experimental designs for exploring response surfaces. The Institute of Mathematical Statistics. p. 195-241.

9. Box, G. E. P., and Wilson, K. B. 1951. On the experiment attainment of optimum conditions. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology) 13: 1-45.
10. Caliskan, S., Arslan, M., Arioglu, H., and Isler, N. 2004. Effect of planting method and plant population on growth and yield of sesame in a Mediterranean type of environment. Asian Journal of Plant Sciences 3: 610-613.
11. Chauhan, A. K., Manak, S., and Daolhowal, B. K. 1993. Effect of nitrogen level and row spacing of performance of rape (*Brassica napus* L.). Indian Journal of Agricultural Sciences 37: 851-853.
12. Chimanshette, T., and Dhoble, M. 1992. Effect of sowing date and plant density on seed yield of sesame varieties. Indian Journal of Agronomy 37: 280-282.
13. Clarke, G. M., and Kempson, R. E. 1997. Introduction to the Design and Analysis of Experiments. Arnold, London. 334p.
14. Dean, A., and Voss, D. 2002. Design and Analysis of Experiments. Springer Texts in Statistics. New York.
15. Garshasbi, M., Dadnia, M. R., and Rafie, M. R. 2011. Evaluating the effects of amounts and different times of nitrogen consumption on quantitative and qualitative traits in sesame (*Sesamum indicum* L.) in Behbahan Province. Crop Physiology Journal 9 (3): 95-123. (in Persian with English abstract).
16. Ghosh, D. C., and Patar, A. K. 1994. Effect of plant density and fertility levels on productivity and economic of summer sesame. Indian Journal of Agronomy 39: 71-75.
17. Haghanian, S., Yadavi, A., Balouchi, H. R., and Moradi, A. 2016. Grain, oil yield and nitrogen use efficiency in different varieties of sesame (*Sesamum indicum* L.) under nitrogen fertilizer and weed competition. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 26 (1): 67-81. (in Persian with English abstract).
18. Jefferson, T. 2003. Sesame a High Value Oil Seed. Growing Sesame Production Tips, Economics and Mare.Htm, p. 1-4.
19. Kalavathy, H. M., Regupathib, I., Pillai, M. G., and Miranda, L. R. 2009. Modeling, analysis and optimization of adsorption parameters for H_3PO_4 activated rubber wood sawdust using response surface methodology (RSM). Colloids and Surfaces B: Bionterfaces 70: 35-45.
20. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Amiri, M. B., and Fallah Poor, F. 2016. Optimization of nitrogen fertilizer and irrigation in wheat cultivation by central composite design. Journal of Agroecology (in press). (in Persian with English abstract).
21. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R., and Mansouri, H. 2013. Optimization of water, nitrogen and density in canola cultivation by central composite design. Journal of Agroecology 3 (1): 1-16. (in Persian with English abstract).
22. Kwak, J. S. 2005. Application of taguchi and response surface methodologies for geometric error in surface grinding process. International Journal of Machine Tools and Manufacture 45: 327-341.
23. Laegreid, M., Bockman, O. C., and Kaarstad, O. 1999. Agriculture, Fertilizers, and the Environment. CABI Publishing.
24. Majumdar, D., and Roy, S. 1992. Response of summer sesame to irrigation, row spacing and plant population. Indian Journal of Agronomy 37: 758-762.
25. Maman, N., Lyon, D. J., Mason, S. C., Galusha, T. D., and Higgins, R. 2003. Pearl millet and grain sorghum yield response to water supply in Nebraska. Agronomy Journal 95: 1618-1624.
26. Mansouri, H. 2014. Modeling of growth and nitrogen fertilization management in the production of Persian shallot and onion. Ph.D. Thesis, College of agriculture, University of Ferdowsi. Mashhad. Iran. (in Persian with English abstract).
27. Martin, R. J., and Deo, B. 2000. Effect of plant population on calendula (*Calendula officinalis* L.) flower production. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 28: 37-44.
28. Mohajer, A. R. 2017. Imports 38 billion dollars of oil and meal over the past 25 years to the country. Interview with the Project Manager of Oil Seeds Project, Ministry of Jihad-e-Agriculture. Mehr news agency. 5 September 2017. (in Persian).
29. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Amin Ghafouri, A., and Mahluji Rad, M. 2015. Optimizing corm size and density in saffron (*Crocus sativus* L.) cultivation by central composite design. Journal of Saffron Agronomy and Technology 3 (3): 161-177. (in Persian with English abstract).
30. OseiBonsu, K. 1977. The effect of spacing and fertilizer application on the growth, yield and yield components of sesame. Acta Horticulturae 53: 355-374.
31. Papari Moghaddam Fard, A., and Bahrani, M. J. 2005. Effect of nitrogen fertilizer rates and plant density on some agronomic characteristics, seed yield, oil and protein percentage in two sesame cultivars. Iranian Journal of Agricultural Science 36 (1): 129-134. (in Persian with English abstract).
32. Rezvani Moghaddam, P. 2008. Modern and Neglected Plants. In: Modern Agronomy, Koocheki, A., and Khajeh Hosseini, M. Press of Jihad-e Daneshgahi of Mashhad, Iran. (in Persian)
33. Roy, N., Abdullah Mamun, S. M., and SarwarJahan, M. D. 2009. Yield performance of sesame varieties at varying levels of row spacing. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 5 (5): 823-827.

34. Sharma, P. B. 2005. Fertilizer management in sesame (*Sesamum indicum* L.) based intercropping system in Tawa command area. Journal of Oilseeds Research 22: 63-65.
35. Sharma, P. B., Parshar, R. R., Ambawatia, G. R., and Pillai, P. V. A. 1998. Response of sesame varieties to plant population and nitrogen levels. Field Crop Abstracts 51: 481.
36. Shindo, J., Okamoto, K., Kawashima, H., and Konohira, E. 2009. Nitrogen flow associated with food production and consumption and its effect on water quality in Japan from 1961 to 2005. Soil Science and Plant Nutrition 55: 532-545.
37. Toan, D. P., Thuy-Duong, T. N. A., Carlsson, S., and Bui, T. M. 2010. Morphological evaluation of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties from different origins. Australian Journal of Crop Science 4: 498-504.
38. Wang, J. P., Chen, Y. Z., Ge, X. W., and Yu, H. Q. 2007. Optimization of coagulation-flocculation process for a paper-recycling wastewater treatment using response surface methodology. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 302: 204-210.
39. Wenxue, L., Long, L., Jianhao, S., Tianwen, G., Fusuo, Z., Xingguo, B., Peng, A., and Tang, C. 2005. Effects of intercropping and nitrogen application on nitrate present in the profile of an Orthic Anthrosol in Northwest China. Agriculture, Ecosystems and Environment 105: 483-491.



Effect of Nitrogen Fertilizer and Plant Density on Seed Yield and Oil Yield of Sesame Using a Central Composite Design

H. Latifi¹, S. Khorramdel^{2*}, M. Nassiri Mahallati³, J. Vafabakhsh⁴, A. Mollafilabi

Received: 19-05-2018

Accepted: 13-11-2018

Introduction

Sesame (*Sesamum indicum* L.) is known as the king of oil seeds due to the high oil content (50-60%) of its seed. Nitrogen (N) is one of the most important nutrients in crop production systems. Excessive use of N in crop production causes a declining trend in nitrogen use efficiency (NUE). It has been reported that not more than 33% of N applied is used by the plant, while the remainder is lost and causes environmental pollution as well as emission of greenhouse. Optimization of nitrogen and plant density is a management approach to conserve resources and decline environmental pollutions. Response surface methodology (RSM) is defined as a set of mathematical and statistical techniques that are used to develop, to improve or to optimize a product. RSM is a statistical method for optimization of multiple factors which determine optimum process conditions by combining experimental designs. In this work, optimization of nitrogen fertilizer and plant density of sesame using central composite design for Response surface methodology was done.

Materials and Methods

This research was conducted using central composite design with 13 treatments and two replications at the Research Field of Ferdowsi University of Mashhad during the growing season of 2015-2016. The treatments were allocated based on low and high levels of plant density (10 and 40 plants.m⁻², respectively) and nitrogen (0 and 100 kg Urea ha⁻¹, respectively). Plant height, yield components, seed yield, biological yield, harvest index, oil percentage, oil yield, protein percentage and, protein yield were calculated as dependent variables and changes of these variables were evaluated by a regression model. Lack-of-fit test was used to evaluate the quality of the fitted model. The adequacy of the model was tested by analysis of variance. In general, the full quadratic polynomial equation was tested to determine the significance of the model and the component of the model (linear, squared, first-order interaction terms). The quality of the fitted model was judged using the determination coefficient (R²).

Results and Discussion

The results showed that effect of linear component was significant on all studied characteristics. Effect of square component was significant on all studied criteria except harvest index, seed No. per capsule and 1000-seed weight. Interaction effect of full quadratic was significant on plant height, seed No. per plant and protein percentage. Lack of fit test had no significant effect on the studied traits. The full square model for the response variables gave insignificant lack-of-fit indicating that the data of experimental were satisfactorily explained. The highest estimated and observed values of seed yield were obtained for 25 plants.m⁻² and 50 kg Urea ha⁻¹ and 25 plants.m⁻² and 100 kg Urea ha⁻¹ with 1320.5 and 1272.4 kg.ha⁻¹, respectively. The highest estimated values of oil percentage and protein percentage were obtained for 10 plants.m⁻² and without Urea application (46. 7%) and 40 plants.m⁻² and 100 kg Urea ha⁻¹ kg Urea ha⁻¹ (25.3%) and these maximum observed amounts were recorded in 10 plants.m⁻² and without Urea application (46.5%) and 40 plants.m⁻² and 100 kg Urea ha⁻¹ kg Urea ha⁻¹ (25.0%), respectively.

1- PhD Student in Agroecology, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
2- Associate Professor, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
3- Professor, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
4- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Research Department, Khorasan-Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
5- Assistant Professor, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: khorramdel@um.ac.ir)

Conclusions

The slope of seed yield increased by an increase in density up to 25 plants.m⁻² and was higher under high levels of N fertilizer (optimum level= 50 kg Urea ha⁻¹) than under low levels, because the plant growth was improved in high amount of N fertilizer and resulted in high yield components and seed yield. Therefore, the effect of plant density on yield improvement could be increased at high levels of N fertilizer which clearly suggest the importance of N for higher seed production in sesame. In general, it seems that resource use optimization based on the central composite design may be suitable cropping approach for sustainable production of sesame.

Acknowledgement

This research was funded by Vice Chancellor for Research of Ferdowsi University of Mashhad, which is hereby acknowledged.

Keywords: Lack-of-fit test, Response surface methodology, Sustainable production



اثر محلول پاشی پتاسیم و روی بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد، پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و عملکرد دو رقم گندم نان تحت تاریخ کاشت تأخیری

حسین کمائی^۱، حمیدرضا عیسوند^{۲*}، ماشاءالله دانشور^۳، فرهاد نظریان فیروزآبادی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۷

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی پتاسیم و روی بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد، پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و عملکرد دو رقم گندم نان تحت تاریخ کاشت تأخیری، آزمایشی به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان رامهرمز اجرا گردید. عامل‌های آزمایشی شامل تاریخ کاشت در دو سطح مناسب (۳۰ آبان) و تأخیری (۱۵ دی) به عنوان عامل اصلی، محلول پاشی در چهار سطح با آب (شاهد)، پتاسیم، روی و پتاسیم + روی به عنوان عامل فرعی و دو رقم گندم نان پیش‌تاز و چمران ۲ به عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که تاریخ کاشت تأخیری به دلیل تنش گرمای انتهایی شاخص سطح برگ (LAI) (۲۵/۹۶ درصد)، دوام سطح برگ (LAD) (۴۸/۴۴ درصد)، سرعت رشد محصول (CGR) (۲۱/۷۶ درصد)، سرعت رشد نسبی (RGR) (۱۳/۷۲ درصد)، سرعت جذب خالص (NAR) (۲۲/۴۳ درصد)، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fv/Fm) (۳/۲۵ درصد)، عملکرد کوانتومی مؤثر فتوسیستم II (ΦPSII) (۴/۳۷ درصد)، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با روشنایی (Fv/Fm') (۳/۲۴ درصد) و عملکرد دانه (۲۷/۰۲ درصد) ارقام گندم نان را به طور معنی‌داری کاهش داد، اما موجب افزایش معنی‌دار خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) (۲۲/۷۳ درصد) گردید. محلول پاشی پتاسیم و روی غیر از NPQ صفات LAI (۱۷/۵۰ درصد)، LAD (۱۷/۶۲ درصد)، CGR (۳۳/۴۹ درصد)، RGR (۱۲/۰۰ درصد)، NAR (۳۷/۶۲ درصد)، Fv/Fm (۳/۱۲ درصد)، ΦPSII (۷/۳۷ درصد)، Fv/Fm' (۶/۶۵ درصد) و عملکرد دانه (۱۷/۳۰ درصد) ارقام گندم نان را تحت تاریخ کاشت تأخیری به طور معنی‌داری بهبود بخشید. به طور کلی، استفاده از محلول پاشی روی و پتاسیم در رقم چمران ۲ به عنوان بهترین ترکیبات تیماری در بهبود صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه در هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تنش گرمای انتهایی، عناصر غذایی، غلات

مقدمه

گل‌دهی و دوره پر شدن دانه مواجه شده و منجر به کاهش ۵ تا ۴۰ درصدی عملکرد در این مناطق می‌شود (Jalal Kamali and Duveiller, 2008). در اقلیم‌های گرم و خشک از جمله استان خوزستان به دلیل مواجهه‌ی مراحل گرده‌افشانی و به خصوص پر شدن دانه با تنش گرمای انتهایی فصل، عملکرد گندم کاهش یافت (MojtabaieZamani et al., 2015). در پژوهشی شاخص سطح برگ (LAI) تحت تأثیر تاریخ کاشت و ژنوتیپ‌های گندم قرار گرفت، به طوری که این شاخص در ژنوتیپ‌های حساس نسبت به ژنوتیپ‌های مقاوم و همچنین در تاریخ‌های کاشت تأخیری نسبت به مناسب بیشتر و سریع‌تر کاهش یافت (Dhyani et al., 2013). با اعمال تنش گرمای ملایم (۳۰-۳۷ درجه سانتی‌گراد) تغییری در حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fv/Fm) مشاهده نشد، اما عملکرد کوانتومی مؤثر فتوسیستم II (ΦPSII) و حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با روشنایی (Fv/Fm') کاهش و خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) در گندم افزایش نشان داد (Lu and Zhang, 2000). همچنین این محققین با اعمال تنش گرمای شدید (بالا تر از ۳۷ درجه سانتی‌گراد)

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) یکی از منابع مهم غذایی در میان گیاهان زراعی عمده جهان به شمار می‌رود (Modhej and Fathi, 2008). از نظر میزان تولید، گندم مهم‌ترین گیاه زراعی در جهان بوده و تولید آن در سال زراعی ۲۰۱۴-۲۰۱۵ به حدود ۷۱۷ میلیون تن رسید (Mansouri and Hosseinpour, 2015). سطح زیر کشت گندم ایران سالانه حدود ۵/۷ میلیون هکتار برآورد می‌شود (۲/۲۳ میلیون هکتار آبی و ۳/۴۷ میلیون هکتار دیم) که حدود ۳۹۴ هزار هکتار از این سطح زیر کشت در استان خوزستان قرار دارد (Ahmadi et al., 2016)، که با تنش گرمای انتهایی فصل در طی

۱- دانش‌آموخته دکتری زراعت، فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

۴- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

(Email: eisvand.hr@lu.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v17i3.73519

با توجه به اهمیت تولید گندم در جهت تأمین منابع غذایی مورد نیاز کشور و لزوم بهبود تولید آن در بعضی از مناطق از جمله استان خوزستان که با تنش گرمای انتهایی فصل مواجه هستند و همچنین توجه کمتر به نقش محلول پاشی عناصر غذایی به خصوص پتاسیم و روی در کاهش اثرات زیان بار تنش گرمای انتهایی ناشی از تأخیر در کاشت بر خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد گندم، آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر محلول پاشی پتاسیم و روی بر شاخصهای فیزیولوژیک رشد، پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و عملکرد دانه دو رقم گندم نان تحت تاریخ کاشت تأخیری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار و سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در شهرستان رامهرمز با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۶۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. عامل‌های آزمایشی شامل تاریخ کاشت در دو سطح مناسب (۳۰ آبان) و تأخیری (۱۵ دی) به منظور مواجه شدن مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه با تنش گرمای انتهایی (Radmehr, 1997) به عنوان عامل اصلی، محلول پاشی در چهار سطح با آب (شاهد)، پتاسیم، روی و پتاسیم + روی (هر کدام سه لیتر در هکتار) بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه کودی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان در سه مرحله‌ی پنجه‌زنی (ZGS21)، آبستنی (شکم خوش) (ZGS45) و گرده‌افشانی (ZGS61) به عنوان عامل فرعی و دو رقم گندم نان پیش‌تاز و چمران ۲ به عنوان عامل فرعی فرعی بودند. از ویژگی‌های رقم پیش‌تاز می‌توان به تیپ رشد بهاره، میانگین ارتفاع بوته ۹۲ سانتی‌متر، میانگین وزن هزار دانه ۴۵ گرم، میانگین عملکرد دانه ۷/۴ تن در هکتار، نیمه زودرس و حساس بودن به دمای بالا و از ویژگی‌های رقم چمران ۲ می‌توان به تیپ رشد بهاره، میانگین ارتفاع بوته ۹۵ سانتی‌متر، میانگین وزن هزار دانه ۳۹ گرم، میانگین عملکرد دانه ۶/۵ تن در هکتار، زودرس و متحمل بودن به دمای بالا اشاره کرد (Modhej and Fathi, 2008). برای محلول پاشی عناصر غذایی پتاسیم و روی به ترتیب از کودهای مایع پتاسیم ۲۱ درصد و کلات - روی ۷/۵ درصد (محصولات شرکت زرافشان) به میزان سه لیتر در ۱۰۰۰ لیتر آب در هکتار استفاده گردید. خاک محل آزمایش دارای بافت رسی سیلتی با نفوذپذیری اندک بود. از مشخصات این خاک می‌توان به میزان پایین پتاسیم و عناصر ریزمغذی و ماده آلی و میزان بالای فسفر، اسیدیته و شوری اشاره کرد (جدول ۱). آمار ایستگاه هواشناسی شهرستان رامهرمز در جدول ۲ آورده شده است. میانگین حداقل و حداکثر دمای محل آزمایش در طی دوره پر شدن دانه ارقام گندم در تاریخ‌های کاشت مناسب و تأخیری به ترتیب ۱۸ و ۳۲ درجه

علاوه بر کاهش در Fv/Fm و $\Phi PSII$ ، در Fv/Fm نیز کاهش معنی‌داری مشاهده کردند. نتایج تحقیقات نشان داد که در شرایط تنش گرمای ملایم (۳۷-۳۰ درجه سانتی‌گراد) ممانعت از فعالیت روبیسکو، به طور مستقیم منجر به ممانعت از تثبیت دی‌اکسید کربن شد و در شرایط تنش گرمای شدید (بالتر از ۳۷ درجه سانتی‌گراد)، کاهش فعالیت کمپلکس آزادکننده اکسیژن (OEC)، ممانعت از انتقال الکترون از کوئینون A به کوئینون B و به طور کلی خسارت به مرکز واکنش فتوسیستم II عامل اصلی توقف فتوسنتز بود (Allakhverdive et al., 2008). رینولدز و همکاران (Reynolds et al., 2000) گزارش دادند که از راه‌حل‌های اساسی برای برطرف کردن یا کاهش اثرات تنش دمای بالا در طی دوره پر شدن دانه، رعایت تاریخ کاشت به عنوان راهکار به زراعی و پیدا کردن ژنوتیپ‌های گندم مناسب با مجموعه‌ای از صفات مطلوب و قابلیت توارث بالا به عنوان راهکار به نژادی بود.

در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک (از جمله خوزستان) به دلیل بالا بودن اسیدیته (pH) خاک و کمتر بودن حلالیت عناصر غذایی، جذب این عناصر توسط گیاه کمتر می‌باشد، بنابراین محلول پاشی، این عناصر را برای گیاهان سریع‌تر در مقایسه با کاربرد خاکی فراهم می‌کند که این می‌تواند برطرف کننده مشکل کمبود عناصر غذایی گیاهان در این مناطق باشد (Mousavi et al., 2007; Yadavi et al., 2014).

پتاسیم به عنوان یک عنصر غذایی پر مصرف برای بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های مخزن، حفظ شادابی و فعال‌سازی آنزیم‌ها تحت شرایط تنش ضروری است (Mengel and Kirkby, 2001). محلول پاشی پتاسیم در گندم نقش مهمی در تنظیم فعالیت سوپراکسید دیسمیوتاز (SOD)، کاهش آسیب انواع اکسیژن فعال (ROS) ناشی از تنش به غشای پلاسمایی، حفظ یکپارچگی غشای سلولی و حفظ فعالیت آنزیم در سلول ایفا کرد (Raza et al., 2014). این محققین همچنین اظهار داشتند که محلول پاشی پتاسیم موجب بهبود تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و روابط آبی گیاه (پتانسیل آب، پتانسیل اسمزی و پتانسیل تورگر) در گیاه گندم تحت شرایط کمبود آب گردید.

روی یک عنصر غذایی ضروری کم مصرف برای گیاهان است که نقش بسیار مهمی در سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، اعمال متابولیسمی سلول، محافظت غشاء در مقابل رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرایندهای مرتبط با سازگاری گیاهان به تنش‌ها دارد (Marschner, 1995). محلول پاشی روی موجب افزایش LAI، سرعت رشد محصول (CGR)، سرعت جذب خالص (NAR) و عملکرد دانه هیبریدهای ذرت نسبت به شاهد گردید (Mohsin et al., 2014). عملکرد دانه گندم با مصرف روی افزایش نشان داد (Cakmak et al., 2010).

پس از تعیین مساحت برگ‌ها، LAI با استفاده از رابطه‌ی (۲) محاسبه شد (Shi et al., 1981).

$$LAI = Pla \times den / 10000 \quad (2)$$

در این رابطه، Pla: متوسط سطح برگ برای هر بوته (سانتی متر مربع) و den: تراکم واقعی (بوته در متر مربع) می‌باشد.

برای اندازه‌گیری دوام سطح برگ (LAD)، پس از اندازه‌گیری سطح برگ از رابطه‌ی (۳) استفاده شد (Shi et al., 1981).

$$LAD = 1/2 (LA_2 + LA_1) (T_2 - T_1) \quad (3)$$

در این رابطه، LA_1 : سطح برگ مرحله اول، LA_2 : سطح برگ مرحله دوم، T_1 : زمان نمونه‌برداری اول و T_2 : زمان نمونه‌برداری دوم می‌باشد.

برای محاسبه CGR از رابطه‌ی (۴) استفاده شد (Shi et al., 1981).

$$CGR = [(W_2 - W_1) / (T_2 - T_1)] \times (1/GA) \times 100 \quad (4)$$

در این رابطه، W_1 و W_2 وزن خشک گیاه در ابتدا و انتهای فاصله‌ی زمانی مورد نظر، T_1 و T_2 روزهای مربوطه و GA سطح زمین اشغال شده به وسیله‌ی گیاه در هر نمونه‌برداری می‌باشد.

برای محاسبه سرعت رشد نسبی (RGR) از رابطه‌ی (۵) استفاده شد (Shi et al., 1981).

$$RGR = [(\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1)] \times 100 \quad (5)$$

در این رابطه، $\ln W_2 - \ln W_1$: اختلاف لگاریتم طبیعی وزن خشک و $T_2 - T_1$: فاصله‌ی زمانی نمونه‌برداری است.

برای محاسبه NAR از رابطه‌ی (۶) استفاده شد (Shi et al., 1981).

$$NAR = CGR / LAI \quad (6)$$

در این رابطه، CGR: سرعت رشد محصول، و LAI: شاخص سطح برگ می‌باشد.

اندازه‌گیری پارامترهای فلئورسانس کلروفیل

برای اندازه‌گیری پارامترهای فلئورسانس کلروفیل برگ پرچم در شرایط مزرعه‌ای از دستگاه فلئورسانس متر مدل (PEA, Walz, Germany) با توانایی اندازه‌گیری فلئورسانس در هر دو حالت روشنایی و تاریکی استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها تنها یک بار و در مرحله پر شدن دانه (ZGS73-75) از برگ پرچم در ساعت ده صبح تا یک بعد از ظهر و بعد از ۳۰ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص انجام شد (Van Kooten and Snel, 1990). سپس پارامترهای حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی (F_v/F_m)، عملکرد کوانتومی مؤثر فتوسیستم II (Φ_{PSII})، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با روشنایی (F_v'/F_m') و خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) از طریق روابط (۷)، (۸)، (۹) و (۱۰) محاسبه شدند.

$$F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m \quad (7)$$

$$\Phi_{PSII} = (F_m - F_t)/F_m' \quad (8)$$

سانتی گراد و ۲۲ و ۳۸ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. هر کرت شامل هفت ردیف کاشت با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع با ابعاد $3 \times 1/5$ (۳ متر طول و ۱/۵ متر عرض) بود. فاصله بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر و فاصله بین کرت‌های فرعی ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. براساس نتایج آزمون خاک مقادیر ۳۵۰ کیلوگرم کود اوره (در سه مرحله یک سوم قبل از کاشت، یک سوم در شروع مرحله تولید شدن ساقه و یک سوم آخر در آغاز مرحله گل‌دهی)، ۷۵ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم و ۳۰۰ کیلوگرم کود گوگرد در هکتار قبل از کاشت مصرف گردید. در این آزمایش به دلیل بالا بودن میزان فسفر، کود فسفره مصرف نشد. غلظت بحرانی عناصر غذایی پتاسیم، فسفر، روی و بور در خاک برای گیاهان زراعی از جمله گندم در منطقه خوزستان به ترتیب ۲۰۰، ۱۲، ۰/۸ و ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است (Tabatabaei, 2013). کشت به روش دستی و در عمق سه سانتی‌متری انجام شد. آبیاری، کوددهی، مبارزه با علف‌های هرز و آفات به گونه‌ای انجام شد که گیاه با تنش دیگری غیر از تنش گرمای انتهایی ناشی از تأخیر در کاشت مواجه نگردد. آبیاری با توجه به نیاز آبی گیاه و شرایط اقلیمی منطقه در هشت مرحله (قبل از کاشت ZGS0)، رشد گیاهچه (ZGS10)، پنجه‌زنی (ZGS21)، تولید شدن ساقه (ZGS30)، آبستنی (شکم خوش) (ZGS45)، گل‌دهی (ZGS55)، گرده‌افشانی (ZGS61) و پر شدن دانه (ZGS73)) و به صورت نشتی- غرقابی انجام شد. زمان برداشت برای تاریخ‌های کاشت مناسب (۳۰ آبان) و تأخیری (۱۵ دی) به ترتیب یکم و هفدهم اردیبهشت‌ماه بود.

اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیولوژیک رشد

به منظور تعیین شاخص‌های فیزیولوژیک رشد، یک نمونه توسط کوادرات در سطح ۰/۰۹ متر مربع هر کرت در مرحله‌ی گرده‌افشانی (ZGS65) به صورت تصادفی انتخاب شد، سپس کل بوته‌های آن محدوده کفبر و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس در آزمایشگاه ابتدا وزن نمونه‌ها و طول و عرض برگ‌ها جهت تعیین LAI محاسبه شد. پس از آن نمونه‌ها به مدت ۵۲ ساعت (برای اطمینان از رسیدن به وزن ثابت) در آون ۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس توزین شدند.

برای اندازه‌گیری LAI پس از انتقال نمونه‌های گرفته شده به آزمایشگاه، کل برگ‌ها از ساقه‌ها جدا و نهایتاً پنج برگ به طور تصادفی از هر کرت انتخاب و میانگین طول و عرض برگ‌ها (قسمت عریض‌تر) اندازه‌گیری شد. سپس مساحت برگ‌ها با استفاده از رابطه‌ی (۱) تعیین شد (Shi et al., 1981).

$$LA = L \times W \times 0.75 \quad (1)$$

در این رابطه، LA: سطح برگ، L: طول برگ، W: عرض برگ و ۰/۷۵: ضریب ثابت سطح برگ برای گندم می‌باشد.

اندازه‌گیری عملکرد دانه

به‌منظور محاسبه عملکرد دانه، پس از حذف ۰/۵ متر از حاشیه‌های خطوط کشت پنجم و ششم در مرحله‌ی رسیدگی، کل سنبله‌های برداشت شده از سطح یک متر مربع هر کرت با دست خرمن‌کوبی و بوجاری و پس از آن دانه‌های به‌دست آمده توزین و عملکرد در مترمربع تعیین و در نهایت به هکتار تبدیل شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS استفاده شد. در صورت معنی‌دار بودن مقادیر F، میانگین‌ها با آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

$$Fv'/Fm' = (Fm' - F0')/Fm' \quad (9)$$

$$NPQ = (Fm - Fm')/Fm' \quad (10)$$

در این روابط، Fm : فلئورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با تاریکی، $F0$: فلئورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با تاریکی، Fv : فلئورسانس متغیر $(Fm - F0)$ ، Fm' : فلئورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با روشنائی، $F0'$: فلئورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با روشنائی، و Ft : فلئورسانس کل ساطع شده از برگ سازگار شده به روشنائی می‌باشد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of experimental location

هدایت الکتریکی E.C (dS m ⁻¹)	اسیدیته pH	بافت خاک Soil texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	مواد آلی O.C (%)	فسفر P (mg kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg kg ⁻¹)	آهن Fe (mg kg ⁻¹)	روی Zn (mg kg ⁻¹)
5.80	7.64	Silty clay	47	42	11	0.92	18.60	140	2.80	0.63

جدول ۲- آمار ایستگاه هواشناسی در طی دوره آزمایش در شهرستان رامهرمز

Table 2- Weather station statistics during the experimental period in Ramhormoz city

میانگین دمای هوا Mean of air temperature (°C)				
ماه Month	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	رطوبت نسبی RH (%)	بارندگی Precipitation (mm)
آبان November	31.5	17.2	42	20.7
آذر December	25.3	11.1	59	86.4
دی January	18.1	8.8	67	67.7
بهمن February	19	9.1	62	49.7
اسفند March	24.7	12.2	52	40.4
فروردین April	32.5	16.7	43	29.4
اردیبهشت May	38.1	23.2	43	29.6

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ (LAI)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول‌پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر LAI در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهای آزمایش بر LAI گندم نشان داد که بیش‌ترین میزان LAI در اثرات متقابل محلول‌پاشی روی و رقم چمران ۲ تحت تاریخ کاشت مناسب (۴/۷۰) و کم‌ترین آن در اثرات متقابل محلول‌پاشی آب (شاهد) و رقم پیش‌تاز تحت تاریخ کاشت تأخیری (۲/۲۷) به‌دست آمد (جدول ۵). در آزمایش حاضر، بیش‌ترین میزان LAI در مرحله گرده‌افشانی مشاهده شد و پس از آن و با آغاز مرحله پر شدن دانه‌ها مواد معدنی ذخیره شده در برگ‌ها به دانه‌ها منتقل و

برگ‌ها شروع به زرد شدن و ریزش کردند و این شاخص کاهش نشان داد. مدح و فتحی (Modhej and Fathi, 2008) نیز نتایج مشابهی را گزارش دادند. دیانی و همکاران (Dhyani et al., 2013) اظهار داشتند که LAI در تاریخ‌های کاشت تأخیری نسبت به مناسب و در ارقام گندم حساس نسبت به ارقام مقاوم به گرما به‌دلیل مواجهه با تنش گرمای انتهایی بیشتر و سریع‌تر کاهش یافت. این محققین دلیل کاهش را به نقش تنش گرمای انتهایی در کاهش طول دوره رشد و مواجهه کمتر با شرایط مناسب محیطی نسبت دادند. هم‌چنین برخی محققین افزایش LAI در نتیجه کاربرد پتاسیم (Laghari et al., 2010) و روی (Khan et al., 2008) در گیاه گندم را گزارش دادند. این محققین دلیل این افزایش را با نقش این عناصر در افزایش طول دوره رشد و فرصت کافی برای توسعه اندام‌های هوایی مرتبط دانستند. نتایج آزمایش حاضر یافته‌های محققین فوق را تأیید می‌کند.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص‌های فیزیولوژیک رشد دو رقم گندم نان تحت تأثیر تیمارهای آزمایش
Table 3- Analysis of variance (Mean of squares) physiological growth indices two cultivars of bread wheat affected by of experimental treatments

سرعت جذب	سرعت رشد	سرعت رشد	دوام سطح برگ	شاخص سطح	درجه	منابع تغییرات
NAR خالص	نسبی RGR	محصول CGR	LAD	LAI برگ	آزادی d.f	S.O.V
0.0007 ^{ns}	0.000073 ^{ns}	5.1082 ^{ns}	27.5747 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	2	بلوک (Block)
0.0620 [*]	0.000588 ^{**}	138.5160 ^{**}	548061.4321 ^{**}	13.7174 ^{**}	1	تاریخ کاشت (A)
0.0014	0.000017	0.4987	210.4966	0.0215	2	خطای a (Ea)
0.1130 ^{**}	0.000859 ^{**}	66.9815 ^{**}	15215.3986 ^{**}	1.4963 ^{**}	3	محلول پاشی (B)
0.0126 ^{ns}	0.000013 ^{ns}	7.9401 [*]	2986.3734 ^{**}	0.1248 ^{**}	3	A×B
0.0101	0.000003	1.3501	48.0499	0.0060	12	خطای b (Eb)
0.0132 ^{ns}	0.000560 ^{**}	6.0776 ^{ns}	2595.2855 ^{**}	0.2523 ^{**}	1	رقم گندم (C)
0.0301 ^{ns}	0.000004 ^{ns}	6.5564 [*]	471.0654 [*]	0.0200 ^{ns}	1	A×C
0.1679 ^{**}	0.001364 ^{**}	113.3594 ^{**}	20248.1319 ^{**}	2.0048 ^{**}	3	B×C
0.0165 ^{ns}	0.000042 ^{**}	6.5168 [*]	3369.3176 ^{**}	0.1267 ^{**}	3	A×B×C
0.0111	0.000006	1.5399	82.1904	0.0108	16	خطای c (Ec)
11.8	4.0	10.9	2.8	3.2		CV%

ns, * و **: به ترتیب، غیر معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد
ns, * and **: Non significant and significant at P<0.05 and P<0.01, respectively

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و عملکرد دانه دو رقم گندم نان تحت تأثیر تیمارهای آزمایش
Table 4- Analysis of variance (Mean of squares) chlorophyll fluorescence parameters and grain yield two cultivars of bread wheat affected by of experimental treatments

عملکرد	خاموشی	حداکثر عملکرد	عملکرد کوانتومی	حداکثر عملکرد	درجه	منابع تغییرات
دانه (Grain yield)	غیر فتوشیمیایی (NPQ)	کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با روشنایی (Fv'/Fm')	مؤثر فتوسیستم II (ΦPSII)	کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fv/Fm)	آزادی d.f	S.O.V
0.45 ^{ns}	0.00000701 ^{ns}	0.00002486 ^{ns}	0.00028846 ^{ns}	0.00002379 ^{ns}	2	بلوک (Block)
31048585.98 ^{**}	0.11960033 ^{**}	0.00856002 ^{**}	0.01624352 ^{**}	0.00578602 ^{**}	1	تاریخ کاشت (A)
53.54	0.00000515	0.00004190	0.00006652	0.00001327	2	خطای a (Ea)
2858344.42 ^{**}	0.00034453 ^{**}	0.00864930 ^{**}	0.01110924 ^{**}	0.00147891 ^{**}	3	محلول پاشی (B)
224269.74 ^{**}	0.00001511 ^{**}	0.00004369 ^{ns}	0.00029658 [*]	0.00002041 ^{ns}	3	A×B
23598.65	0.00000109	0.00003974	0.00005472	0.00000347	12	خطای b (Eb)
145959.99 ^{**}	0.00009633 ^{**}	0.00225502 ^{**}	0.00162169 ^{**}	0.00047502 ^{**}	1	رقم گندم (C)
31.20 ^{ns}	0.00000208 ^{ns}	0.00000919 ^{ns}	0.00028519 ^{ns}	0.00002002 ^{ns}	1	A×C
3255199.99 ^{**}	0.00097289 ^{**}	0.00817024 ^{**}	0.01199430 ^{**}	0.00388685 ^{**}	3	B×C
312159.90 ^{**}	0.00002364 ^{**}	0.00026508 [*]	0.00028835 [*]	0.00008431 [*]	3	A×B×C
14505.37	0.00000231	0.00010671	0.00008085	0.00000679	16	خطای c (Ec)
12.6	1.4	1.3	1.2	1.3		CV%

ns, * و **: به ترتیب، غیر معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد
ns, * and **: Non significant and significant at P<0.05 and P<0.01, respectively

دوام سطح برگ (LAD)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم گندم (معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد)، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر LAD در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهای آزمایش بر LAD گندم نشان داد که بیش‌ترین میزان LAD در اثر متقابل

محلول پاشی روی و رقم چمران ۲ تحت تاریخ کاشت مناسب (۵۳۳/۴۶) سانتی‌متر مربع در روز) و کم‌ترین آن در اثر متقابل محلول پاشی آب (شاهد) و رقم پیش‌تاز تحت تاریخ کاشت تأخیری (۱۸۰/۰۲) سانتی‌متر مربع در روز) به‌دست آمد (جدول ۵). در آزمایش حاضر، بیش‌ترین میزان LAD در مرحله گرده‌افشانی مشاهده شد اما پس از این مرحله به‌دلیل انتقال مواد ذخیره‌ای از برگ‌ها به دانه‌ها LAD مانند LAI کاهش نشان داد. مدح و فتحی (Modhej and

که ارقام گندم نانی که LAI بیشتری داشتند از LAD بالاتری برخوردار بودند. بنابراین کاهش LAD با تأخیر در کاشت (Blye *et al.*, 1990) و افزایش آن با محلول پاشی پتاسیم (Laghari *et al.*, 2010) و روی (Abdoli *et al.*, 2014) متأثر از کاهش و افزایش LAI نسبت به زمان بوده و تأییدکننده نتایج آزمایش حاضر می‌باشد.

(Fathi, 2008) نیز نتایج مشابهی را اظهار داشتند. این محققین گزارش دادند که LAD همان LAI نسبت به زمان است که روندی مشابه با تغییرات این شاخص در واحد زمان دارد و در مرحله گرده‌افشانی به حداکثر میزان خود می‌رسد. احمدی و همکاران (Ahmadi *et al.*, 2011) نیز هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری را بین LAI و LAD ارقام گندم گزارش کردند. این محققین اظهار داشتند

جدول ۵- مقایسه میانگین شاخص‌های فیزیولوژیک رشد دو رقم گندم نان تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

Table 5- Comparison of mean physiological growth indices two cultivars of bread wheat affected by of experimental treatments

تاریخ کاشت Planting date	محلول پاشی Foliar application	رقم Cultivar	شاخص سطح برگ LAI	دوام سطح برگ LAD (cm ² day)	سرعت رشد محصول CGR (g m ⁻² day ⁻¹)	سرعت رشد نسبی RGR (g g ⁻¹ day ⁻¹)
تاریخ کاشت مناسب Optimum planting date	آب (شاهد) Water (Control)	پیش‌تاز Pishtaz	3.06 ^{ef}	348.24 ^e	8.09 ^{gh}	0.024 ^{fg}
		چمران ۲ Chamran 2	3.19 ^{de}	361.85 ^e	9.83 ^{efg}	0.027 ^{ef}
	پتاسیم Potassium	پیش‌تاز Pishtaz	4.12 ^b	468.37 ^b	18.63 ^a	0.045 ^{ab}
		چمران ۲ Chamran 2	3.32 ^d	376.97 ^d	9.94 ^{efg}	0.032 ^{de}
	روی Zinc	پیش‌تاز Pishtaz	3.53 ^c	401.54 ^c	10.35 ^{ef}	0.027 ^{ef}
		چمران ۲ Chamran 2	4.70 ^a	533.46 ^a	15.82 ^b	0.040 ^{bc}
	پتاسیم + روی Potassium + Zinc	پیش‌تاز Pishtaz	3.49 ^c	396.41 ^c	12.58 ^d	0.034 ^{cd}
		چمران ۲ Chamran 2	4.59 ^a	522.17 ^a	19.20 ^a	0.047 ^a
	آب (شاهد) Water (Control)	پیش‌تاز Pishtaz	2.27 ⁱ	180.02 ⁱ	6.58 ^h	0.020 ^g
		چمران ۲ Chamran 2	2.35 ^{hi}	186.06 ^{hi}	7.44 ^h	0.022 ^{fg}
	پتاسیم Potassium	پیش‌تاز Pishtaz	3.02 ^f	239.34 ^f	11.20 ^{de}	0.025 ^{fg}
		چمران ۲ Chamran 2	2.43 ^{gh}	192.80 ^{ghi}	7.53 ^h	0.023 ^{fg}
تاریخ کاشت تأخیری Late planting date	روی Zinc	پیش‌تاز Pishtaz	2.58 ^g	204.11 ^g	8.69 ^{fgh}	0.024 ^{fg}
		چمران ۲ Chamran 2	3.18 ^{de}	252.25 ^f	13.26 ^{cd}	0.024 ^{fg}
	پتاسیم + روی Potassium + Zinc	پیش‌تاز Pishtaz	2.46 ^{gh}	194.90 ^{gh}	7.57 ^h	0.024 ^{fg}
		چمران ۲ Chamran 2	3.16 ^{ef}	249.79 ^f	14.99 ^{bc}	0.034 ^{cd}
	LSD 5%		0.158	14.30	2.16	0.006

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد به روش LSD ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level using of LSD.

سرعت رشد محصول (CGR)

رقم گندم بر CGR در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهای آزمایش بر CGR گندم نشان داد که بیش‌ترین میزان CGR در اثر

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثر ساده رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول پاشی پتاسیم و روی و

نشان داد و در انتهای فصل رشد به دلیل پیری گیاه، افزایش بافت‌های ساختمانی، کاهش کارایی تولید و متوقف شدن فعالیت‌های گیاه در تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های رویشی و زایشی میزان RGR به کمترین مقدار خود در طی فصل رشد گندم رسید. هوشمند (Hooshmandi, 2015) اختلاف معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌های مختلف گندم در RGR گزارش کرد. رحیمی (Rahimi, 2012) نشان داد که با تأخیر در کاشت RGR گندم کاهش یافت. همچنین محققین بسیاری اظهار داشتند که کاربرد پتاسیم (Motaghi and Saki Nejad, 2014) و روی (Mohsin et al., 2014) موجب افزایش RGR گردید. نتایج آزمایش حاضر با یافته‌های محققین فوق هم‌خوانی داشت.

سرعت جذب خالص (NAR)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثرات ساده تاریخ کاشت و محلول پاشی پتاسیم و روی و اثر متقابل محلول پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم، اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر NAR در سطح احتمال یک و پنج درصد غیر معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف محلول پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر NAR گندم نشان داد که بیش‌ترین میزان NAR در اثر متقابل محلول پاشی روی و رقم چمران ۲ (۰/۲۴۹ گرم بر متر مربع سطح برگ در روز) و کمترین آن در اثر متقابل محلول پاشی آب (شاهد) و رقم پیشتاز (۰/۱۱۵ گرم بر متر مربع سطح برگ در روز) به‌دست آمد (جدول ۴). در آزمایش حاضر، میزان NAR در مرحله گرده‌افشانی گندم (زمان نمونه‌برداری) نسبت به مراحل رشدی پیش از آن روندی نزولی نشان داد. با این حال، کاربرد پتاسیم و روی این روند نزولی را تعدیل کردند. مدحج و فتحی (Modhej and Fathi, 2008) اظهار داشتند که مقدار NAR در مراحل اولیه رشد گندم به‌علت سایه‌اندازی کم برگ‌ها بر روی هم در حداکثر میزان خود بود، با ادامه رشد و به‌علت افزایش سایه‌اندازی برگ‌های بالایی بر پایینی مقدار NAR به تدریج کاهش یافت و در اواخر فصل رشد به‌علت افزایش بیش از حد سایه‌اندازی و کاهش سطح برگ فتوسنتزکننده و متعاقب آن انتقال مواد معدنی از برگ‌ها به دانه‌ها به حداقل مقدار خود رسید. حیدر (Haider, 2007) گزارش داد که با تأخیر در کاشت NAR گیاه گندم افزایش یافت. این یافته آن با نتایج این آزمایش هم‌خوانی نداشت. دلیل افزایش NAR در این آزمایش را می‌توان با افزایش فتوسنتز و CGR (واقع در صورت کسر معادله NAR) تحت تاریخ کاشت مناسب نسبت به تاریخ کاشت تأخیری مرتبط دانست. همچنین گزارش شد که NAR بر روی محلول پاشی پتاسیم (Motaghi and Saki Nejad, 2014) و روی (Mohsin et al., 2014) افزایش نشان داد، که می‌تواند مورد تأیید نتایج آزمایش حاضر باشد.

متقابل محلول پاشی پتاسیم + روی و رقم چمران ۲ تحت تاریخ کاشت مناسب (۱۹/۲۰ گرم بر متر مربع زمین در روز) و کمترین آن در اثر متقابل محلول پاشی آب (شاهد) و رقم پیشتاز تحت تاریخ کاشت تأخیری (۶/۵۸ گرم بر متر مربع زمین در روز) به‌دست آمد (جدول ۵). در آزمایش حاضر، بیشترین میزان CGR در مرحله گرده‌افشانی مشاهده شد و پس از آن این شاخص کاهش نشان داد. هوشمند (Hooshmandi, 2015) نیز نتایج مشابهی را گزارش داد. این محقق گزارش داد که بین CGR و مقدار تابش جذب شده توسط برگ‌های یک گیاه رابطه مستقیم وجود داشت، به‌طوری که با ادامه رشد گیاه و افزایش سطح دریافت‌کننده تابش (LAI) CGR افزایش یافت و در مرحله گرده‌افشانی به حداکثر میزان خود رسید و پس از آن در مراحل انتهایی رشد به دلیل کاهش LAI و کاهش شدت جذب تابش متأثر از افزایش تقاضا و پیری برگ‌ها CGR روندی نزولی نشان داد (Hooshmandi, 2015). بنابراین، می‌توان اظهار داشت هر عاملی که موجب افزایش LAI و دوام آن شود می‌تواند CGR را افزایش دهد. در آزمایش حاضر، کاهش LAI و دوام آن با تأخیر در کاشت (Dhyani et al., 2013; Blye et al., 1990) و افزایش این شاخص‌ها با محلول پاشی پتاسیم (Jahanbin et al., 2015) و روی (Mohsin et al., 2014) مشهود بود، که می‌تواند توجیه‌کننده کاهش و افزایش CGR در نتیجه اعمال تیمارهای فوق باشد.

سرعت رشد نسبی (RGR)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت و محلول پاشی پتاسیم و روی و اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر RGR در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهای آزمایش بر RGR گندم نشان داد که بیش‌ترین میزان RGR در اثر متقابل محلول پاشی پتاسیم + روی و رقم چمران ۲ تحت تاریخ کاشت مناسب (۰/۰۴۷ گرم بر گرم در روز) و کمترین آن در اثر متقابل محلول پاشی آب (شاهد) و رقم پیشتاز تحت تاریخ کاشت تأخیری (۰/۰۲۰ گرم بر گرم در روز) به‌دست آمد (جدول ۵). در آزمایش حاضر، میزان RGR در مرحله گرده‌افشانی گندم (زمان نمونه‌برداری) نسبت به مراحل رشدی پیش از آن روندی نزولی نشان داد. با این وجود، کاربرد پتاسیم و روی این روند نزولی را کاهش دادند. پناهیان و جماعتی (Panahyan and Jamaati, 2009) اظهار داشتند که در ابتدای فصل رشد و بعد از مرحله طویل شدن ساقه‌ها به دلیل اختصاص کل ماده خشک تولید شده به برگ‌ها و نیز به‌علت نفوذ بیشتر نور به درون جامعه گیاهی، سایه‌اندازی کمتر برگ‌ها بر روی یکدیگر، جذب خالص و تنفس کمتر، میزان RGR بالا بود و به تدریج به دلیل متراکم شدن پوشش گیاهی میزان RGR روندی کاهشی

جدول ۶- مقایسه میانگین سرعت جذب خالص دو رقم گندم نان تحت تأثیر محلول پاشی پتاسیم و روی

Table 6- Comparison of mean NAR two cultivars of bread wheat affected by of potassium and zinc foliar application

محلول پاشی Foliar application	رقم Cultivar	سرعت جذب خالص NAR(g m ⁻² day ⁻¹)
آب (شاهد) Water (Control)	پیشناز Pishtaz	0.115 ^c
	چمران ۲ Chamran 2	0.198 ^b
پتاسیم Potassium	پیشناز Pishtaz	0.214 ^b
	چمران ۲ Chamran 2	0.199 ^c
روی Zinc	پیشناز Pishtaz	0.192 ^b
	چمران ۲ Chamran 2	0.249 ^a
پتاسیم + روی Potassium + Zinc	پیشناز Pishtaz	0.197 ^b
	چمران ۲ Chamran 2	0.220 ^{ab}
LSD 5%		0.030

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد به روش LSD ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level using of LSD.

افزایش Fv/Fm تحت تأثیر محلول پاشی پتاسیم و روی را با نقش این تیمارها در تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و پایداری غشای تیلاکوئید مرتبط دانست (Wu et al., 2005; Waraich et al., 2012)، که موجب کاهش آسیب ناشی از انواع اکسیژن فعال (ROS) به زنجیره انتقال الکترون و کمپلکس‌های پروتئینی از جمله کمپلکس آزادکننده اکسیژن (OEC) و مرکز واکنش فتوسیستم I و II شدند.

عملکرد کوانتومی مؤثر فتوسیستم II (ΦPSII)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر ΦPSII در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهای آزمایش بر ΦPSII گندم نشان داد که بیش‌ترین میزان ΦPSII در اثر متقابل محلول پاشی پتاسیم + روی و رقم چمران ۲ تحت تاریخ کاشت مناسب (۰/۸۱۲) و کم‌ترین آن در اثر متقابل محلول پاشی آب (شاهد) و رقم پیشناز تحت تاریخ کاشت تأخیری (۰/۶۷۵) به‌دست آمد (جدول ۷). گزارش شده که تحت تنش گرما ΦPSII برگ پرچم گیاه گندم کاهش یافت (Feng et al., 2014). این محققین دلیل آن را با کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو، افت کارکردی مرکز واکنش فتوسیستم II (PSII)، کاهش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (PSII) و متعاقب آن کاهش فتوستنز خالص تحت شرایط تنش گرما مرتبط دانستند. اظهار شده که کاربرد پتاسیم موجب افزایش ΦPSII در برگ پرچم گیاه گندم گردید (Hui-ping

حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fv/Fm)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت و محلول پاشی پتاسیم و روی و اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر Fv/Fm در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهای آزمایش بر Fv/Fm گندم نشان داد که بیش‌ترین میزان Fv/Fm در اثر متقابل محلول پاشی پتاسیم + روی و رقم چمران ۲ تحت تاریخ کاشت مناسب (۰/۸۴۲) و کم‌ترین آن در اثر متقابل محلول پاشی آب (شاهد) و رقم پیشناز تحت تاریخ کاشت تأخیری (۰/۷۷۱) به‌دست آمد (جدول ۷). لو و ژانگ (Lu and Zhang, 2000) گزارش دادند که با اعمال تنش گرما کاهش معنی‌داری در Fv/Fm گیاه گندم مشاهده کردند. این محققین علت کاهش Fv/Fm تحت شرایط تنش گرما را به کاهش فعالیت کمپلکس آزادکننده اکسیژن (OEC) و جلوگیری از انتقال الکترون به محل پذیرنده PSII نسبت دادند، که منجر به بازدارندگی نوری شد. رضا و همکاران (Raza et al., 2013) نشان دادند که پتاسیم در بهبود Fv/Fm تحت شرایط تنش نقش داشت. محلول پاشی روی موجب افزایش Fv/Fm برگ پرچم گیاه گندم تحت شرایط تنش خشکی گردید (Ma et al., 2017). از آنجا که کمپلکس آزادکننده اکسیژن (OEC) و فتوسیستم I و II در درون غشای تیلاکوئید قرار دارند، بنابراین می‌توان علت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر NPQ در سطح احتمال یک درصد معنی دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهای آزمایش بر NPQ گندم نشان داد که بیشترین میزان NPQ در اثر متقابل محلول پاشی پتاسیم + روی و رقم چمران ۲ تحت تاریخ کاشت تأخیری (۰/۴۵۵) و کمترین آن در اثر متقابل محلول پاشی آب (شاهد) و رقم پیشناز تحت تاریخ کاشت مناسب (۰/۳۳۲) به دست آمد (جدول ۷). دیگ-آدامز و همکاران (Demmig-Adams et al., 1996) افزایش NPQ را به عنوان یک نتیجه از کاهش سایر پارامترهای فلئورسانس کلروفیل از جمله F_v/F_m و $\Phi PSII$ تحت شرایط تنش گرما گزارش کردند و اظهار داشتند که افزایش NPQ بیانگر افزایش اتلاف غیرفتوشیمیایی انرژی برانگیخته و کاهش خسارت به مرکز واکنش فتوسیستم II (PSII) بود. افزایش NPQ تحت تنش گرما یک مکانیسم تنظیمی برای کاهش انتقال الکترون فتوستتزی مازاد به مرکز واکنش فتوسیستم II (PSII) و کاهش خسارت به آن بود، که باعث شد تولید ATP و NADPH در تعادل با کاهش تقاضا در چرخه کالوین در برگ‌های تحت تنش گرما باشد و از احیاء بیش از حد Q_A جلوگیری شود (Bukhov et al., 1998). افزایش NPQ حاکی از ظرفیت بالای چرخه گزانتوفیل و توانایی گیاه در دفع تنش از طریق هدر دادن انرژی به صورت گرما و عمدتاً به وسیله چرخه گزانتوفیل بود (Maxwell and Johnson, 2000). وانگ و همکاران (Wang et al., 2015) اظهار داشتند که با افزایش غلظت پتاسیم میزان NPQ برگ ذرت نسبت به شاهد کاهش یافت. همچنین گزارش شده که میزان NPQ با محلول پاشی سولفات روی تحت شرایط تنش افزایش نشان داد (Jiang et al., 2014). این یافته آنها با نتایج آزمایش حاضر همخوانی نداشت. کاهش میزان NPQ در نتیجه محلول پاشی پتاسیم و روی نشان داد که گیاه به طور مؤثرتری از انرژی جذب شده توسط رنگدانه‌های آنتی استفاده کرده و با کارایی بیشتری گرمای تابش خورشید را در فتوسیستم II (PSII) کاهش داد (Guo et al., 2006). علاوه بر این، نتایج نشان داد که بین پارامترهای فلئورسانس کلروفیل از جمله F_v/F_m و $\Phi PSII$ و F_v/F_m با NPQ رابطه‌ای معکوس وجود داشت، به طوری که کاهش NPQ نشان دهنده افزایش سایر پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و بهبود کارایی فتوسیستم II (PSII) در جذب تشعشع فعال فتوستتزی بود.

(and Yu-hong, 2010). این محققین دلیل آن را به نقش پتاسیم در بهبود زنجیره انتقال الکترون در کلروپلاست و میتوکندری سلول‌های گیاهی، کاهش سمیت انواع اکسیژن فعال (ROS) از طریق فعال سازی آنزیم‌های آنتی اکسیدانی از جمله سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و متعاقب آن ممانعت از پراکسیداسیون غشای سلولی و آزاد شدن ترکیب مالون دی آلدئید (MDA) در برگ پرچم نسبت دادند. همچنین وانگ و جین (Wang and Jin, 2007) گزارش دادند که کاربرد روی به طور معنی داری فعالیت مرکز واکنش فتوسیستم II (PSII) و متعاقب آن $\Phi PSII$ را افزایش داد. نتایج آزمایش حاضر با یافته‌های محققین فوق همخوانی داشت.

حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با روشنایی (F_v/F_m)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت و محلول پاشی پتاسیم و روی و اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر F_v/F_m در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهای آزمایش بر F_v/F_m گندم نشان داد که بیشترین میزان F_v/F_m در اثر متقابل محلول پاشی پتاسیم + روی و رقم چمران ۲ تحت تاریخ کاشت مناسب (۰/۸۲۳) و کمترین آن در اثر متقابل محلول پاشی آب (شاهد) و رقم پیشناز تحت تاریخ کاشت تأخیری (۰/۷۰۹) به دست آمد (جدول ۷). لو و ژانگ (Lu and Zhang, 2000) نشان دادند که با اعمال تنش گرما میزان F_v/F_m برگ پرچم گیاه گندم کاهش یافت. کاهش پارامترهای فلئورسانس کلروفیل از جمله F_v/F_m تحت تنش گرما نشان داد که بخشی از مرکز واکنش فتوسیستم II (PSII) دچار آسیب شده بود. این آسیب با تغییرات ساختاری در فتوسیستم II (PSII)، به ویژه در پروتئین D1، که در شرایط تنش گرما فسفوریلاسیون و متعاقباً تجزیه می‌شود، مرتبط بود (Asada et al., 1998). وانگ و همکاران (Wang et al., 2015) اظهار داشتند که F_v/F_m تحت شرایط کمبود پتاسیم کاهش یافت. این محققین دلیل آن را با نقش پتاسیم در جلوگیری از اضمحلال فتوسیستم II (PSII) ناشی از جذب بیش از اندازه انرژی خورشیدی و حفظ فتوستتزی طبیعی مرتبط دانستند. وانگ و جین (Wang and Jin, 2007) گزارش دادند که تحت شرایط کمبود روی فعالیت مرکز واکنش فتوسیستم II (PSII) و F_v/F_m کاهش نشان داد. گزارش شده که مقادیر بالای انواع اکسیژن فعال (ROS) تحت شرایط کمبود پتاسیم و روی ممکن است منجر به آسیب کمپلکس برداشت کننده نور و مرکز واکنش فتوسیستم II (PSII) و مهار توانایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (PSII) و انتقال الکترون گردد (Wang

جدول ۷- مقایسه میانگین پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و عملکرد دانه دو رقم گندم نان تحت تأثیر تیمارهای آزمایش
 Table 7- Comparison of mean chlorophyll fluorescence parameters and grain yield two cultivars of bread wheat affected by of experimental treatments

تاریخ کاشت Planting date	محلول پاشی Foliar application	رقم Cultivar	حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی Fv/Fm	عملکرد کوانتومی مؤثر فتوسیستم II ΦPSII	حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با روشنایی Fv'/Fm'	خاموشی غیرفتوشیمیایی NPQ	عملکرد دانه Grain yield (kg h ⁻¹)
تاریخ کاشت مناسب Optimum planting date	آب (شاهد) Water (Control)	پیش‌تاز Pishtaz	0.800 ^d	0.704 ^{fgh}	0.734 ^{fgh}	0.351 ^e	4572.68 ^{ef}
		چمران ۲ Chamran 2	0.801 ^d	0.715 ^{defg}	0.745 ^{fgh}	0.349 ^e	4611.24 ^{de}
	پتاسیم Potassium	پیش‌تاز Pishtaz	0.836 ^a	0.804 ^a	0.820 ^{abc}	0.333 ^f	5965.67 ^b
		چمران ۲ Chamran 2	0.801 ^d	0.725 ^{cdef}	0.758 ^{ef}	0.348 ^e	4802.17 ^d
	روی Zinc	پیش‌تاز Pishtaz	0.802 ^d	0.739 ^{cd}	0.771 ^{de}	0.334 ^f	5115.26 ^c
		چمران ۲ Chamran 2	0.836 ^a	0.806 ^a	0.821 ^{ab}	0.332 ^{fg}	6795.63 ^a
	پتاسیم + روی Potassium + Zinc	پیش‌تاز Pishtaz	0.803 ^d	0.742 ^c	0.773 ^{de}	0.334 ^f	5049.82 ^c
		چمران ۲ Chamran 2	0.842 ^a	0.812 ^a	0.823 ^a	0.333 ^f	6651.85 ^a
	آب (شاهد) Water (Control)	پیش‌تاز Pishtaz	0.771 ^f	0.675 ⁱ	0.709 ⁱ	0.455 ^a	3295.56 ⁱ
		چمران ۲ Chamran 2	0.778 ^{ef}	0.682 ^{hi}	0.722 ^{hi}	0.452 ^{ab}	3406.05 ^{hi}
	پتاسیم Potassium	پیش‌تاز Pishtaz	0.814 ^c	0.734 ^{cde}	0.796 ^{bcd}	0.432 ^c	4381.33 ^f
		چمران ۲ Chamran 2	0.781 ^e	0.711 ^{efg}	0.749 ^{efg}	0.432 ^c	3774.26 ^g
تاریخ کاشت تأخیری Late planting date	روی Zinc	پیش‌تاز Pishtaz	0.781 ^e	0.693 ^{ghi}	0.728 ^{ghi}	0.432 ^c	3562.98 ^{gh}
		چمران ۲ Chamran 2	0.817 ^{bc}	0.773 ^b	0.795 ^{cd}	0.427 ^d	4617.84 ^{de}
	پتاسیم + روی Potassium + Zinc	پیش‌تاز Pishtaz	0.780 ^e	0.709 ^{efg}	0.744 ^{fgh}	0.451 ^b	3538.43 ^h
		چمران ۲ Chamran 2	0.822 ^b	0.777 ^b	0.788 ^d	0.432 ^c	4436.10 ^{ef}
	LSD 5%		0.0075	0.026	0.025	0.004	229.16

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد به روش LSD ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level using of LSD.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهای آزمایش بر عملکرد دانه گندم نشان داد که

بیش‌ترین میزان عملکرد دانه در اثر متقابل محلول پاشی روی و رقم چمران ۲ تحت تاریخ کاشت مناسب (۶۷۹۵/۶۳ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین آن در اثر متقابل محلول پاشی آب (شاهد) و رقم پیش‌تاز تحت تاریخ کاشت تأخیری (۳۲۹۵/۵۶ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۷). اکبری مقدم و همکاران (Akbari Moghaddam *et al.*, 1998) علت کاهش عملکرد دانه گندم با تأخیر در کاشت را تسریع

نتیجه‌گیری

تاریخ کاشت تأخیری به دلیل تنش گرمای انتهایی کلیه صفات LAI, LAD, CGR, RGR, NAR, Fv/Fm, Φ PSII, Fv/Fm و عملکرد دانه را به طور معنی‌داری در ارقام گندم نان پیش‌تاز و چمران ۲ کاهش داد، اما موجب افزایش NPQ گردید. در بین سطوح مختلف محلول پاشی عناصر غذایی، با وجود عدم اختلاف معنی‌دار در اکثر صفات مورد اندازه‌گیری، صفات LAI, LAD, NAR و عملکرد دانه نسبت به محلول پاشی روی و صفات CGR, RGR, Fv/Fm, Φ PSII و Fv/Fm نسبت به محلول پاشی پتاسیم + روی تحت هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری واکنش مناسب‌تری نشان دادند. در بین اثرات متقابل محلول پاشی عناصر غذایی و رقم گندم، واکنش رقم پیش‌تاز به محلول پاشی پتاسیم و واکنش رقم چمران ۲ به محلول پاشی روی و پتاسیم + روی مناسب‌تر بود. در بین ارقام گندم مورد کشت، رقم چمران ۲ نسبت به رقم پیش‌تاز در کلیه صفات مورد اندازه‌گیری تحت هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری از برتری نسبی برخوردار بود. به طور کلی می‌توان اظهار داشت که محلول پاشی پتاسیم و روی غیر از NPQ موجب افزایش کلیه صفات مورد اندازه‌گیری ارقام گندم نان پیش‌تاز و چمران ۲ تحت هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری در شهرستان رامهرمز گردید.

مراحل رشد و نمو، مواجهه‌ی مراحل حساس رشد گیاه (تقسیم میوز، ظهور سنبله، گرده‌افشانی و پر شدن دانه) با تنش گرمای انتهایی فصل و متعاقب آن افزایش میزان عقیمی گلچه‌ها و کاهش تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله ذکر کردند. محمدی، Mohammadi (2012) و دیانی و همکاران (Dhyani et al., 2013) نیز نتایج مشابهی را گزارش دادند. محلول پاشی پتاسیم عملکرد دانه گندم را نسبت به عدم محلول پاشی تحت شرایط تنش خشکی افزایش داد (Aown et al., 2012). نشان داده شد که عملکرد دانه گندم در نتیجه کاربرد روی افزایش یافت (Ali et al., 2009). گزارش شد که تشکیل انواع اکسیژن فعال (ROS) ناشی از تنش گرمای انتهایی فصل با تولید اتیلن، پراکسیداسیون لیپیدها و در نتیجه سیالیت غشاء مرتبط است (Wang et al., 2012). هم‌چنین مطالعات پیشین نشان داد که افزایش اتیلن در گیاه گندم، باعث کوتاه شدن دوره پرشدن دانه، کاهش وزن هزار دانه، تسریع بلوغ، پیری زودرس و در نتیجه کاهش عملکرد دانه شد (Beltrano et al., 1999). بنابراین می‌توان علت افزایش عملکرد دانه در نتیجه کاربرد پتاسیم و روی را با نقش این عناصر در افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسمیوتاز، کاتالاز، پراکسیداز و سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی (Waraich et al., 2012) و در نتیجه کاهش تجمع انواع اکسیژن فعال (ROS) و تولید اتیلن مرتبط دانست.

References

1. Abdoli, M., Esfandiari, E., Mousavi, B., and Sadeghzadeh, B. 2014. Effects of foliar application of zinc sulfate at different phenological stages on yield formation and grain zinc content of bread wheat (cv. Kohdasht). Azarian Journal of Agriculture 1: 11-17. (in Persian with English abstract).
2. Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H. R., Fazeli, M., Hosseinpour, R., Kazemian, A., and Rafiei, M. 2016. Agricultural statistics in farming year 2014-15. Pp. 1-174. (in Persian).
3. Ahmadi, J., Khatibi, M., Amirshakari, H., and Amini Dehagi, M. 2011. Evaluation of the effective morpho-physiological indices on the yield of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) using multivariate statistical methods. Journals of Agronomy Sciences 4 (4): 55-66. (in Persian with English abstract).
4. Akbari Moghaddam, H., Kambuzia, J., and Sangtarash, M. 1998. Study of variation in grain yield and yield components in two wheat cultivars Hirmand and Falat cross in different planting dates, Pp. 321. In: The proceedings of the 5th Iranian Crop Science Congress, Karaj, Iran. (in Persian with English abstract).
5. Ali, S., Shah, A., Arif, M., Miraj, J., Ali, I., Sajjad, M., Farhatollah, M., Khan, Y., and Khan, M. 2009. Enhancement of wheat grain yield components through foliar application of zinc and boron. Sarhad Journal of Agriculture 25 (1): 15-19.
6. Allakhverdive, S. I., Kreslavski, V. D., Klimov, V. V., Los, D. A., Carpentier, R., and Mohanty, P. 2008. Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. Photosynthesis Research 98: 541-550.
7. Aown, M., Raza, S., Saleem, M. F., Anjum, S. A., Khaliq, T., and Wahid, M. A. 2012. Foliar application of potassium under water deficit conditions improved the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). The Journal of Animal and Plant Sciences 22 (2): 431-437.
8. Asada, K., Endo, T., Mano, J., and Miyake, C. 1998. Molecular mechanism for relaxation of and protection from light stress, In K, Saton and N, Murata (eds.), stress responses of photosynthetic organisms. Elsevier. Amsterdam. Pp. 37-52.
9. Beltrano, J., Ronco, M., and Montaldi, E. R. 1999. Drought stress syndrome in wheat is provoked by ethylene evolution imbalance and reversed by rewatering, aminoethoxyvinylglycine and sodium benzoate. Journal Plant Growth Regulation 18: 59-64.
10. Blye, E. N., Mason, S. E., and Sander, D. H. 1990. Influence of planting date, seeding rate on wheat yield. Agronomy Journal 22: 762-768.

11. Bukhov, N. G., Boucher, N., and Carpentier, R. 1998. Loss of the precise control of photosynthesis and increased yield of non-radiative dissipation of excitation energy after mild treatment of barley leaves. *Plant Physiology* 104: 563-570.
12. Cakmak, I., Wolfgang, H. P., and Bonnie, M. C. 2010. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. *Cereal Chemistry Journal* 87 (1): 10-20.
13. Demmig-Adams, B., Adams, W. W., and Barker, D. H. 1996. Using chlorophyll fluorescence to assess the fraction of absorbed light allocated to thermal dissipation of excess excitation. *Plant Physiology* 98: 253-264.
14. Dhyan, K., Ansari, M. V., Roa, Y., Verma, R. S., Shukla, A., and Tuteja, N. 2013. Comparative physiological response of wheat genotypes under terminal heat stress. *Plant Signaling and Behavior* 8 (6): 1-6.
15. Feng, B., Liu, P., Li, G., Dong, S. T., Wang, F. H., Kong, L. A., and Zhang, J. W. 2014. Effect of heat stress on the photosynthetic characteristics in flag leaves at the grain-filling stage of different heat-resistant winter wheat varieties. *Journal of Agronomy and Crop Science* 200: 143-155.
16. Ghasemian, V., Ghalavand, A., Soroosh Zadeh, A., and Pirzad, A. 2010. The effect of iron, zinc and manganese on quality and quantity of soybean seed. *Journal Phytology* 2: 73-79.
17. Guo, H. X., Liu, W. Q., and Shi, Y. C. 2006. Effects of different nitrogen forms on photosynthetic rate and the chlorophyll fluorescence induction kinetics of flue-cured tobacco. *Photosynthetica* 44: 140-142.
18. Haider, S. A. 2007. Growth analysis in relation to sowing dates in four varieties of wheat: A functional approach. *Journal of Life Earth Science* 2 (2): 17-25.
19. Hooshmandi, B. 2015. Evaluation some morphophysiological indices and yield of bread wheat cultivars. *Crop Physiology Journal* 7 (26): 121-134. (in Persian with English abstract).
20. Hui-ping, Zh., and Yu-hong, M. 2010. Effects of potassium fertilizer application time on chlorophyll fluorescence parameters of the flag leaf and on yield of winter wheat in northern Henan sandy soil. *Journal of Henan Agriculture University* 4: 234-242.
21. Jahanbin, Sh., Vafapour, M., Yadavi, A., and Behzadi, Y. 2015. Assessment of growth and some characteristics of wheat cultivar of Alvand under deficit irrigation and foliar application of potassium di-hydrogen phosphate. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 25 (3): 103-118. (in Persian with English abstract).
22. Jalal Kamali, M. R., and Duveiller, E. 2008. Wheat production and research in Iran: a success story. International symposium on wheat yield potential, challenges to international wheat breeding, 2008. Mexico, D. F. CIMMYT.
23. Jiang, W., Sun, X. H., Xu, H. L., and Lu, H. F. 2014. Optimal concentration of zinc sulfate in foliar spray to alleviate salinity stress in *Glycine soja*. *Journal of Agricultural Science Technology* 16: 445-460.
24. Khan, M. A., Fuller, M. P., and Baluch, F. S. 2008. Effect of soil applied zinc sulfate on wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on a calcareous soil in Pakistan. *Cereal Research Communications* 36 (4): 571-582.
25. Laghari, G. M., Oad, F. C., Tunio, S., Gandahi, A. W., Siddiqui, M. H., Jagirani, A. W., and Oad, S. M. 2010. Growth, yield and nutrient uptake of various wheat cultivars under different fertilizer regimes. *Sarhad Journal of Agriculture* 26 (4): 489-497.
26. Lu, C. M., and Zhang, J. H. 2000. Heat-induced multiple effects on PSII in wheat plants. *Journal of Plant Physiology* 156: 259-265.
27. Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin, H., Hou, J., Huang, X., Xie, Y., and Guo, T. 2017. Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. *Frontiers in Plant Science* 8: 1-12.
28. Mansouri, H., and Hosseinpour, S. 2015. The parent specialized company and government commercial of Iran. *Cereal Research Centre. Int. Grains Council*. Pp. 97-93. (in Persian).
29. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd ed. Academic Press, New York.
30. Maxwell, K., and Johnson, G. K. 2000. Chlorophyll fluorescence a practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51: 659-668.
31. Mengel, K., and Kirkby, E. A. 2001. Principles of Plant Nutrition, 5th ed, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
32. Modhej, A., and Fathi, Gh. 2008. Wheat physiology. Islamic Azad University Publication (Shushtar branch). Pp. 317. (in Persian).
33. Mohammadi, M. 2012. Effects of kernel weight and source limitation on wheat grain yield under heat stress. *African Journal of Biotechnology* 11: 2931-2937.
34. Mohsin, A. U., Ahmad, A. U. H., Farooq, M., and Ullah, S. 2014. Influence of zinc application through seed treatment and foliar spray on growth, productivity and grain quality of hybrid maize. *The Journal of Animal and Plant Sciences* 24 (5): 1494-1503.
35. Mojtabaie Zamani, M., Nabipour, M., and Meskarbashee, M. 2015. Effect of heat stress during grain filling on photosynthesis and grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences* 17 (1): 1-17. (in Persian with English abstract).
36. Motaghi, S., and Saki Nejad, T. 2014. The effect of different levels of humic acid and potassium fertilizer on physiological indices of growth. *International Journal of Biosciences* 5 (2): 99-105.

37. Mousavi, S. R., Galavi, M., and Ahmadvand, G. 2007. Effect of zinc and manganese foliar application on yield, quality and enrichment on potato. *Asian Journal of Plant Sciences* 6 (1): 1256-1260.
38. Panahyan, M., and Jamaati, S. H. 2009. Study of variation trend of growth indices in lentil under drought stress. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 3: 4314-4326.
39. Radmehr, M. 1997. Effect of heat stress on physiology of growth and development of wheat. Ferdowsi University Press. Pp. 201. (in Persian).
40. Rahimi, A. 2012. Effect of planting date and nitrogen on growth and morphological traits of dry land wheat in Yasooj region of Iran. *Annals of Biological Research* 3 (7): 3263-3266.
41. Raza, M. A. S., Saleem, M. F., Shah, G. M., Jamil, M., and Khan, I. H. 2013. Potassium applied under drought improves physiological and nutrient uptake performances of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13 (1): 175-185.
42. Raza, M. A. S., Saleem, M. F., Shah, G. M., Khan, I. H., and Raza, A. 2014. Exogenous application of glycinebetaine and potassium for improving water relations and grain yield of wheat under drought. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 14 (2): 348-364.
43. Reynolds, M. P., Delgado, M. I. B., Gutierrez-Rodriguez, M., and Larque-Saavedra, A. 2000. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment. I: Genetic diversity and crop productivity. *Field Crops Research* 66: 37-50.
44. Shi, S. F., Goscho, G. J., and Rahil, G. S. 1981. Biomass production o sweet sorghum. *Agronomy Journal* 173: 1027-1031.
45. Tabatabaei, S. J. 2013. Principles of mineral nutrition of plants. Tabriz University Press. Pp. 544. (in Persian).
46. Van Kooten, O., and Snel, J. F. H. 1990. The use of chlorophyll flurescence nomenclature in plant strees physiology. *Photosynthesis Research* 25: 147-150.
47. Wang, H., and Jin, J. Y. 2007. Effects of Zinc deficiency and drought on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays* L.). *Agricultural Science in China* 6: 988-995.
48. Wang, J. M., Zhao, H., Huang, D., and Wang, Z. 2012. Different increases in maize and wheat grain zinc concentrations caused by soil and foliar applications of zinc in Loess Plateau, China. *Field Crops Research* 135: 89-96.
49. Wang, X., Zhao, X., Jiang, C., Li, C., Cong, S., Wu, D., Chen, Y., Yu, H., and Wang, C. 2015. Effects of potassium deficiency on photosynthesis and photoprotection mechanisms in soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Integrative Agriculture* 14 (5): 856-863.
50. Waraich, E. A., Ahmad, R., Ashraf, M., Saifullah, Y., and Ahmad, M. 2011. Improving agricultural water use efficiency by nutrient management in crop plants. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science* 61 (4): 291-304.
51. Waraich, E. A., Ahmad, R., Halim, A., and Aziz, T. 2012. Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants. A review: *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12: 221-244.
52. Wu, B., Caob, S. C., and Lib, Z. H. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixr, P and K solubilizer and AM fungi on maize growth. *Geoderma Journal* 125: 155-162.
53. Yadavi, A. R., Saeidi Aboueshaghi, R., Movahhedi Dehnavi, M., and Balouchi, H. 2014. Effect of micronutrients foliar application on grain qualitative characteristics and some physiological traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences* ISSN 4 (4): 124-131.
54. Zadoks, J. C., Chang, T. T., and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weeds Research* 14: 415-421.



Effect of Potassium and Zinc Foliar Application on Growth Physiological Indices, Chlorophyll Fluorescence Parameters and Yield of Two Bread Wheat Cultivars under Late Planting Date

H. Kamaei¹, H. R. Eisvand^{2*}, M. Daneshvar³, F. Nazarian-Firouzabadi⁴

Received: 14-06-2018

Accepted: 18-03-2019

Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important sources of plant food for human among the main crops globally. High temperature resulting from delay in planting is one major environmental factor limiting growth and production of wheat, especially in tropical regions. Most of the Iranian soils have high pH and calcareous nature, so absorption of nutrients is limited in these soils. Mineral nutrition of plants plays a critical role in increasing plant resistance to environmental stresses. Among the mineral nutrients, potassium plays a crucial role in the survival of crop plants under environmental stress conditions. Potassium is essential for many physiological processes, such as photosynthesis, maintenance of turgidity and activation of enzymes under stress conditions. Zinc is a ubiquitous micronutrient. It is required as a structural and functional component of many enzymes and proteins.

Materials and Methods

To study the effect of potassium and zinc foliar application on growth physiological indices, chlorophyll fluorescence parameters and yield of two bread wheat cultivars under late planting date, an experiment was conducted as split-split plot based on randomized complete blocks design with 16 treatments and three replications in Ramhormoz city during 2015-2016. The experimental factors were included planting date in two levels optimum (November 21) and late (January 5) as the main factor, nutrients foliar application in four levels (water as a control, potassium, zinc and combination potassium + zinc (each 3 l.ha⁻¹)) as the sub factor and two cultivars of bread wheat Pishtaz and Chamran 2 as the sub-sub factor. Solutions for foliar application were prepared by using potassium (21%) and zinc-chelate (7.5%). Traits measured were included leaf area index (LAI), leaf area duration (LAD), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR), net assimilation ratio (NAR), maximal quantum yield of PSII in the dark-adapted state (Fv/Fm), effective quantum yield of PSII photochemistry (ΦPSII), maximal quantum yield of PSII in the light-adapted state (Fv'/Fm'), nonphotochemical quenching (NPQ) and grain yield. To determine LAI, LAD, CGR, RGR, NAR, Fv/Fm, ΦPSII, Fv'/Fm' and NPQ were used from equations 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 and 9, respectively.

1: LAI= Pla×den /10000

2: LAD= 1/2 (LA₂+LA₁) (T₂-T₁)

3: CGR= [(W₂ - W₁)/(T₂ - T₁)] × (1/GA) × 100

4: RGR= [(lnW₂ - lnW₁)/(T₂ - T₁)] × 100

5: NAR= CGR/LAI

6: Fv/Fm= (Fm - F₀)/Fm

7: ΦPSII= (Fm - F_t)/Fm'

8: Fv'/Fm'= (Fm' - F₀')/Fm'

9: NPQ= (Fm - Fm')/Fm'

where, Pla is average leaf area per plant (cm²); den is real density (plant m⁻²); LA₁ is primary leaf area (cm²); LA₂ is secondary leaf area (cm²); T₁ is first sampling time (day); T₂ is second sampling time (day); W₁ is primary dry weight (g); W₂ is secondary dry weight (g); GA is ground area (m²); lnW₂ - lnW₁ is natural logarithm difference of dry weight; Fm is maximal fluorescence yield of the dark-adapted state; F₀ is minimal fluorescence yield of the dark-adapted state; Fv is variable fluorescence (dark) (Fm-F₀); F_t is fluorescence emitted by the leaves adapted to lighting; Fm' is maximal fluorescence yield of the light-adapted state; F₀' is minimal fluorescence yield of the light-adapted state, and Fv' is variable fluorescence (light) (Fm'-F₀'). The grain yield was determined at maturity stage and through the harvest of all spikes from the level of 1 m² per plot and after removing 0.5 m from the beginning and end respective planting rows (rows 5 and 6). Analysis of variance

1- PhD of Agronomy, Faculty of Agriculture, Lorestan University

2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University

3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University

4- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University

(*- Corresponding Author Email: eisvand.hr@lu.ac.ir)

was performed using general linear model (GLM) procedure of statistical analysis system (SAS version: 9.3). The means were analyzed using the least significant difference (LSD) method at $P=0.05$ (LSD 0.05).

Results and Discussion

The results showed that late planting date due to terminal heat stress significantly decreased LAI (30.0%), LAD (48.4%), CGR (21.8%), RGR (13.7%), NAR (22.4%), F_v/F_m (3.2%), $\Phi PSII$ (4.4%), F_v'/F_m' (3.2%) and grain yield (27.0%) of two cultivars of bread wheat Pishtaz and Chamran 2, but increased significantly the NPQ (22.7%). Potassium and zinc foliar application improved significantly traits the LAI (17.5%), LAD (17.62%), CGR (33.5%), RGR (12.0%), NAR (37.6%), F_v/F_m (3.1%), $\Phi PSII$ (7.4%), F_v'/F_m' (6.6%) and grain yield (17.30%) of two cultivars of bread wheat Pishtaz and Chamran 2 under late planting date except for the NPQ. Among the interactions of nutrients foliar application and bread wheat cultivars, the response of Pishtaz and Chamran 2 cultivars were more suitable to potassium foliar application, and zinc and zinc + potassium foliar application, respectively. As well as, among wheat cultivars cultivated under the conditions of non-application of potassium and zinc (control), Chamran 2 cultivar had a comparative advantage in all measured traits under both optimum and late planting dates compared to Pishtaz cultivar.

Conclusions

In general, it can be used from timely planting date, potassium and zinc foliar application and suitable wheat cultivar such as Chamran 2 as three management strategies to reduce the harmful effects of terminal heat stress caused by late planting date in Ramhormoz city.

Keywords: Cereals, Nutrients, Terminal heat stress



بررسی امکان جایگزینی پودر خون به جای مصرف کود سکستین آهن در گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa Officinalis* L.)

وحید محصلی^{۱*}، فرزاد فرهود^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۵

چکیده

کمبود آهن در گیاهان عمدتاً در خاک‌های آهنی و قلیایی مشاهده می‌شود. با توجه به این که شرایط شیمیایی این خاک‌ها علت اصلی بروز کلروز آهن می‌باشد و از طرفی به دلیل گران بودن کودهای آلی حاوی آهن لذا استفاده از ترکیبات آلی طبیعی و غنی شده از آهن مانند پودر خون نیز می‌تواند در برطرف نمودن کلروز آهن موثر باشد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، بررسی توان پودر خون در تأمین آهن مورد نیاز گیاه بادرنبویه بود. آزمایش فوق با سه سطح آهن (صفر، ۲/۵ و ۵ میلی گرم آهن در کیلوگرم خاک) از منبع سکستین آهن و چهار سطح پودر خون (صفر، ۱/۵، ۳ و ۵ گرم پودر خون در کیلوگرم خاک) بر روی گیاه دارویی بادرنبویه (*Melissa Officinalis* L.) اجرا گردید. پس از اتمام دوره رشد رویشی، وزن ماده خشک، غلظت آهن، کلروفیل a و b، کاروتنوئیدها و میزان اسانس گیاه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که کاربرد کود آهن و پودر خون سبب افزایش معنی‌داری در وزن خشک، غلظت آهن، کلروفیل، کاروتنوئیدها و عملکرد اسانس در گیاه بادرنبویه گردید. حداکثر وزن خشک گیاه ۱۴۱/۴ گرم در گلدان در شرایط مصرف کود آهن و پودر خون به ترتیب به میزان ۲/۵ میلی گرم و ۱/۵ گرم در کیلوگرم به دست آمد. مصرف پودر خون در سطوح اول، دوم و سوم آهن به ترتیب سبب ۱۳/۸، ۶/۸ و ۱۱/۷ درصد افزایش در غلظت آهن گیاه شد. کاربرد آهن و پودر خون به ترتیب به میزان ۵ میلی گرم و ۳ گرم در کیلوگرم سبب افزایشی معادل ۲۴۱/۷ درصد در میزان اسانس گیاه نسبت به شاهد گردید. همچنین مصرف همین میزان آهن و پودر خون باعث تولید حداکثری عملکرد اسانس (۳۰۸/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد) شد.

واژه‌های کلیدی: آهن، ترکیبات آلی، میزان و عملکرد اسانس، وزن خشک

مقدمه

پودر خون با سرعت بیشتری انجام می‌شود همچنین در اثر تجزیه آن اسیدیته خاک کاهش می‌یابد (Koenig and Johnson, 1999). آهن خون به شکل کلات بوده که این امر موجب می‌شود آهن از واکنش‌های شیمیایی و تبدیل شدن به شکل‌های غیرقابل استفاده محافظت گردد (Mortvedt, 1986). خون مهم‌ترین فرآورده جانبی تولید شده در کشتارگاه‌ها می‌باشد که تحت فشار و دمای زیاد به پودر خون تبدیل شده و در تغذیه دام و یا به عنوان کود استفاده می‌شود (Solomon, 2004). کشتارگاه صنعتی شیراز با ظرفیت کشتار روزانه ۸۵۰ راس دام سبک و ۱۰۰ راس دام سنگین، توان تولید روزانه ۵۰۰ کیلوگرم پودر خون را دارا می‌باشد. بخشی از پودر خون تولید شده به مصرف خوراک دام و طیور می‌رسد و بخش عمده‌ای از آن به هدر می‌رود. از این رو کاربرد این ماده در کشاورزی به منظور حاصلخیزی خاک علاوه بر جلوگیری از هدرروی آن، به رفع مشکلات زیست‌محیطی نیز منجر خواهد گردید.

بادرنجبویه (*Melissa Officinalis* L.) گیاهی دارویی از تیره نعنائیان، علفی چند ساله، با ریزوم چوبی، دارای برگ‌های پهن و تخم‌مرغی شکل به طول ۳-۶ سانتی‌متر که به صورت متقابل روی ساقه قرار می‌گیرند. رنگ برگ‌ها سبز تیره، سطح آنها ناصاف

خون با دارا بودن مقدار زیادی آهن و ایجاد وضعیت اسیدی در خاک می‌تواند تأثیر مفیدی بر انحلال بیشتر ترکیبات آهن داشته باشد (Mortvedt, 1986). معمولاً یک کیلوگرم خون دارای ۲۰-۳۰ گرم آهن به صورت فروس (Fe^{2+}) در گروه هم از مولکول هموگلوبین می‌باشد بنابراین استفاده از آن به عنوان یک منبع موثر در تأمین آهن گیاه توصیه می‌گردد (Yunta et al., 2013). خون که حدود ۲/۴-۸ درصد از وزن زنده بدن دام‌ها را شامل می‌شود منبع ارزشمندی از آهن آلی می‌باشد. در میان کودهای آلی، پودر خون به دست آمده از فعالیت کشتارگاه‌ها تنها کود آلی حاوی نیتروژن، آهن، فسفر، هورمون‌های مفید در رشد گیاهان، کمپلکس‌های آلی و اسید آمینه سودمند است (Solomon, 2004). در خاک‌های آهنی فرآیند آزادسازی آهن از

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

۲- مربی آموزشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

(Email: v.mohasseli@areeo.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v17i3.74666

افزایش مقدار اسانس در گیاه می‌گردد (Bagheri et al., 2013). عمدتاً کمبود آهن در خاک‌های آهکی در نواحی خشک مشاهده می‌شود. بالا بودن میزان بی‌کربنات در آب آبیاری و خاک ممکن است کمبود آهن را تشدید کند. به‌علاوه جذب آهن در خاک‌هایی که مواد آلی پایینی دارند کاهش می‌یابد (Havlin et al., 2005).

کلروز آهن به‌عنوان یکی از گسترده‌ترین و شدیدترین مشکلات تغذیه گیاهان در سطح جهانی مطرح می‌باشد. این عارضه در خاک‌های آهکی و قلیایی و از جمله قسمت اعظم خاک‌های ایران بر روی گیاهان مشاهده می‌شود. با توجه به این که علل بروز کلروز آهن در خاک‌های آهکی کمبود مطلق آن نیست بلکه به علت شرایط شیمیایی این خاک‌ها است که آهن موجود به‌صورت ترکیبات غیرمحلول درآمده و در نتیجه نیاز گیاه را از نظر آهن مرتفع نمی‌نماید لذا کاربرد کودهای آلی می‌تواند کلروز آهن را معالجه کند اما این کودها بسیار گران بوده لذا ترکیبات آلی طبیعی و همچنین غنی شده از آهن نیز می‌توانند در برطرف نمودن کلروز آهن مؤثر باشند که خون یک ترکیب طبیعی است که حاوی مقدار قابل توجهی آهن می‌باشد. آهن خون به صورت آلی در بخش هم مولکول هموگلوبین قرار داشته و خصوصیتی شبیه کلات‌های مصنوعی دارد (Yunta et al., 2013). در واقع تغذیه صحیح گیاهان دارویی آن هم از طریق روش‌های ارگانیک و زیستی نقش به‌سزایی در تولید اسانس این گیاهان دارد. با توجه به نقش مهم آهن در افزایش رشد گیاهان لذا مدیریت تغذیه این عنصر می‌تواند بر رشد بهینه و میزان اسانس گیاه دارویی بادرنجبویه مؤثر باشد. بنابراین تحقیق حاضر به منظور مطالعه توان پودر خون در تأمین آهن مورد نیاز گیاه دارویی بادرنجبویه به مرحله اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس واقع در شرق شهرستان شیراز با موقعیت جغرافیایی ۵۲/۳۵ درجه شرقی، ۲۹/۳۴ درجه شمالی و ارتفاع ۱۵۰۶ متر از سطح دریا به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۷ تیمار و در ۳ تکرار اجرا گردید. تیمارهای مورد استفاده شامل کود سکسترین آهن در ۳ سطح (صفر، ۲/۵ و ۵ میلی گرم آهن در کیلوگرم خاک) و پودر خون در ۴ سطح (صفر، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۳ گرم پودر خون در کیلوگرم خاک) بود. پودر خون مورد نیاز از کشتارگاه صنعتی شیراز واقع در کیلومتر ۱۰ جاده شیراز سروستان تأمین شد. نحوه تهیه پودر خون در کشتارگاه فوق بدین صورت است که خون حاصل از کشتار دام‌ها تحت حرارت و فشار زیاد به پودر خون تبدیل می‌گردد. برخی ویژگی‌های شیمیایی پودر خون مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. جهت اجرای این آزمایش مقدار ۴ کیلوگرم خاک با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مشخص (جدول ۲) داخل گلدان‌های پلاستیکی

بوده و برجستگی‌های متعددی دارند. ساقه این گیاه راست با مقطع چهار گوش بوده و به ارتفاع ۶۰-۴۰ سانتی متر می‌باشد (Omidbaigi, 2008). گل‌ها در قسمت فوقانی ساقه و در ناحیه زاویه برگ‌ها تشکیل می‌شوند. بذور این گیاه چنانچه در شرایط مناسبی نگهداری شوند تا چهار سال از قوه رویشی مناسبی برخوردارند. هرچند سرزمین اصلی این گیاه منطقه مدیترانه، عراق، ایران، پاکستان، ترکمنستان و جنوب و شرق اروپا می‌باشد اما در حال حاضر در سرتاسر نقاط جهان کشت می‌شود (Omidbaigi, 2008). در مطالعات متعددی که بر روی این گیاه انجام گرفته خواص گوناگونی برای آن به اثبات رسیده است که از رایج‌ترین این خواص می‌توان به آرام‌بخشی، آنتی‌اکسیدانی، رفع تنگی نفس، زکام، تب و لرز، تقویت حافظه، تقویت اعصاب و ضد نفخ اشاره کرد (Nahedkennedy et al., 2006). مهم‌ترین ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس بادرنجبویه راسیترونال (۲۰ تا ۵۰ درصد) تشکیل می‌دهد. سیترال، ژرانیول، لینالول، استات اوگنول و تانن از دیگر ترکیبات اسانس این گیاه دارویی می‌باشند. همچنین اسانس بادرنجبویه به مقدار بسیار کم حاوی موادی مانند رزمارینیک اسید، فنولیک اسید یک کربنه، فلدونوئید، فلاونول‌های رامنوسیتین، رامنازین و ایزوکوئرسیتین و مواد پکتیکی می‌باشد. اسانس این گیاه مایعی بی‌رنگ یا به رنگ زرد روشن یا زرد مایل به خاکستری و دارای بوی بسیار مطبوع شبیه بوی لیمو می‌باشد که اگر اسانس برگ گیاه قبل از گل‌دهی به‌دست آمده باشد این بو محسوس‌تر خواهد بود (De Carvalho et al., 2011).

آهن به‌عنوان یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاه نقش فیزیولوژیکی مهمی را در گیاهان بر عهده دارد (Blakrishman et al., 2000). آهن در واکنش‌های اکسایش و احیاء، ساختمان ترکیبات پروتئینی مانند سیتوکروم‌ها و فردوکسین و فعالیت برخی آنزیم‌ها مانند کاتالاز و پراکسیداز نقش مهمی را ایفا می‌نماید (Amuamuha et al., 2012). تحقیقات نشان داد که کمبود آهن سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در گیاه می‌گردد (Mohasseli et al., 2016). در بین عناصر کم‌مصرف، آهن نقش کلیدی در تشکیل کلروفیل و فتوسنتز داشته و از اهمیت زیادی در سیستم آنزیمی و تنفس گیاهان برخوردار می‌باشد. بنابراین کاربرد آن اثر مثبت بر تولید ماده خشک گیاه خواهد داشت. در مقابل از مهم‌ترین اثرات کمبود آهن، کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی است که نتیجه آن افزایش نسبی کارتنوئیدها در مقایسه با کلروفیل بوده که در نهایت سبزی‌نگی برگ‌ها و توان فتوسنتزی آنها را کاهش می‌دهد (Briat et al., 2007). محلول‌پاشی آهن سبب افزایش در عملکرد ماده خشک و درصد اسانس گیاه نعنا فلفلی گردید (Zehtab-Salmasi et al., 2008). همچنین مشاهده شد که عملکرد اسانس ریحان در اثر محلول‌پاشی آهن افزایش می‌یابد (Said-Al Ahl and Abeer, 2010). نتایج مطالعات محققان نشان داد که کاربرد آهن سبب

(3030, Perkin Elmer, Wellesley, MA) غلظت آهن اندازه‌گیری گردید (Jones, 1984).

غلظت کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها

جهت اندازه‌گیری غلظت کلروفیل و کاروتنوئیدها بایستی از نمونه‌هایی که برای تازه نگهداشتن آنها از قبل در نیتروژن مایع نگهداری شده‌اند استفاده نمود. براساس روش آرنون (Arnon, 1967) کلروفیل و کاروتنوئیدهای هر یک از نمونه‌های گیاهی با استفاده از استون ۸۰ درصد استخراج و پس از واسنجی دستگاه توسط استون ۸۰ درصد (شاهد)، جذب نوری در طول موج‌های ۴۷۰، ۴۴۵ و ۶۶۳ نانومتر توسط دستگاه طیف‌سنج (PD-303UV, Kawaguchi, Saitama, Japan) تعیین شد. در نهایت با استفاده از فرمول‌های زیر غلظت‌های کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تازه محاسبه گردید.

$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \cdot A_{663} - 0.86 \cdot A_{645}) V/100W$
 $\text{Chlorophyll b} = (19.3 \cdot A_{645} - 3.6 \cdot A_{663}) V/100W$
 $\text{Carotenoides} = 100(A_{470}) - 3.27(\text{mg chl. a}) - 104(\text{mg chl. b})/227$

در این فرمول‌ها V حجم محلول صاف شده (سانتی‌مترمکعب)، W وزن تر نمونه (گرم) استفاده شده و A جذب نوری در طول موج‌های ۴۷۰، ۴۴۵ و ۶۶۳ نانومتر می‌باشد.

استخراج اسانس گیاه

استخراج اسانس با استفاده از روش کارلس و سیمون (Charles and Simon, 1990) توسط تقطیر با آب در دستگاه کلونجر به مدت ۳-۴ ساعت انجام پذیرفت. در ابتدا ۱۰۰ گرم ماده خشک گیاهی پودر شده را به همراه آب مقطر درون بالن مخصوص دستگاه ریخته و عمل اسانس‌گیری با حرارت دادن بالن آغاز گردید. دو ساعت پس از شروع جوشیدن محلول، دستگاه را خاموش نموده و پس از سرد شدن، اسانس استخراج شده توسط لوله‌های باریک جمع‌آوری نموده سپس توزین و در نهایت میزان و درصد اسانس گیاه تعیین گردید. در حین جمع‌آوری اسانس از دستگاه کلونجر باید دقت کرد که اسانس حتی‌الامکان عاری از آب گردد، زیرا در صورت وجود رطوبت امکان انجام برخی واکنش‌ها بین آب و اجزای خاصی از اسانس وجود دارد. بدین منظور درون ظروف حاوی اسانس مقدار کمی سولفات سدیم خشک برای رطوبت‌گیری ریخته شد. عملکرد اسانس در واحد گلدان بر اساس حاصل‌ضرب عملکرد زیست‌توده و درصد اسانس محاسبه گردید (Evans, 1996).

تجزیه‌های آماری

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ سطح آهن و ۴ سطح پودر خون در ۳ تکرار بر روی گیاه بادرنجوبه به مرحله اجرا درآمد. داده‌های به‌دست آمده با نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای محاسبه میانگین‌ها از آزمون

ریخته و تعداد ۵ بوته بادرنجوبه تقریباً یکنواخت که مراحل آماده‌سازی آن در خزانه انجام گردیده بود به هر گلدان انتقال یافت. در طول مدت آزمایش وضعیت رشد گیاهان مورد بررسی و یادداشت‌برداری‌های لازم انجام و آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر تا حد ظرفیت مزرعه، از طریق توزین گلدان‌ها صورت گرفت. پس از اتمام دوره رشد رویشی، گیاهان به‌صورت دستی برداشت و پس از شستشو با آب مقطر جداگانه بسته‌بندی گردید.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی پودر خون مورد استفاده

Table 1- Some of chemical properties of Blood powder used

ویژگی‌های پودر خون	مقدار
Blood powder properties	Amount
اسیدیته pH	5.30
پروتئین خام (%) Raw protein	43.75
فسفر (%) P	0.56
پتاسیم ($\text{K}(\text{mg kg}^{-1})$)	500
کلسیم ($\text{Ca}(\text{mg kg}^{-1})$)	7500
منیزیم ($\text{Mg}(\text{mg kg}^{-1})$)	4000
آهن ($\text{Fe}(\text{mg kg}^{-1})$)	1000
روی ($\text{Zn}(\text{mg kg}^{-1})$)	81
مس ($\text{Cu}(\text{mg kg}^{-1})$)	< 0.05
منگنز ($\text{Mn}(\text{mg kg}^{-1})$)	5

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 2- Some of physical and chemical properties of soil tested

ویژگی‌های خاک	مقدار	روش اندازه‌گیری
Soil properties	Amount	Measurement method
بافت Texture	Loam	Bouyoucos (1962)
اسیدیته pH	7.5	Peech (1965)
قابلیت هدایت الکتریکی	1.2	
$\text{EC}(\text{ds m}^{-1})$		
ماده آلی (%) OM	1.19	Walkley and Black (1934)
ظرفیت تبادل کاتیونی	12.5	Chapman (1965)
$\text{CEC}(\text{Cmol kg}^{-1})$		
کلسیم کربنات معادل (%)	41.7	Allison and Moodie (1965)
CCE		
فسفر ($\mu\text{g gr}^{-1}$ soil) P	4.5	Olsen et al. (1954)
پتاسیم ($\mu\text{g gr}^{-1}$ soil) K	250	Knudsen et al. (1982)
آهن ($\mu\text{g gr}^{-1}$ soil) Fe	2.12	Lindsay and Norvell (1978)

غلظت آهن

در ابتدا نمونه‌های گیاهی را در دمای ۷۰ درجه سلسیوس تا ثابت شدن وزن نمونه‌ها خشک نموده سپس نمونه‌ها را جهت تهیه خاکستر در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس قرار داده و خاکستر فوق را در اسیدکلریدریک ۲ نرمال حل و عصاره به‌دست آمده را از کاغذ صافی عبور داده سپس توسط دستگاه جذب اتمی (Model

Duncan استفاده شده و محاسبه احتمال معنی دار بودن تفاوت ها در سطح ۵ درصد انجام شد. رسم نمودارها به کمک نرم افزار Excel صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی

همان طور که جدول ۳ نشان می دهد کاربرد آهن و پودر خون سبب افزایش معنی داری در وزن خشک اندام هوایی گیاه بادرنجبویه گردید. حداکثر وزن خشک گیاه ۱۴۱/۴ گرم در گلدان در شرایط مصرف آهن و پودر خون به ترتیب به میزان ۲/۵ میلی گرم و ۱/۵ گرم در کیلوگرم اندازه گیری شد که معادل ۲۲/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد (بدون مصرف آهن و پودر خون) می باشد. حداقل وزن ماده خشک گیاه ۱۱۵/۴ گرم در گلدان در شرایط عدم کاربرد آهن و پودر خون به دست آمد. نتایج موجود نشان می دهد که میانگین وزن ماده خشک گیاه در سطوح ۲/۵ و ۵ میلی گرم آهن در کیلوگرم به ترتیب ۱۳۳/۹ و ۱۳۰/۴ گرم در گلدان می باشد که نسبت به تیمار شاهد

(۱۲۵/۴ گرم در گلدان) به ترتیب از ۶/۸ و ۴/۱ درصد افزایش برخوردار است. همچنین میانگین ماده خشک گیاه در سطوح ۰/۷۵، ۱/۵ و ۳ گرم پودر خون در کیلوگرم نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۶/۴، ۹/۶ و ۱۱/۶ درصد افزایش را نشان می دهد. بنابراین جهت افزایش ماده خشک گیاه بادرنجبویه کاربرد توام ۲/۵ میلی گرم آهن و ۱/۵ گرم پودر خون در کیلوگرم توصیه می شود. بهبود شرایط تغذیه ای و نقش مثبت آهن می تواند در فتوسنتز و عملکرد فتوسنتزهای نوری در افزایش شاخص های رشد موثر باشد. تاثیر مثبت آهن بر عملکرد ماده خشک گیاهی به دلیل افزایش بیوسنتز اکسین، فعالیت فسفوانیول پیروات کربوکسیلاز و ریبوز بی فسفات کربوکسیلاز، غلظت کلروفیل و کارایی جذب عناصر می باشد هر چند در شرایط مصرف بالاتر از نیاز، این عنصر به عنوان فلز سنگین تعادل عناصر غذایی و فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را تحت تاثیر قرار داده و در نهایت موجب کاهش عملکرد ماده خشک گیاهی می گردد (Preeti et al., 2007).

جدول ۳- تاثیر سطوح مختلف آهن و پودر خون بر وزن خشک اندام هوایی، غلظت کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها در گیاه بادرنجبویه
Table 3- Effect of different levels of iron and Blood powder on shoot dry weight, chlorophyll a and b and carotenoids concentrations in Melissa

concentrations in mg kg ⁻¹					
سطح آهن Fe level (mg kg ⁻¹)	Different levels of Blood powder (gr kg ⁻¹) خون سطوح مختلف پودر				میانگین Mean
	0	0.75	1.5	3	
وزن خشک اندام هوایی (gr pot ⁻¹) Aerial dry weight					
0	115.42d	129.02b	131.04b	126.00b	125.37B
2.5	121.13c	132.05b	141.45a	140.79a	133.86A
5	128.02b	126.67b	127.01b	140.11a	130.45A
Mean	121.52C	129.25B	133.17AB	135.63A	
عملکرد اسانس (mg pot ⁻¹) Essential oil yield					
0	282.29i	459.98h	585.58f	596.13f	480.99C
2.5	500.14g	739.70e	931.61c	881.08c	763.13B
5	836.01d	910.27c	1032.68b	1153.14a	983.03A
Mean	539.48D	703.32C	849.96B	876.78A	
غلظت کلروفیل a (mg g ⁻¹ FW) a Chlorophyll a concentration					
0	1.15d	1.29cd	1.46c	1.84b	1.44B
2.5	1.44c	1.71b	1.75b	2.30a	1.80A
5	1.66bc	1.90b	2.11ab	2.43a	2.03A
Mean	1.42C	1.63BC	1.77B	2.19A	
غلظت کلروفیل b (mg g ⁻¹ FW) b Chlorophyll b concentration					
0	0.56e	0.53e	0.64d	0.81a	0.64B
2.5	0.64d	0.67cd	0.71c	0.80a	0.71A
5	0.68c	0.75b	0.72bc	0.79a	0.75A
Mean	0.63C	0.65BC	0.69B	0.80A	
غلظت کاروتنوئیدها (mg g ⁻¹ FW) Carotenoids concentration					
0	0.29c	0.28c	0.34b	0.33b	0.31B
2.5	0.29c	0.32b	0.34b	0.32b	0.32B
5	0.34b	0.33b	0.37a	0.34b	0.35A
Mean	0.31B	0.31B	0.35A	0.33AB	

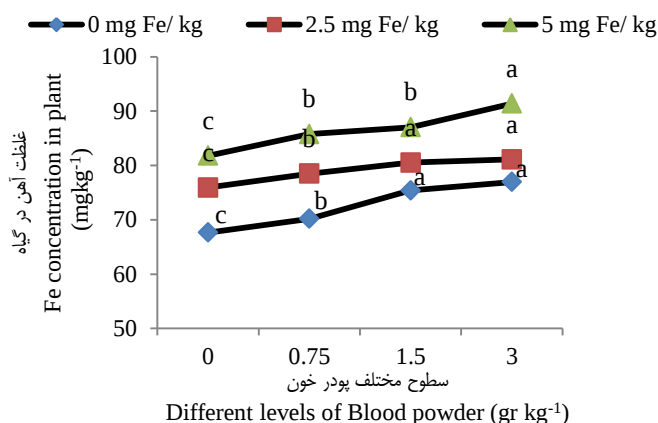
برای هر یک از پاسخ های گیاهی، میانگین هایی که در هر ردیف یا در هر ستون در یک حرف بزرگ و یا میانگین هایی که در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different using Duncan test (P<0.05)

غلظت آهن در گیاه

با افزایش سطوح مصرفی آهن، غلظت این عنصر در گیاه افزایش نشان داد (شکل ۱). به طوری که بیشترین غلظت آهن گیاه (۹۱/۴ میلی گرم در کیلوگرم) مربوط به سطح سوم آهن (۵ میلی گرم آهن در کیلوگرم خاک) در شرایط کاربرد ۳ گرم پودر خون در کیلوگرم به دست آمد که در واقع معادل ۳۵/۱ درصد افزایش در غلظت آهن نسبت به شاهد می باشد. کمترین غلظت آهن (۶۷/۶ میلی گرم در کیلوگرم) مربوط به سطح اول آهن (بدون مصرف آهن) در شرایط عدم کاربرد پودر خون می باشد. همانطور که افزایش سطوح کاربرد آهن سبب بالا رفتن غلظت آن در گیاه گردید همچنین کاربرد پودر خون نیز باعث افزایش غلظت آهن در گیاه شد (شکل ۱). به طوری که کاربرد پودر خون در سطوح اول، دوم و سوم آهن به ترتیب سبب ۱۳/۸، ۶/۸ و ۱۱/۷ درصد افزایش در غلظت آهن گیاه گردید. نتایج به دست آمده بیانگر این است که با کاربرد آهن و پودر خون فراهمی آهن در خاک افزایش یافته و در نتیجه جذب آن توسط گیاه بیشتر شده و غلظت آن

در اندام هوایی افزایش می یابد. محققان نیز نتیجه گرفتند کاربرد خون حیوانات در کاهش کمبود آهن در انگور بسیار موثر است (Tessarini et al., 2013). بررسی ها نشان داد که می توان از پودر خون به عنوان یک منبع موثر در تامین آهن مورد نیاز گیاه استفاده نمود زیرا آهن موجود در آن به شکل آهن قابل جذب گیاه (Fe^{2+}) می باشد (Yunta et al., 2013). محققان پس از مطالعه بر روی پودر خون بیان داشتند که توانایی پودر خون در برطرف نمودن علائم کمبود آهن در سویا به اندازه کود سبکترین موثر است. به طوری که بین غلظت آهن در گیاهانی که پودر خون دریافت کرده بودند با گیاهانی که با Fe EDDHA تیمار شده بودند اختلاف معنی داری به دست نیامد (Kalbasi and Shariatmadari, 1993). تحقیقات نشان داد که مصرف ۷۰ گرم پودر خون برای هر درخت گلابی *Pirus Communis L.* معادل کاربرد ۱۸۰ میلی گرم آهن می باشد. همچنین مشاهده گردید که مصرف این میزان پودر خون سبب کاهش علائم کمبود آهن در درختان گلابی شد (Tagliavini et al., 2000).



شکل ۱- تاثیر سطوح مختلف آهن و پودر خون بر غلظت آهن در گیاه بادنجبویه

(میانگین های دارای یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند).

Figure 1- Effect of different levels of iron and Blood Powder on Fe concentration in Melissa plant (Means with the same letters, indicated significant difference at 5% probability level).

۲۷ درصد (۰/۶ به ۰/۸ میلی گرم در گرم) افزایش نشان داد. حداکثر و حداقل غلظت کلروفیل b به ترتیب ۰/۸ (در شرایط عدم مصرف آهن و ۳ گرم پودر خون در کیلوگرم) و ۰/۵ (میلی گرم در گرم (در شرایط کاربرد ۰/۷۵ گرم پودر خون در کیلوگرم و عدم مصرف آهن) اندازه گیری گردید. غلظت کاروتنوئیدها با کاربرد آهن و پودر خون افزایش نشان داد (جدول ۳). میانگین غلظت کاروتنوئیدها در سطوح اول، دوم و سوم آهن به ترتیب ۰/۳۱، ۰/۳۲ و ۰/۳۵ میلی گرم در گرم و در سطوح اول تا چهارم پودر خون به ترتیب ۰/۳۱، ۰/۳۱، ۰/۳۵ و ۰/۳۳ میلی گرم در گرم به دست آمد. حداکثر غلظت کاروتنوئیدها ۰/۳۷ میلی گرم در گرم در شرایط کاربرد ۵ میلی گرم آهن در کیلوگرم در سطح سوم مصرفی پودر خون و حداقل آن ۰/۲۸ میلی گرم در گرم در شرایط عدم مصرف آهن همراه با کاربرد ۰/۷۵ گرم پودر خون در

غلظت کلروفیل و کاروتنوئیدها در گیاه

همان طور که در جدول ۳ مشاهده می شود کاربرد آهن سبب افزایش معنی داری در غلظت کلروفیل a گیاه گردید. میانگین غلظت کلروفیل a در اثر مصرف ۵ میلی گرم آهن در کیلوگرم خاک از ۱/۴ به ۲ میلی گرم در گرم افزایش یافت که معادل ۴۱ درصد افزایش می باشد. کاربرد پودر خون نیز به طور معنی داری غلظت کلروفیل a را در گیاه افزایش داد به طوری که مصرف ۳ گرم پودر خون در کیلوگرم غلظت آن را به مقدار ۵۴/۲ درصد بالا برد. غلظت کلروفیل b نیز مانند کلروفیل a در اثر مصرف آهن و پودر خون افزایش نشان داد (جدول ۳). کاربرد ۵ میلی گرم آهن در کیلوگرم خاک سبب ۱۷/۲ درصد (۰/۶ به ۰/۷ میلی گرم در گرم) افزایش در غلظت کلروفیل b شد. غلظت کلروفیل b نیز در اثر مصرف ۳ گرم پودر خون در کیلوگرم

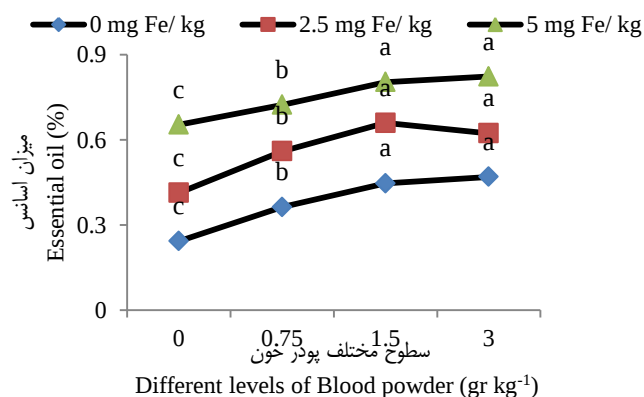
گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شد که معادل ۳۰۸/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد (بدون مصرف آهن و پودر خون) می‌باشد. حداقل عملکرد اسانس گیاه ۲۸۲/۳ میلی‌گرم در گلدان در شرایط عدم کاربرد آهن و پودر خون به‌دست آمد. مطالب فوق بیانگر این واقعیت است که با افزایش غلظت آهن در خاک جذب این عنصر توسط گیاه افزایش می‌یابد اما با توجه به کم‌مصرف بودن این عنصر در نتیجه در غلظت‌های پایین باعث تحریک بیشتر رشد، فتوسنتز و توسعه پوشش گیاهی می‌شود که به‌دنبال آن عملکرد اسانس و ماده خشک نیز افزایش می‌یابد (Preeti pande et al., 2007; Said-Al Ahl et al., 2010). از آنجا که عملکرد اسانس حاصل ضرب مقدار اسانس در وزن ماده خشک اندام هوایی گیاه می‌باشد لذا با افزایش صفات مذکور، عملکرد اسانس نیز افزایش می‌یابد. مطالعات محققان نشان داد که مصرف عناصر کم‌مصرف در سطوح پایین ضمن گسترش سطح برگ، سبب افزایش تعداد غدد ترشح‌کننده و میزان اسانس در گیاه نعنای فلفلی گردید (Zehtab-Salmasi et al., 2008). با توجه به نقش آهن در ساختمان کلروپلاست بنابراین کاربرد این عنصر سبب افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه شده که این افزایش منجر به تولید بیشتر غده‌های ترشح‌کننده اسانس در برگ می‌شود (Evans, 1996). تحقیقات بر روی گیاه نعنای نشان داد که مصرف آهن و روی افزایش رشد گیاه، ترکیبات آروماتیک و درصد اسانس را به‌دنبال داشت (Zehtab-Salmasi et al., 2008). اسانس‌ها از گروه شیمیایی ترپن‌ها هستند و با توجه به این که واحد سازنده ترپن‌ها از جمله ایزوپنتیل پیروفسفات و دی‌متیل‌آلیل پیروفسفات نیاز مبرم به NADPH و ATP دارند لذا فتوسنتز و فرآورده‌های آن ارتباط مستقیمی با تولید اسانس گیاه دارند زیرا همبستگی بین فتوسنتز و تولید اسانس نشان می‌دهد که گلوکز به‌عنوان پیش ماده مناسب برای تولید NADPH و ATP در سنتز اسانس و به‌ویژه مونوترپن‌ها عمل می‌کند (Dubey et al., 2003).

کیلوگرم اندازه‌گیری گردید. به نظر می‌رسد که افزایش کلروفیل می‌تواند ناشی از نقش عملکردی آهن در فعال‌سازی سنتز پروتئین، بیوسنتز کلروفیل و برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتایون ردوکتاز در مسیر حفاظت از تخریب کلروفیل توسط رادیکال‌های فعال اکسیژن باشد (Blakrishnan et al., 2000).

درصد و عملکرد اسانس گیاه

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد در همه سطوح مصرفی آهن و پودر خون میزان اسانس نسبت به شاهد افزایش داشته است. بیشترین درصد اسانس (۰/۸ درصد) با کاربرد آهن و پودر خون به‌ترتیب به میزان ۵ میلی‌گرم و ۳ گرم در کیلوگرم که معادل ۲۴۱/۷ درصد افزایش نسبت به شاهد (بدون مصرف آهن و پودر خون) می‌باشد و کمترین مقدار آن (۰/۲ درصد) در شرایط عدم مصرف آهن و پودر خون به‌دست آمد. در واقع به‌دلیل این که آهن سبب افزایش توان فتوسنتزی و زیاد شدن پیش‌سازهای ترکیبات فنولی مورد نیاز برای سنتز اسانس‌ها در گیاه می‌شود لذا مصرف این عنصر سبب افزایش تولید اسانس می‌گردد (Dubey et al., 2003). مطالعات نشان داد که گیاهان دارویی در طول دوره رشد و تولید مواد موثره به میزان مناسبی از عناصر کم‌مصرف نیاز دارند. به‌طوری که تامین کافی آن‌ها تعداد غدد ترشح‌کننده اسانس و به‌دنبال آن میزان اسانس را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد (Pirzad et al., 2013).

کاربرد آهن و پودر خون به‌طور معنی‌داری سبب بالا رفتن عملکرد اسانس گیاه بادرنجبویه گردید (جدول ۳). هرچند سطح دوم آهن (۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) سبب افزایش بیشتری نسبت به سطح قبلی آن گردید. مصرف پودر خون نیز فقط در دو سطح دوم و سوم آن سبب افزایش قابل ملاحظه‌ای در عملکرد اسانس شد. به‌طوری که حداکثر عملکرد اسانس ۱۱۵۳/۱ میلی‌گرم در گلدان در شرایط مصرف آهن و پودر خون به‌ترتیب به میزان ۵ میلی‌گرم و ۳



شکل ۲- تاثیر سطوح مختلف آهن و پودر خون بر میزان اسانس گیاه بادرنجبویه

(میانگین‌های دارای یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

Figure 2- Effect of different levels of iron and Blood powder on essential oil of Melissa plant (Means with the same letters, indicated significant difference at 5% probability level).

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، کاربرد کود سبکترین آهن و پودر خون سبب افزایش ماده خشک گیاهی، غلظت کلروفیل و کاروتنوئیدها و میزان اسانس گیاه بادرنجبویه گردید. هر چند در سطوح بالای این تیمارها سبب افزایش کمتری در رشد و در نتیجه عملکرد اسانس گردید. با توجه با تاثیر مثبت مصرف آهن بر عملکرد

اسانس گیاه بادرنجبویه و از طرفی دیگر با در نظر گرفتن گرانی کودهای آلی حاوی آهن لذا کاربرد پودر خون در کشت و کار این گیاه دارویی توصیه می شود. همچنین با توجه به عدم بروز علائم ظاهری سمیت در سطوح بالای آهن مصرف شده، بنابراین کشت و کار گیاه بادرنجبویه در خاک های دارای آلودگی متوسط آهن پیشنهاد می گردد. هر چند انجام تحقیقات بیشتری در این زمینه ضروری به نظر می رسد.

References

- Allison, L. E., and Moodie, C. D. 1965. Carbonate. P. 1379-1396. In C. A. Black et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2, Monograph No. 9, American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Amuamuha, L., Pirzad, A., and Hadi, H. 2012. Effect of varying concentrations and time of Nanoiron foliar application on the yield and essential oil of Pot marigold. International Research Journal of Applied and Basic Sciences 3 (10): 2085-2090.
- Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in plants. Agronomy Journal 23: 112-121.
- Bagheri, A., Rahmani, A., and Abbaszadeh, B. 2013. The effect of iron chelate foliar application on damask rose. Journal of Biological Research 4 (4): 53-55.
- Blakrishman, K., Rajendran, C., and Kulandaivelu, G. 2000. Differential responses of iron, magnesium, and zinc deficiency on pigment composition, nutrient content and photosynthetic activity in tropical fruit crops. Photosynthetic Activity 38: 477-479.
- Briat, J. F., Curie, C., and Gaymard, F. 2007. Iron utilization and metabolism in plants. Current Opinion in Plant Biology 10: 276-282.
- Bouyoucos, C. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soils. Agronomy Journal 54: 464-465.
- Chapman, H. D. 1965. Cation-exchange capacity. P. 891-903. In C. A. Black et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2, American Society of Agronomy. Madison, WI.
- Charles, D. J., and Simon, J. E. 1990. Comparison of extraction methods for rapid determination of essential oil content and composition of basil. Journal of the American Society for Horticultural Science 115 (3): 458-462.
- De Carvalho, N. C., Correa-Angeloni, M. J., Leffa, D. D., Moreira, J., Nicolau, V., and De Aguiar Amaral, P. 2011. Evaluation of the genotoxic and antigenotoxic potential of Melissa officinalis in mice. Genetics and Molecular Biology 34 (2): 290-297.
- Dubey, V. S., Bhalla, R., and Lithra, R. 2003. Sucrose mobilization in relation to essential oil biogenesis during palmarosa (*Cymbopogon martini* Roxb. Wats. var. motia) inflorescence development. Biological Sciences 28 (4): 479-487.
- Evans, W. C. 1996. Pharmacognosy. 14th Edition. Chapter 21. Volatile Oils and Resins. John Wiley, New York, 259-260 pp.
- Jones, J. B. 1984. Plants. In: Williams, S. (ed.). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. pp.: 38-64. Arlington, Virginia, USA.
- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., and Nelson, W. L. 2005. Soil fertility and fertilizer: An Introduction to Nutrient Management. Upper Saddle River, Newjersey, United States. pp. 515.
- Kalbasi, M., and Shariatmadari, H. 1993. Blood powder, a source of iron for plants. Journal of Plant Nutrition 16: 2213-2223.
- Knudsen, D., Peterson, G. A., and Part, P. F. 1982. Lithium, sodium and potassium, pp. 225-246. In A. L. Page et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part II, 2nd ed., Monograph No. 9, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Koenig, R., and Johnson, M. 1999. Selection and using organic fertilizers. Utah State University Extension. Department of Agriculture.
- Lindsay, W. L., and Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal 42: 421-428.
- Mohasseli, V., Khoshgoftarmanesh, A. H., and Shariatmadari, H. 2016. The effect of air pollution on leaf iron (Fe) concentration and activity of Fe-dependent antioxidant enzymes in Maple. Water, Air, & Soil Pollution 227 (12): 1-11.
- Mortvedt, J. J. 1986. Iron sources and management practices for correcting iron chlorosis problem. Journal of Plant Nutrition 9: 967-974.
- Nahed Kennedy, D. O., Little, W., Haskell, C., and Scholey, A. B. 2006. Anxiolytic effects of a combination of *Melissa officinalis* and *Valeriana officinalis* during laboratory induced stress. Phytotherapy Research 20: 96-102.

22. Olsen, S. R. C., Cole, V., Watanabe, F. S., and Dean, L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA Cir. 939, U.S. Government, Printing Office, Washington, DC.
23. Omidbaigi, R. Production and Processing of medicinal plants (In Persian). Astan'eQods'eRazavi publication. Vol 3. Tehran-Iran. 2008, 397pp.
24. Peech, M. 1965. Hydrogen ion activity. P. 922-923. In C. A. Black et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2, American Society of Agronomy, Madison, WI.
25. Pirzad, A., Toosi, P., and Darvishzadeh, R. 2013. Effect of iron and zinc soluble application on plant traits and essential oil content of anise. Journal of Agricultural Sciences of Iran 15 (1): 12-23. (in Persian).
26. Preetipande, M., Anwar, S. C., Yadov, V., and Patra, D. 2007. Optimal level of Iron and Zinc in relation to its influence on herb yield and protection of essential oil in menthol mint. Communications in Soil Science and Plant Analysis 38: 561-578.
27. Said-Al Ahl, H. A. H., and Abeer, A. M. 2010. Effect of zinc and / or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. Ozean Journal of Applied Sciences 3 (1): 97-111.
28. Solomon, S. 2004. Organic Gardener's Composting. Chapter 4. All About Materials. p: 49-66.
29. Tagliavini, M., Abadía, J., Rombola, A. D., Abadia, A., Tsipouridis, C., and Marangoni, B. 2000. Agronomic means of the control of iron deficiency chlorosis in deciduous fruit trees. Journal of Plant Nutrition 23: 2007-2022.
30. Tessarin, P., Yunta, F., Ingrosso, E., ConceiçãoBoliani, A., Covarrubias, J. A., and Rombola, A. D. 2013. Improvement of grapevine iron nutrition by a bovine blood-derived compound. ActaHorticulturae13: 984-992.
31. Walkley, A., and Black, T. A. 1934. An examination of the Degljareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38.
32. Yunta, F., Di Foggia, M., Bellido Diaz, V., Morales Calderon, M., Tassarini, P., and DomenicoRombola, A. 2013. Blood meal-based compound. Good choice as iron fertilizer for organic farming. Journal of Agricultural and Food Chemistry 61: 3995-4003.
33. Zehtab-Salmasi, S., Heidari, F., and Alyari, H. 2008. Effect of micronutrients and plant density on biomass and essential oil production of peppermint (*Mentha piperita* L.). Plant Sciences Research 1 (1): 24-28.



The Possibility of Replacing Blood Powder Instead of Fe EDDHA Consumption in *Melissa Officinalis* L.

V. Mohasseli^{1*}, F. Farbood²

Received: 08-08-2018

Accepted: 14-04-2019

Introduction

Iron deficiency is found mainly in plants in calcareous and alkaline soils. Regarding the fact that chemical conditions of the soils are main cause of iron chlorosis, and because of chalet fertilizers are expensive therefore, use of organic and iron-rich organic compounds such as blood powder can be effective in removal of iron chlorosis. Blood can have a beneficial effect on more dissolution of iron compounds. One kg of blood contains 20-30 g iron in ferrous form (Fe^{2+}) in hemoglobin molecule. Therefore, it can use as an effective source of iron. Blood powder is only organic fertilizers containing nitrogen, iron, phosphorus, organic complexes and amino acids useful hormones in plants growth. The process of iron liberation from Blood powder is carried out more rapidly in calcareous soils. Further, decomposition of it reduces soil reaction. Iron is chalet form in Blood which it makes to protect Fe from chemical reactions and conversation into non available forms. Therefore, the purpose of this study was to investigate potential of blood powder in supplying iron of *Melissa Officinalis* L.

Materials and Methods

The experiment was performed as factorial in a completely randomized design with three levels of Fe-EDDHA (Zero, 2.5 and 5 mg Fe kg^{-1} soil) and 4 levels of Blood powder (Zero, 0.75, 1.5 and 3 g blood powder kg^{-1} soil) in Three replication on *Melissa Officinalis* L. medicinal plant. There were measured dry weight, concentration of Fe, chlorophyll a and b, carotenoids and essential oil content after the end of vegetative growth period.

Results and Discussions

The results showed that application of Fe-EDDHA and Blood powder increased significantly shoot dry weight, concentration of Fe, chlorophyll, carotenoids and essential oil yield in plant. The maximum of plant dry weight was 141.4 g.pot⁻¹ under conditions of Fe EDDHA and Blood powder intake of 2.5 mg and 1.5 g kg^{-1} respectively, which it was equal to 22.5% higher than control. Consumption of 5 mg Fe and 3 g kg^{-1} blood powder caused 35.1% increase in Fe concentration compared to control. Blood powder consumption increased 13.8, 6.8 and 11.7% in the first, second and third levels of iron, respectively. Chlorophyll b concentration was increased 17.2 and 23.0% by application of mg Fe and 3 g blood powder kg^{-1} soil, respectively. Concentration averages of carotenoids were 0.31, 0.32 and 0.35 mg.g^{-1} in the first, second and third levels of iron, respectively. But the averages were 0.31, 0.31, 0.35 and 33.3 mg.g^{-1} in the first to fourth levels of blood powder, respectively. The amount of essential oil was increased at all levels of iron and blood powder compared to control, which it was obtained 241. 7% increasing with compared to control by application of iron and blood powder of 5 mg and 3 g kg^{-1} , respectively. The same amount of iron and blood powder produced the maximum essential oil yield (304.5% higher compared to control).

Conclusions

In general, the results of the study showed that application of Fe-EDDHA and blood powder increased plant dry matter, iron, chlorophyll and carotenoids concentration and essential oil content of *Melissa Officinalis* L. However, at higher levels of these treatments, it caused a lower growth in growth and essential oil yield. Regarding the positive effect of iron intake on essential oil yield of *Melissa Officinalis* L. and on the other hand, considering the cost of iron organic fertilizers, the use of blood powder is recommended in the cultivation of the medicinal plant. Also, due to the lack of apparent symptoms of toxicity at high levels of iron thus, cultivation of *Melissa* plant is suggested in soils with a medium of Fe pollution. Although it seems more research is needed in this regard.

Keywords: Amount and yield of essential oil, Dry weight, Iron, Organic compounds

1 and 2- Assistant Professor and Member of Scientific Board, respectively, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran

(*- Corresponding Author Email: v.mohasseli@areeo.ac.ir)



اثر محلول پاشی تنظیم کننده های رشد بر رشد و القای تحمل به گرمای انتهای فصل گندم (*Triticum aestivum* L.)

نفیسه اسدی نسب^۱، مجید نبی پور^{۲*}، حبیب اله روشنفکر^۳، افراسیاب راهنما قهفرخی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۳

چکیده

این پژوهش به منظور مطالعه تأثیر محلول پاشی اسید سالیسیلیک و اسید آبسزیک بر کاهش اثرات سوء تنش گرمای دوره زایشی بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گندم (رقم فونگ و چمران)، طی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵، به صورت کرت های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه آزمایشی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. تنش گرما با توجه به برآورد ۳۰ ساله دمای محیط و بر اساس تاریخ کاشت لحاظ گردید. در این آزمایش سه عامل محلول پاشی شامل شاهد (عدم محلول پاشی)، اسید آبسزیک (۳۰ میلی گرم در لیتر) و اسید سالیسیلیک (۶۹ میلی گرم در لیتر) و زمان کاربرد ترکیبات شیمیایی مختلف شامل ۱۵ روز قبل از گلدهی، گلدهی، ۱۵ روز پس از گلدهی و محلول پاشی در سه زمان ۱۵ روز قبل از گلدهی، گلدهی و ۱۵ روز پس از گلدهی و ارقام گندم فونگ و چمران، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که محلول پاشی سبب افزایش تعداد دانه در بوته (اسید سالیسیلیک با متوسط ۹۴/۵ و اسید آبسزیک با متوسط ۸۶/۴ دانه در بوته) در مقایسه با تیمار شاهد (با متوسط ۷۵ دانه در بوته) شد که افزایش وزن دانه را به دنبال داشت. با توجه به نتایج صفات وزن دانه در بوته (۴/۰ گرم در بوته)، وزن هزار دانه (۴۱/۲ گرم) و شاخص برداشت (۴۹/۶ درصد) به نظر می رسد که محلول پاشی اسید سالیسیلیک ۶۹ میلی گرم بر لیتر در زمان گلدهی و دو هفته قبل و پس از آن در رقم چمران در استان خوزستان و مناطقی با شرایط مشابه، مناسب باشد.

واژه های کلیدی: اسید آبسزیک، اسید سالیسیلیک، شاخص برداشت، وزن دانه در بوته

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از غلات است که به طور وسیع در جهان کشت می شود (Kumar et al., 2012). حدوداً ۴۰ درصد از کل زمین های آبی که گندم در آن ها کشت می شود متأثر از تنش گرما هستند (Reynolds et al., 2001). رشد و عملکرد گیاه متأثر از تنش های محیطی به ویژه دمای بالا است (Ferris et al., 1998). گندم نیز در طول مرحله زایشی به دمای بالا حساس است. تنش گرما بر فتوسنتز، ترکیبات غشایی سلولی و درون سلولی، محتوای پروتئین ها و فعالیت آنتی اکسیدان ها مؤثر است و به طور قابل توجهی تولید گیاه را محدود می کند (Kumar et al., 2012). گرمای جهانی با تغییر در الگوهای آب و هوایی و افزایش تکرار وقایع حاد به چالش مهمی در تولید گیاهان زراعی و باغی تبدیل شده است (Wahid et al., 2007). نقش اسید آبسزیک به عنوان هورمون کنترل کننده تنش به خوبی اثبات شده است (Zhang et al., 2015). در شرایط تنش هایی که منجر به کم آبی می گردند، اسید آبسزیک تولید و به عنوان یک پیام به سلول های محافظ روزنه ارسال می شود. در آنجا اسید آبسزیک سبب بسته شدن روزنه ها شده و روابط آبی گیاه را بهبود می بخشد (Hussain et al., 2012). اسید آبسزیک سیتوزولی در طول تنش افزایش می یابد که نتیجه ی زیست ساخت آن در برگ و ورود از ریشه ها و بازچرخش از سایر برگ ها است. میزان اسید آبسزیک پس از جذب مجدد رطوبت به دلیل تجزیه و صدور از برگ ها و همچنین کاهش در نسبت زیست ساخت آن، کاهش می یابد (Hussain et al., 2012). اسید سالیسیلیک به عنوان یک مولکول پیام رسان سبب افزایش ترکیبات دفاعی مانند پرولین می شود (Sakhabudinova et al., 2003). مکانیسم عمل اسید سالیسیلیک در برابر تنش ها به نقش آن در تنظیم آنتی اکسیدان ها و ترکیبات دارای گونه های اکسیژن فعال در گیاه مرتبط است و اسید سالیسیلیک از این طریق گیاه را از آسیب های اکسیداتیو حفظ می کند (Khan et al., 2003). همچنین کاربرد اسید سالیسیلیک مقدار پلی آمین های پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین را در گیاه افزایش می دهد که می تواند به ثبات غشاء تحت شرایط تنش کمک کند (Nemeth et al., 2002). افزایش وزن دانه ذرت در تیمار اسید سالیسیلیک ناشی از

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از غلات است که به طور وسیع در جهان کشت می شود (Kumar et al., 2012). حدوداً ۴۰ درصد از کل زمین های آبی که گندم در آن ها کشت می شود متأثر از تنش گرما هستند (Reynolds et al., 2001). رشد و عملکرد گیاه متأثر از تنش های محیطی به ویژه دمای بالا است (Ferris et al., 1998). گندم نیز در طول مرحله زایشی به دمای بالا حساس است. تنش گرما بر فتوسنتز، ترکیبات غشایی سلولی و درون سلولی، محتوای پروتئین ها و فعالیت آنتی اکسیدان ها مؤثر است و به طور قابل توجهی تولید گیاه را محدود می کند (Kumar et al., 2012). گرمای جهانی با تغییر در الگوهای آب و هوایی و افزایش تکرار وقایع حاد به چالش مهمی در تولید گیاهان زراعی و باغی تبدیل شده است

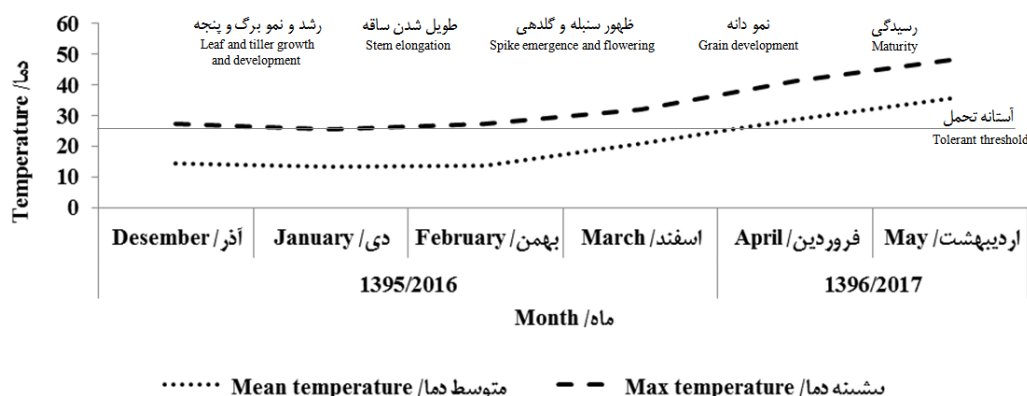
۱- دانش آموخته دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
(*) نویسنده مسئول:
(Email: m.nabipour@scu.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v17i3.74916

می‌کند. بدین منظور آزمایش حاضر باهدف کاهش اثرات سوء گرما بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در اهواز اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵، به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه آزمایشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. این آزمایش به‌صورت گلدانی (در شرایط طبیعی) اجرا و تنش گرما با توجه به برآورد ۳۰ ساله دمای محیط و بالاتر بودن آن نسبت به آستانه تحمل گرمایی گیاه گندم (۲۶ درجه سانتی‌گراد)، بر اساس تاریخ کاشت (کشت در تاریخ ۱۵ آذرماه) لحاظ گردید (شکل ۱).

انتقال بیشتر آسمیلات‌ها و مواد حاصل از فتوسنتز به دانه‌ها می‌باشد (Zhou et al., 1999). زیرا در شرایط تنش، اسید سالیسیلیک باعث افزایش معنی‌دار سطح برگ و وزن خشک اندام‌های هوایی و مقدار کلروفیل کل ذرت (*Zea mays* L.) گردید (Zhou et al., 1999). برخی محققان عنوان کردند محلول‌پاشی برگی اسید سالیسیلیک در گندم، تولید را به دلیل بهبود ارتفاع بوته، تعداد و سطح سبز برگ، قطر و وزن خشک ساقه و وزن خشک برگ‌های گیاه کامل افزایش داد (Hussain et al., 2012). افزایش تحمل گیاهان از طریق استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد راه‌کاری عملی است. استفاده از مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی با افزایش فعالیت مکانیسم‌های دفاعی گیاه و همچنین بهبود خسارت‌های واردشده به گیاه نقش مؤثری در مقابله با تنش ایفا



شکل ۱- متوسط و بیشینه دما در مراحل نمو مختلف گندم در اهواز

Figure 1- Mean and max temperatures at developed stages of Wheat in Ahvaz

جدول ۱- نتایج آزمون خاک

Table 1- Soil test results

هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	نیتروژن N (mg.kg ⁻¹)	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)
1.4	8.04	63	14.00	244

در این آزمایش سه عامل مورد بررسی قرار گرفت. عامل اول: محلول‌پاشی شامل شاهد (عدم محلول‌پاشی)، محلول‌پاشی با اسید

آبزیلیک ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر (سیگما آلدریج با وزن مولکولی ۲۶۴/۳۲ گرم بر مول) (Zhang et al., 2015) و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک ۶۹ میلی‌گرم بر لیتر (مرک با وزن مولکولی ۱۳۸/۱۲ گرم بر مول) (Pirasteh-Anosheh et al., 2015). عامل دوم: زمان محلول‌پاشی شامل محلول‌پاشی ۱۵ روز قبل از گلدهی (آغاز تورم غلاف- کد ۴۳ زیداکس)، محلول‌پاشی در زمان گلدهی (ظاهر شدن نخستین بساک‌ها- کد ۶۱ زیداکس)، محلول‌پاشی ۱۵ روز پس از گلدهی، محلول‌پاشی در سه زمان ۱۵ روز قبل از گلدهی، گلدهی و ۱۵ روز پس از گلدهی. عامل سوم: ارقام گندم شامل فونگ (زودرس، از انواع گندم نان، مبدأ سمیت و پدیگری fong chan # 3 TRT

مبدأ سمیت و پدیگری (Attila 50). ابتدا خاک گلدان‌ها (خاک مزرعه) توسط قارچ‌کش بنومیل دو در هزار ضدعفونی شده و پس از آن با توجه به آزمون خاک گلدان‌ها (جدول ۱)، کودهای شیمیایی بر اساس توصیه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان برای گیاه گندم (شامل: ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره [با فرمول شیمیایی CO(NH₂)₂، ۱۱۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص] به‌صورت تقسیط در مراحل پایه (بذر خشک- کد ۰۰ زیداکس)، پایان پنجه‌زنی (ظاهر شدن بیشترین تعداد پنجه‌ها- کد ۲۹ زیداکس)، پایان ساقه رفتن و ظهور سنبله (خروج نوک گل‌آذین از غلاف و ظهور اولین سنبلک‌ها- کد ۵۱ زیداکس)، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل [با فرمول شیمیایی Ca(H₂PO₄)_۲، ۶۹ کیلوگرم در هکتار اکسید فسفر]

دانه در بوته، وزن هزار دانه و شاخص برداشت مورد بررسی قرار گرفتند. تجزیه و تحلیل های آماری توسط نرم افزار MSTAT-C صورت گرفت. به منظور مقایسه میانگین صفات از مقادیر حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

با توجه به جدول مقایسه میانگین اثر نوع محلول در زمان محلول پاشی (جدول ۳)، بیش ترین میزان وزن خشک اندام هوایی در تیمار محلول پاشی با اسید سالیسیلیک در زمان دو هفته قبل از گلدهی به میزان ۱۰/۸ گرم در بوته (۱۰/۲ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) و کم ترین میزان آن در تیمار محلول پاشی با اسید سالیسیلیک در زمان گلدهی و دو هفته قبل و پس از آن به دست آمد (جدول ۳).

سولفات پتاسیم [با فرمول شیمیایی K_2SO_4 ، ۶۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم] در مرحله پایه) مورد استفاده قرار گرفت و ۱۵ بذر (پس از عمل ضد عفونی)، در هر گلدان (گلدان های پلاستیکی به ارتفاع ۴۱/۵ و قطر ۳۳ سانتی متر با گنجایش هشت کیلوگرم خاک) کشت شد. آبیاری بر اساس توصیه های علمی موجود مراکز تحقیقاتی برای گیاه گندم صورت گرفته و در مرحله سه تا چهار برگگی عمل تنک انجام شد و تعداد گیاهچه ها به پنج بوته در هر گلدان کاهش یافت. محلول ها در زمان های مناسب و تعیین شده توسط افشانه دستی اعمال شدند. در زمان رسیدگی کامل، سه بوته از هر گلدان (در مجموع نه بوته از هر تیمار) برداشت شد و صفاتی از جمله وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته، طول سنبله، طول برگ پرچم، تعداد سنبله در بوته، تعداد سنبله در سنبله، تعداد دانه در سنبله، تعداد دانه در بوته، وزن

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده تحت تاثیر محلول پاشی با اسید آبسزیک و اسید سالیسیلیک در زمان های مختلف رشد در ارقام فونگ و چمران گندم

Table 2- Analysis of variance for the effect of foliar application with salicylic acid and abscisic acid at different growth times of Fong and Chamran wheat cultivars on studied characteristics

Mean squares میانگین مربعات							
منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	ارتفاع بوته Plant length	طول برگ پرچم Flag leaf length	طول سنبله Spike length	تعداد سنبله در بوته Spike number per plant	تعداد سنبله در سنبله Spikelet number per spike
Replication بلوک	2	0.56 ^{ns}	1.27 ^{ns}	1.90 ^{ns}	0.33 ^{ns}	0.06 ^{ns}	1.02 ^{ns}
Solution type نوع محلول	1	0.01 ^{ns}	2.52 ^{ns}	0.08 ^{ns}	4.69 ^{ns}	0.52 [*]	0.01 ^{ns}
Error خطا	2	1.19	39.52	0.15	0.75	0.02	0.06
زمان محلول پاشی Foliar application time	3	1.39 ^{**}	39.36 ^{ns}	1.39 ^{**}	2.58 ^{**}	0.63 [*]	1.06 ^{ns}
نوع محلول × زمان محلول پاشی Solution type × Foliar application time	3	1.06 [*]	6.02 ^{ns}	1.14 ^{**}	1.58 [*]	0.35 ^{ns}	4.06 ^{**}
Error خطا	12	0.26	17.03	0.16	0.35	0.18	0.43
رقم Variety	1	6.75 ^{**}	11.02 ^{ns}	0.33 ^{ns}	2.52 ^{**}	0.52 ^{ns}	2.08 ^{**}
نوع محلول × رقم Solution type × Variety	1	0.08 ^{ns}	4.69 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.08 ^{ns}
زمان محلول پاشی × رقم Foliar application time × Variety	3	8.47 ^{**}	11.74 ^{ns}	0.17 ^{ns}	3.85 ^{**}	0.35 ^{ns}	0.58 ^{**}
نوع محلول × زمان محلول پاشی × رقم Solution type × Foliar application time × Variety	3	2.47 ^{**}	15.96 ^{ns}	0.14 ^{ns}	3.58 ^{**}	0.52 ^{ns}	0.69 ^{**}
Error خطا	16	0.08	8.04	0.17	0.35	0.27	0.12
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)	-	2.8	6.1	5.2	9.1	16.3	2.2

*, **, ns: به ترتیب سطح معنی داری در سطح ۵ درصد، یک درصد و فاقد اختلاف معنی دار هستند.

*, **, and ns: respectively, the significant level at the level of 5%, 1% and non-significant difference.

آبسیزیک و اسید سالیسیلیک در زمان دو هفته قبل از گلدهی، گلدهی و دو هفته پس از گلدهی اثرات سوء ناشی از تنش گرمای پایان فصل را تقلیل می‌دهد (جدول ۳ و ۴). تحت شرایط تنش اسید سالیسیلیک بر فتوسنتز و رشد گیاه اثر مثبت دارد و کاهش رشد ناشی از تنش را تقلیل می‌بخشد (El-Tayeb, 2005). اسید سالیسیلیک سبب القای تجمع پرولین در گیاهچه‌های گندم تحت تنش می‌شود (Sakhabudinova et al., 2003) و پرولین نقش مهمی در پایداری پروتئین‌ها و غشاء سلولی دارد (Zaki and Radwan, 2011).

نتایج مقایسه میانگین اثر رقم در زمان محلول‌پاشی (جدول ۴)، نشان داد که بیشترین میزان تغییر در وزن خشک اندام هوایی (۱۷/۱ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) متعلق به تیمار محلول‌پاشی رقم فونگ در زمان دو هفته پس از گلدهی بود (جدول ۴). کاربرد اسید آبسیزیک و اسید سالیسیلیک در زمان گلدهی و دو هفته قبل و پس از آن در دو رقم فونگ و چمران سبب کاهش ۱۰/۹ درصدی وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با شاهد شد (جدول ۴). تنش گرما انتهای فصل با اختلال در فتوسنتز باعث کاهش در زیست‌توده تولیدی می‌گردد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که محلول‌پاشی اسید

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی با اسید آبسیزیک و اسید سالیسیلیک در زمان‌های مختلف رشد گندم بر وزن خشک اندام هوایی، طول برگ پرچم، طول سنبله، تعداد سنبلك در سنبله و تعداد دانه در بوته

Table 3- Mean comparison of the effect of foliar application with salicylic acid and abscisic acid at different growth times of wheat on shoot dry weight, flag leaf length, spike length, spikelet number per spike and grain number per plant

نوع محلول × زمان محلول‌پاشی Foliar application time × Solution type	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (g plant ⁻¹)	طول برگ پرچم Flag leaf length (cm)	طول سنبله Spike length (cm)	تعداد سنبلك در سنبله Spikelet number per spike	تعداد دانه در بوته Grain number per plant
شاهد Control	9.7	6.7	7.2	15.3	75.0
اسید آبسیزیک × دو هفته قبل از گلدهی Abscisic acid × 15 days before flowering	10.0	7.3	6.5	15.5	82.0
اسید آبسیزیک × گلدهی Abscisic acid × flowering	10.5	8.3	7.3	15.3	86.0
اسید آبسیزیک × دو هفته پس از گلدهی Abscisic acid × 15 days after flowering	10.5	7.7	7.0	16.0	88.2
اسید آبسیزیک × گلدهی و دو هفته قبل و پس‌از آن Abscisic acid × flowering and 15 days before and after that	10.0	8.5	6.5	16.5	88.3
اسید سالیسیلیک × دو هفته قبل از گلدهی Salicylic acid × 15 days before flowering	10.8	7.7	6.8	15.8	88.2
اسید سالیسیلیک × گلدهی Salicylic acid × flowering	10.2	7.5	6.3	16.8	91.2
اسید سالیسیلیک × دو هفته پس از گلدهی Salicylic acid × 15 days after flowering	10.5	8.2	6.5	15.0	87.7
اسید سالیسیلیک × گلدهی و دو هفته قبل و پس‌از آن Salicylic acid × flowering and 15 days before and after that	9.5	8.2	5.2	15.7	93.0
LSD (0.05%)	0.9	0.7	1.0	1.2	8.9

به‌بود بخشیده و اثرات منفی تنش گرما را کاهش می‌دهد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع محلول در زمان محلول‌پاشی نشان داد که بیش‌ترین طول برگ پرچم متعلق به تیمار محلول‌پاشی با اسید آبسیزیک در زمان گلدهی و دو هفته قبل و پس از آن به میزان ۸/۵ سانتی‌متر (۲۱/۲ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) بود (جدول ۳). کم‌ترین مقدار طول برگ پرچم به تیمار محلول‌پاشی با اسید آبسیزیک در زمان گلدهی و دو هفته قبل و پس‌از آن با میزان ۷/۳ سانتی‌متر

به نظر می‌رسد در مواجهه گیاه با تنش‌های زنده و غیرزنده، اسید سالیسیلیک با تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی باعث افزایش زیست‌توده تولیدی می‌شود. نتایج تحقیقات دیگر نیز نشان داد که اسید سالیسیلیک اثرات سوء تنش بر رشد گیاهان را کاهش داد (Shakirova et al., 2003). در شرایط تنش اسید آبسیزیک در بافت‌های گیاه تولیدشده و به‌عنوان یک سیگنال به سلول‌های محافظ روزه ارسال و سبب بسته شدن روزه‌ها می‌شود که روابط آبی گیاه را

کمبود آب و کاهش شدید تورژسانس سلولی جلوگیری نموده و کاهش رشد و توسعه سلول در نتیجه ی تنش گرما را تا حدودی تعدیل می نماید. در شرایط تنش با کاهش رشد سلول از طریق کاهش تقسیم سلول و کاهش اندازه سلول، اندازه اندام نیز محدود می شود (Salarpour Ghoraba and Farahbakhsh, 2014). به نظر می رسد اسید سالیسیلیک از طریق سنتز پروتئین های خاصی به نام پروتئین کیناز که وظیفه تنظیم تقسیم، تمایز و ریخت زایی سلول را بر عهده دارند، فرایندهای فیزیولوژیکی مختلف مثل رشد و نمو گیاه را تنظیم می کند و نقش مؤثری در افزایش طول دارد (Hayat et al., 2010).

(۸/۲ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) اختصاص داشت (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در زمان محلول پاشی، بیشترین طول برگ پرچم متعلق به تیمارهای محلول پاشی رقم چمران در زمان گلدهی و دو هفته قبل و پس از آن و همچنین در زمان دو هفته پس از گلدهی با میزان ۸/۳ سانتی متر (۱۹/۳ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) بود (جدول ۴). کمترین مقدار طول برگ پرچم به تیمارهای محلول پاشی رقم فونگ در زمان گلدهی و دو هفته قبل از گلدهی با میزان ۷/۵ سانتی متر (۱۰/۷ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) اختصاص داشت (جدول ۴). در شرایط تنش گرما اسید آبسزیک با کاهش در هدایت روزنه ای و کاهش اتلاف رطوبت از

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی در زمان های مختلف رشد ارقام فونگ و چمران گندم بر وزن خشک اندام هوایی، طول برگ پرچم، تعداد سنبلک در سنبله و تعداد دانه در سنبلک

Table 4- Mean comparison of the effect of foliar application at different growth times of Fong and Chamran wheat cultivars on shoot dry weight, flag leaf length, spikelet number per spike and grain number per spikelet

رقم × زمان محلول پاشی Cultivars × Foliar application time	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (g plant ⁻¹)	طول برگ پرچم Flag leaf length (cm)	تعداد سنبلک در سنبله Spikelet number per spike	تعداد دانه در سنبلک Grain number per spikelet
فونگ × شاهد Fong × control	9.7	6.7	15.3	2.7
فونگ × دو هفته قبل از گلدهی Fong × 15 days before flowering	9.8	7.5	15.5	3.0
فونگ × گلدهی Fong × flowering	11.0	7.5	15.8	2.5
فونگ × دو هفته پس از گلدهی Fong × 15 days after flowering	11.7	7.8	16.2	2.8
فونگ × گلدهی و دو هفته قبل و پس از آن Fong × flowering and 15 days before and after that	9.0	8.0	16.0	2.8
چمران × شاهد Chamran × control	10.1	6.7	16.3	2.7
چمران × دو هفته قبل از گلدهی Chamran × 15 days before flowering	10.5	7.7	15.2	2.5
چمران × گلدهی Chamran × flowering	10.5	8.2	15.8	2.8
چمران × دو هفته پس از گلدهی Chamran × 15 days after flowering	10.5	8.3	15.7	3.0
چمران × گلدهی و دو هفته قبل و پس از آن Chamran × flowering and 15 days before and after that	9.0	8.3	16.5	2.8
LSD (0.05%)	0.5	0.7	0.6	0.5

سانتی متر (۱/۴ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) و تیمار محلول پاشی با اسید سالیسیلیک در زمان گلدهی و دو هفته قبل و پس از آن به میزان ۵/۲ سانتی متر (۲۷/۸ درصد کاهش در مقایسه با

با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع محلول در زمان محلول پاشی، بیشترین و کمترین میزان طول سنبله به ترتیب در تیمار محلول پاشی با اسید آبسزیک در زمان گلدهی با میزان ۷/۳

شاهد) و بیشترین میزان آن (۳/۰، ۱۱/۱ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) در تیمارهای محلولپاشی رقم فونگ در زمان دو هفته قبل از گلدهی و محلولپاشی رقم چمران در زمان دو هفته پس از گلدهی بهدست آمد (جدول ۴).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع محلول در زمان محلولپاشی، بیشترین و کمترین میزان تعداد دانه در بوته بهترتیب در تیمار محلولپاشی با اسید سالیسیلیک در زمان گلدهی و دو هفته قبل و پس از آن با میزان ۹۳/۰ (۱۹/۳ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) و تیمار محلولپاشی با اسید آبسیزیک دو هفته قبل از گلدهی به میزان ۸۲/۰ (۸/۵ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) بهدست آمد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر زمان محلولپاشی نشان داد که بیشترین و کمترین تعداد دانه در بوته بهترتیب به تیمارهای محلولپاشی در زمان گلدهی و دو هفته قبل و پس از آن با میزان ۹۵/۷ (۲۱/۶ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) و تیمار محلولپاشی در زمان دو هفته قبل از گلدهی به میزان ۸۵/۱ (۱۱/۹ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) اختصاص داشت (جدول ۶). تعداد دانه یکی از عوامل بسیار مهم در ارتباط با عملکرد است. تعداد دانه، نسبت به سایر اجزای عملکرد، بیشتر در معرض آسیب تنشهای محیطی است، زیرا تحت شرایط نامساعد، گیاهان اندامهای مهمی مثل پنجهها و گلچهها را از دست می دهند و تعداد کمی دانه بزرگ تشکیل می شود. در شرایط تنش، اهمیت تعداد دانه نسبت به اندازه دانه، به قدری است که از دست دادن تعداد دانه، نسبت به کاهش در اندازه دانه به میزان بیشتری بر کاهش عملکرد تأثیر دارد (Barnabas et al., 2008). نتایج بهدست آمده از آزمایش حاضر نشان داد که کاربرد اسید آبسیزیک و اسید سالیسیلیک، تعداد دانه در بوته را در مقایسه با شاهد افزایش داد (جداول ۳ و ۶). برخی آزمایشهای دیگر نیز افزایش تعداد دانه در شرایط محلولپاشی هورمون ها را گزارش نمودند (Naghizadeh and Gholami Tooran Poshty, 2014; Kaydan and Yagmur, 2006). تنش گرما از یک سو با کاهش دوره نمو سنبله و از سوی دیگر با ایجاد عقیمی در اندامزایشی و کاهش تشکیل دانه موجب کاهش تعداد دانه می گردد (Zaki and Radwan, 2011). برخی پژوهشگران گزارش کردند که در شرایط تنش گرمایی در مزرعه تعداد دانه کاهش می یابد (Singh et al., 2011; Modhej et al., 2008). اگرچه در اثر تنش دمای بالا در زمان گلدهی و مرحله نمو دانه گرده، تعداد دانه به طور معنی داری کاهش می یابد (Mian et al., 2007)؛ ولی محلولپاشی اسید آبسیزیک و اسید سالیسیلیک در شرایط تنش موجب افزایش تعداد دانه شد (جداول ۳ و ۶). کاهش در تعداد دانه مستقیماً به اثر تنش گرمایی آخر فصل رشد بر گلدهی و گردهافشانی برمی گردد. دمای بالا با اختلال در گلدهی و گردهافشانی باعث کاهش در تشکیل دانه و عقیمی سنبلكها می گردد (Modarresi et al., 2010).

شاهد) بهدست آمد (جدول ۳). کاهش طول سنبله ناشی از تنش گرمای پایان فصل به دلیل حساسیت زیاد گندم به دماهای بالای آستانه تحمل آن است. زمانی که دما افزایش می یابد، گندم دوره رشدی خود را با سرعت بیشتری کامل نموده، دوره رشدی مرستم زایشی در ایجاد سنبله محدود شده و وارد مرحله زایشی می شود، به همین دلیل دوره کوتاه تری را برای افزایش طول سنبله و تولید سنبلك در اختیار دارد، در نتیجه طول سنبله کاهش می یابد (Modarresi et al., 2010). طول سنبله از صفاتی است که می تواند بر عملکرد تأثیر مثبت بگذارد، البته در تمام شرایط صادق نیست. به ویژه در شرایطی که مرحله پس از گلدهی با تنشهای محیطی همراه می شود، باوجود سنبلههای بلند، به دلیل چروکیدگی زیاد دانهها، عملکرد کاهش می یابد (Abdoli et al., 2011). نشان داد که محلولپاشی اسید آبسیزیک و اسید سالیسیلیک باعث کاهش طول سنبله گندم شد (جدول ۳). به نظر می رسد در شرایط کاربرد اسید سالیسیلیک و اسید آبسیزیک، گیاه از طریق تولید سنبله کوتاه تر و جهت گیری بیشتر تولیدات فتوسنتزی به سمت دانهها، سبب کاهش تولید دانههای چروکیده و افزایش عملکرد در شرایط تنش گرمای آخر فصل شده است (Kaydan and Yagmur, 2006).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع محلول در زمان محلولپاشی نشان داد که بیشترین میانگین تعداد سنبلك در سنبله متعلق به تیمار محلولپاشی با اسید سالیسیلیک در زمان گلدهی (به میزان ۱۸/۸، ۸/۹ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) بود (جدول ۳). کمترین میزان تعداد سنبلك در سنبله با میزان ۱۵ به تیمار محلولپاشی با اسید سالیسیلیک در زمان دو هفته پس از گلدهی (۱/۹ درصد کاهش در مقایسه با شاهد) اختصاص داشت (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در زمان محلولپاشی، بیشترین تعداد سنبلك در سنبله متعلق به تیمار محلولپاشی رقم چمران در زمان گلدهی و دو هفته قبل و پس از آن با میزان ۱۶/۵ (۱/۲ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) بود (جدول ۴). کمترین مقدار تعداد سنبلك در سنبله به تیمار محلولپاشی رقم چمران در زمان دو هفته قبل از گلدهی با میزان ۱۵/۲ (۶/۷ درصد کاهش در مقایسه با شاهد) اختصاص داشت (جدول ۴). زمانی که گیاه گندم در مرحله نمو سنبله در معرض دمای بالا قرار می گیرد، دمای بالا از طریق کاهش نمو سنبله موجب کاهش تعداد سنبلك در سنبله می شود (Singh et al., 2011). مرحله رشد رویشی گیاه که در آن پتانسیل تعداد سنبلك در سنبله تعیین می شود، باید با شرایط مطلوبی مواجه شود تا این جز دچار نقصان نشود (Ahmadi and Bahrani, 2009).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در زمان محلولپاشی، کمترین تعداد دانه در سنبلك ۲/۵ متعلق به تیمارهای محلولپاشی رقم فونگ در زمان گلدهی و محلولپاشی رقم چمران در زمان دو هفته قبل از گلدهی بود (۷/۴ درصد افزایش در مقایسه با

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی با اسید آبسزیک و اسید سالیسیلیک در زمان های مختلف رشد در ارقام فونگ و چمران گندم بر صفات اندازه گیری شده

Table 5- Analysis of variance for the effect of foliar application with salicylic acid and abscisic acid at different growth times of Fong and Chamran wheat cultivars on studied characteristics

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares				
		تعداد دانه در سنبلیک Grain number per spiklet	تعداد دانه در بوته Grain number per plant	وزن دانه در بوته Grain weight per plant	وزن هزار دانه 1000 grain weight	شاخص برداشت Harvest index
Replication تکرار	2	0.08 ^{ns}	45.19 ^{ns}	0.40 ^{ns}	83.69 ^{ns}	15.44 ^{ns}
Solution type نوع محلول	1	0.03 ^{ns}	15.19 ^{ns}	0.52 ^{ns}	3.00 ^{ns}	0.02 ^{ns}
Error خطا	2	0.03	23.69	0.15	6.94	6.77
زمان محلول پاشی Foliar application time	3	0.14 ^{ns}	288.80 ^{**}	0.85 [*]	3.19 ^{ns}	53.41 ^{ns}
نوع محلول × زمان محلول پاشی Solution type × Foliar application time	3	0.06 ^{ns}	85.02 [*]	0.08 ^{ns}	0.89 ^{ns}	12.63 ^{ns}
Error خطا	12	0.26	25.08	0.21	1.81	23.85
رقم Variety	1	0.08 ^{ns}	117.19 [*]	0.19 ^{ns}	0.75 ^{ns}	0.02 ^{ns}
نوع محلول × رقم Solution type × Variety	1	0.01 ^{ns}	1.02 ^{ns}	0.52 ^{ns}	12.00 ^{ns}	7.52 ^{ns}
زمان محلول پاشی × رقم Foliar application time × Variety	3	0.36 [*]	958 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.31 ^{ns}	5.63 ^{ns}
نوع محلول × زمان محلول پاشی × رقم Solution type × Foliar application time × Variety	3	0.17 ^{ns}	18.30 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.56 ^{ns}	10.24 ^{ns}
Error خطا	16	0.08	22.79	0.19	3.73	15.08
ضریب تغییرات Coefficient of Variation (%)	-	10.3	5.3	12.0	4.8	8.5

*, **, ns: به ترتیب سطح معنی داری در سطح پنج درصد، یک درصد و فاقد اختلاف معنی دار هستند.

*, **, and ns: respectively, the significant level at the level of 5%, 1% and non-significant difference.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر زمان محلول پاشی بر تعداد دانه در بوته و وزن دانه در بوته

Table 6- Mean comparison of the effect of foliar application time on grain number per plant and grain weight per plant

زمان محلول پاشی Foliar application time	تعداد دانه در بوته Grain number per plant	وزن دانه در بوته Grain weight per plant (g plant ⁻¹)
شاهد	75.0	2.8
دو هفته قبل از گلدهی 15 days before flowering	85.1	3.3
گلدهی Flowering	93.6	3.8
دو هفته پس از گلدهی 15 days after flowering	87.9	3.4
گلدهی و دو هفته قبل و پس از آن Flowering and 15 days before and after that	95.7	3.8
LSD (0.05%)	8.9	0.4

نتایج مقایسه میانگین اثر زمان محلول‌پاشی نشان داد که بیشترین وزن دانه در بوته متعلق به تیمارهای محلول‌پاشی در زمان گلدهی و در زمان گلدهی و دو هفته قبل و پس از آن به میزان ۳/۸ گرم در بوته (۲۶/۳ افزایش در مقایسه با شاهد) است (جدول ۶). کمترین مقدار وزن دانه در بوته به تیمار محلول‌پاشی در زمان دو هفته قبل از گلدهی به میزان ۳/۳ گرم در بوته (۱۵/۱ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) اختصاص داشت (جدول ۶). وزن دانه یکی از اجزای مهم در عملکرد گندم و مهم‌ترین هدف از کشت است که به‌وسیله طول دوره و همچنین سرعت پر شدن دانه تعیین می‌شود و در اثر وقوع تنش کاهش می‌یابد. تنش گرمای انتهایی فصل رشد از یک طرف با تسریع در مراحل رشد و نمو و کاهش طول دوره رشد رویشی و زایشی گیاه و از طرف دیگر با تأثیر منفی بر اندام‌زایشی و قابلیت زنده ماندن دانه گردیده و مادگی و پیشگیری از باروری مناسب باعث کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Modarresi et al., 2010). وزن دانه در شرایط تنش به علت محدود بودن انتقال مجدد در تیمارهای تحت تنش کاهش می‌یابد. همچنین تنش از طریق اختلال در روند جذب و انتقال مواد غذایی، عرضه مواد پرورده را کاهش داده و موجب تغییر در اجزای عملکرد و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود (Zarea- Feizabady and Ghodsi, 2004). کاهش عملکرد گندم تحت شرایط تنش دمای بالا، بیشتر به تعداد کم‌تر دانه در سنبله و اندازه کوچک‌تر دانه مرتبط است (Gibson and Paulsen, 1999). القاء تنش گرما در زمان شروع و در طول دوره گلدهی با کاهش کارایی دانه گردیده و تخمدان باعث جلوگیری از انجام عمل باروری و در نتیجه کاهش دانه‌بندی می‌شود. از طرفی زمانی که گیاهان در مرحله پس از گلدهی و در مرحله پر شدن دانه در معرض دمای بالا قرار می‌گیرند، تنش گرما با سرعت بخشیدن در این مرحله و کاهش دوره پر شدن دانه، موجب کاهش وزن دانه و در نتیجه عملکرد می‌شود. همچنین در این مرحله گیاه تمایل دارد که با تولید مواد فتوسنتزی و انتقال آن به دانه با تنش گرما مقابله کند، اما تنش گرما با اختلال در عمل فتوسنتز و انتقال مواد به دانه موجب کاهش وزن دانه می‌شود (Wahid et al., 2007; Modarresi et al., 2010). کاهش وزن دانه در پاسخ به تنش گرما در مراحل اولیه پر شدن دانه را می‌توان به تعداد کم‌تر سلول‌های آندوسپرم مربوط دانست، درحالی‌که در مراحل بعدی، تنش گرما با ایجاد محدودیت در سنتز نشاسته و در نتیجه محدودیت در تولید فرآورده‌های فتوسنتزی و انتقال آن‌ها به دانه‌ها موجب کاهش وزن دانه می‌گردد (Barnabas et al., 2008). اسید آبسزیک از طریق بسته شدن روزنه‌ها روابط آبی گیاه را بهبود می‌بخشد و سبب بهبود آثار منفی تنش گرما می‌شود.

با توجه به جدول همبستگی صفات (جدول ۷) همبستگی معنی‌داری بین وزن خشک اندام هوایی با تعداد دانه ($r=0/62^{**}$)، وزن دانه ($r=0/60^{**}$) و شاخص برداشت ($r=0/29^*$) مشاهده شد (جدول

۷). در نتیجه با افزایش در وزن خشک اندام هوایی، تعداد دانه و وزن دانه در بوته افزایش و شاخص برداشت کاهش نشان دادند. این امر نشان داد که با افزایش در تولید فرآورده‌های فتوسنتزی و انتقال آن در پایان مراحل رشد و نمو به دانه‌های در حال رشد، تجمع ماده خشک در دانه‌ها افزایش یافت. از سوی دیگر با افزایش در وزن خشک اندام هوایی نسبت به وزن دانه میزان شاخص برداشت کاهش داشت. نتایج جدول همبستگی صفات (جدول ۷) نشان داد که با افزایش طول برگ پرچم، طول سنبله ($r=0/45^{**}$) افزایش داشت (جدول ۷). برگ پرچم به‌عنوان نزدیک‌ترین منبع فتوسنتزکننده به سنبله بخش بالایی از مواد فتوسنتزی سنبله را تأمین می‌کند و این امر سبب همبستگی معنی‌دار و مثبت این دو صفت گردیده است. جدول همبستگی صفات نشان داد که تعداد دانه با وزن دانه ($r=0/64^{**}$) همبستگی معنی‌دار داشت (جدول ۷). این امر حاکی از این است که وجود تعداد بیشتر دانه در بوته و انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به سمت مخزن (دانه‌ها)، وزن دانه در بوته را افزایش داد. نتایج همبستگی صفات (جدول ۷) حاکی از این است که با افزایش وزن دانه در بوته، شاخص برداشت افزایش یافت ($r=0/32^{**}$)، که با توجه به این‌که شاخص برداشت نشان‌دهنده تولید اقتصادی گیاه در برابر تولید کل گیاه است این امر طبیعی به‌نظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، از نظر صفات همچون وزن خشک اندام هوایی و وزن دانه در بوته، محلول‌پاشی در زمان گلدهی و دو هفته قبل و پس از آن (صرف‌نظر از نوع رقم و نوع محلول) در مقایسه با سایر زمان‌های محلول‌پاشی بهتر بود. محلول‌پاشی در زمان گلدهی و قبل و پس‌از آن سبب بهبود سطح پتانسیل فعالیت فتوسنتز پس از ظهور سنبله، بهبود تقسیمات میوزی سلول‌های مادر دانه گردیده و افزایش باروری سنبله‌ها، کاهش عقیمی پنجه‌ها و افزایش تعداد دانه در سنبله در شرایط تنش گرما می‌شود و سرعت انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به‌طرف دانه‌های در حال رشد را افزایش می‌دهد. رقم چمران نیز به دلیل وزن خشک اندام هوایی، تعداد دانه در بوته و وزن دانه در بوته بیشتر در مقایسه با رقم فونگ، برتر تشخیص داده شد (صرف‌نظر از زمان محلول‌پاشی و نوع محلول). اسید سالیسیلیک با دارا بودن بیشترین تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته، و وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با سایر محلول‌ها، برترین محلول تعیین گردید (صرف‌نظر از زمان محلول‌پاشی و رقم). بنابراین به نظر می‌رسد بهتر است به‌منظور کاهش اثرات سوء تنش گرمای پایان فصل رشد بر عملکرد گندم در استان خوزستان و مناطقی با شرایط مشابه، از گندم رقم چمران جهت کشت استفاده نمود و در زمان گلدهی و دو هفته قبل و پس‌از آن با استفاده از اسید سالیسیلیک ۶۹ میلی‌گرم بر لیتر محلول‌پاشی کرد.

جدول ۷- جدول مقادیر همبستگی بین صفات در شرایط محلول پاشی با اسید آبنسزیک و اسید سالیسیلیک در زمان های مختلف رشد در ارقام فونگ و چمران گندم

Table 7- Correlation value between traits at foliar application with salicylic acid and abscisic acid at different growth times of Fong and Chamran wheat cultivars

شاخص برداشت Harvest index	وزن هزار دانه 1000 grain weight	وزن دانه در بوته Grain weight per plant	تعداد دانه در بوته Grain number per plant	تعداد سنبلیک در بوته Spikelet number per spike	تعداد سنبله در بوته Spike number per plant	طول سنبله Spike length	طول برگ پرچم Flag leaf length	ارتفاع بوته Plant length	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight
									وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight
							1	1	1
						1	0.45**	0.17	0.14
						0.03	-0.15	0.10	0.15
					1	0.11	-0.10	0.01	-0.10
				-0.02	-0.04	-0.04	-0.07	0.05	0.06
		1	-0.07	-0.15	0.08	-0.07	0.13	0.11	0.62**
	1	0.64**	-0.15	0.16	0.08	-0.04	0.05	0.21	0.60**
	1	0.02	-0.57**	0.04	0.01	0.02	-0.22	0.09	0.01
1	0.12	0.32**	0.17	-0.05	-0.01	-0.02	0.08	0.04	-0.29*

* و **: به ترتیب سطح معنی داری در سطح پنج درصد، یک درصد هستند.

* and **: respectively, the significant level at the level of 5% and 1%.

References

1. Abdoli, M., Saeidi, M., Jalali-Honarmand, S., Mansourifar, S., and Ghobadi, M. E. 2013. Investigation of some physiological and biochemical traits and their relationship with yield and its components in advanced bread wheat cultivars under post-pollinated water stress conditions. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences* 6 (1): 63-47. (in Persian).
2. Ahmadi, M., and Bahrani, M. J. 2009. Yield and yield components of rapeseed as influenced by water stress at different growth stages and nitrogen levels. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science* 5: 755-761.
3. Barnabas, B., Jager, K., and Feher, A. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell Environment* 31: 11-38.
4. El-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation* 42: 215-224.
5. Fariduddin, Q., Hayat, S., and Ahmad, A. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica* 41 (2): 281-284.
6. Ferris, R., Wheeler, R. H., and Hadley, P. 1998. Effect of high temperature stress at anthesis on grain yield and biomass of field-grown crops of wheat. *Annals of Botany* 82: 631-639.
7. Fischer, A. S. 1985. Physiological limitation to producing wheat in semi-tropical and tropical environment and possible selection criteria. *Wheats for More Tropical Environments*. In: A proceedings of an international symposium on wheat production and research in tropical environments, CIMMYT, Mexico. pp. 209-230.
8. Gibson, L. R., and Paulsen, G. M. 1999. Yield Components of Wheat grown under high temperature stress during reproductive growth. *Crop Science* 39: 1841-1846.
9. Hall, A. E. 1992. Breeding for heat tolerance. *Plant Breeding Reviews* 10: 129-168.
10. Hayat, Q., Hayata, S. H., Irfan, M., and Ahmad, A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment. A review. *Environmental and Experimental Botany* 68: 14-25.

11. Hussain, S., Ali, A., Ibrahim, M., Saleem, M. F., and Bukhsh, A. 2012. Exogenous application of abscisic acid for drought tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Journal of Animal & Plant Sciences 22 (3): 806-826.
12. Kaydan, D., and Yagmur, M. 2006. Effects of different salicylic acid doses and treatments on wheat (*Triticum aestivum* L.) and lentil (*Lens culinaris* Medik.) yield and yield components. Journal of Agronomy College of Ankara University 12: 285-293.
13. Khan, W., Prithviraj, B., and Smith, D. L. 2003. Photosynthetic response of corn and soybean to foliar application of salicylates. Journal of Plant Physiology 160: 485-492.
14. Kumar, R. R., Goswami, S., Sharma, S. K., Singh, K., Gadpayle, K. A., Kumar, N., Rai, G. K., Singh, M., and Rai, R. D. 2012. Protection against heat stress in wheat involves change in cell membrane stability, antioxidant enzymes, osmolyte, H₂O₂ and transcript of heat shock protein. International Journal of Plant Physiology and Biochemistry 4 (4): 83-91.
15. Mian, M. A., Mahmood, A., Ihsan, M., and Cheema, N. M. 2007. Response of different wheat genotypes to post anthesis temperature stress. Journal of Agricultural Research 45 (4): 269-273.
16. Modarresi, M., Mohammadi, V., Zali, A., and Mardi, M. 2010. Response of wheat yield and yield related traits to high temperature. Cereal Research Communications 38: 23-31.
17. Modhej, A., Naderi, A., Emam, Y., Ayneband, A., and Normohamadi, G. H. 2008. Effects of post-anthesis heat stress and nitrogen levels on grain yield in wheat (*T. durum* and *T. aestivum*) genotypes. International Journal of Plant Production 2: 257-267.
18. Naghizadeh, M., and Gholami Tooran Poshty, A. 2014. Investigating the effect of seed pre-treatment with salicylic acid on yield and yield components of wheat under drought stress conditions. Agroecology Journal 6 (1): 170-162. (in Persian).
19. Nemeth, M., Janda, T., Hovarth, E., Paldi, E., and Szali, G. 2002. Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. Plant Science 162: 569-574.
20. Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., and Sepaskhah, A. R. 2015. Improving barley performance by proper foliar applied salicylic-acid under saline conditions. International Journal of Plant Production 9 (3): 467-486.
21. Reynolds, M. P., Nagarajan, S., Razzaque, M. A., and Ageeb, O. A. 2001. Heat tolerance. In: Reynolds, M. P., Ortiz-Monasterio, J. I. and McNab, A. (eds) Application of physiology in wheat breeding. CIMMYT, Mexico, DF. pp. 124-135.
22. Sakhabudinova, A. R., Fakhutdinova, D. R., Bezukova, M. V., and Shakirova, F. M. 2003. Salicylic acid prevents damaging action of stress factors on wheat plants. Bulgarian Journal of Plant Physiology 23: 314-319.
23. Salarpour Ghoraba, F., and Farahbakhsh, H. 2014. Effects of drought stress and salicylic acid on morphological and physiological traits of (*Foeniculum vulgare* Mill.). Agricultural crop management (Journal of Agriculture) 16 (3): 765-778. (in Persian).
24. Shakirova, F. M., and Sahabutdinova, D. R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science 164: 317-322.
25. Shakirova, F. M., Sakhabutdinova, A. R., Bezrukova, M. V., Fathutdinova, R. A., and Fathutdinova, D. R. 2003. Changes in hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science 164: 317-322.
26. Shojae, M., and Miri, H. 2012. Reducing detrimental effects of salt stress on morphophysiological characteristics of wheat by application of salicylic acid. Electronic Journal of Crop Production 5 (1): 71-88. (in Persian).
27. Singh, K. H., Sharma, S. N., and Sharma, Y. 2011. Effect of high temperature on yield attributing traits in bread wheat. Bangladesh Journal of Agricultural Research 36 (3): 415-426.
28. Spink, J. H., Semere, T., Spares, D. L., Whaley, J. M., Foulkes, M. J., Clare, R. W., and Scott, R. K. 2000. Effect of sowing date on the optimum plant density of winter wheat. Annals of Applied Biology 137: 179-188.
29. Sun, T. P. and Gubler, F. 2004. Molecular mechanism of gibberellin signaling in plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 55: 197-223.
30. Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., and Foolad, M. 2007. Heat tolerance in plants: an overview. Environmental and Experimental Botany 61: 199-223.
31. Zaki, R. N., and Radwan, T. E. 2011. Improving wheat grain yield and its quality under salinity conditions at a newly reclaimed soil by using different organic sources as soil or foliar applications. Journal of Applied Sciences Research 7: 42-58.
32. Zarea- Feizabady, A., and Ghodsi, M. 2004. Evaluation of yield and yield components of facultative and winter bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) under different irrigation regimes in Khorasam province in Iran. Journal of Agronomy 3: 184-187.
33. Zhang, X., Zhang, X., Liu, X., Shao, L., Sun, H., and Chen, S. 2015. Improving winter wheat performance by foliar spray of ABA and FA under water deficit conditions. Journal of Plant Growth Regulation. DOI 10.1007/s00344-015-9509-6. Springer.
34. Zhou, X., Mackeuzie, A., Madramootoo, C., and Smith, D. 1999. Effect of stem- injected plant growth regulators with or without sucrose on grain production, biomass and photosynthetic activity of field grown corn plants. Journal of Agronomy and Crop Science 183: 103-10.



Effect of Foliar Application of Growth Regulators on Growth and Induction of Terminal Heat Tolerance in Wheat (*Triticum aestivum* L.)

N. Asadi Nasab¹, M. Nabipour^{2*}, H. Roshanfekr³, A. Rahnama Ghahfarokhi³

Received: 24-08-2018

Accepted: 03-06-2019

Introduction

Wheat is one of the most widely cultivated cereals in the world. Thermal stress is effective on photosynthesis, cellular and subcellular compounds, protein levels and antioxidant activity. The role of abscisic acid as an anti-stress hormone is easily proved. Abscisic acids cause stomatal closure and improve the plant's water relations. Salicylic acid, as a cell signal, increases the amount of defense compounds such as proline. Also, the use of salicylic acid increases the amount of polyphenols, spermidine and spermine in the plant, which can help stabilize the membrane under stress conditions. The present experiment was conducted to investigate the effect of foliar application with salicylic acid and abscisic acid on reducing the effects of terminal heat stress on the growth, yield and yield components of wheat (Fung and Chamran cultivars) in Ahvaz.

Materials and Methods

This experiment was conducted in a split split plot based on a randomized complete block design with three replications at the experimental farm of Shahid Chamran University of Ahvaz in 2016-2017. The experiment was directed in a potted (in field conditions) and heat stress was considered based on the planting date according to the 30-year estimate of ambient temperature and it's higher than the threshold of thermal tolerance of the wheat plant. In this experiment, three factors were investigated: foliar application (control (no foliar application), foliar application with abscisic acid (30 mg.l⁻¹), and foliar application with salicylic acid (69 mg.l⁻¹), time of foliar application (15 days before flowering (A), flowering (B), 15 days after flowering (C) and 15 days before flowering, flowering and 15 days after flowering (ABC)) and wheat cultivars (Fung and Chamran).

Results and Discussion

According to the results, with increasing number of spikelets per spike, the number of grains per spikelet increased and thus, the number of grains per spike increased. Foliar application increased the number of seeds per plant compared to control treatment, which increased the seed weight. The lowest plant height was obtained to treatment of foliar application of salicylic acid at flowering time on Fung cultivar. The highest and lowest spike length were observed in the control of Fong and foliar application of salicylic acid at flowering time and two weeks before and after than on Fung cultivar. The results of mean comparison of the traits showed that the highest mean spikelet number per spike belonged to foliar application of salicylic acid at two weeks after flowering in Chamran cultivar. The highest dry weight of shoot was observed in foliar application of salicylic acid at two weeks after flowering on Chamran cultivar.

Conclusions

According to the results, for traits such as dry weight of shoot, grain weight per plant and 1000 grain weight, foliar application at flowering and two weeks before and after that (regardless of cultivars and type of solution) was better compared to the other foliar application times. Foliar application at flowering and two weeks before and after that, improved the photosynthesis potential after spike emergence, improvement of meiosis of pollen mothers cells and increasing the fertility of spikes, reducing the abortion of the claws and increasing the number of seeds per spike under heat stress conditions. Chamran cultivar was recognized as superior to shoot dry weight and number of seeds per plant, in comparison to Fung cultivar (regardless of the time of foliar application and solution type). Salicylic acid with the highest number of seeds per plant, seed weight per plant, 1000 seed weight, dry weight of shoot and harvest index were determined as the best solution (regardless of the foliar application time and cultivar). Therefore it seems that in order to reduce the effects of terminal heat stress, using the salicylic acid (30 mg L⁻¹) at flowering and two weeks before and after that on Chamran cultivar is appropriate in Khuzestan province and regions with similar conditions.

Keywords: Abscisic acid, Salicylic acid, Harvest index, Grain weight per plant

1- Graduated PhD. of Crop Physiology, Department of Production Engineering and Plant Genetic, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

2- Professor of Department of Production Engineering and Plant Genetic, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

3- Associate Professor of Department of Production Engineering and Plant Genetic, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

(*- Corresponding Author Email: m.nabipour@scu.ac.ir)



اثر محلول پاشی برخی ترکیبات شیمیایی بر تبادلات گازی، روابط آب و خصوصیات فتوسنتزی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در رژیم های آبیاری مختلف

محمد یزداندوست همدانی^۱، مختار قبادی^{۲*}، محمد اقبال قبادی^۲، سعید جلالی هنرمند^۲، محسن سعیدی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۵

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی اثر محلول پاشی برخی ترکیبات شیمیایی و رژیم های آبیاری بر تبادلات گازی، خصوصیات فتوسنتزی و روابط آبی آفتابگردان انجام گرفت. آزمایش به صورت کرت های خرد شده بر پایه بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان به مدت دو سال اجرا شد. تیمارهای آبیاری شامل ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه و تیمارهای محلول پاشی شامل: آسبیزیک اسید، سلیسیک اسید، سدیم نیتروپروساید، گلیسین بتائین و شاهد بودند. نتایج نشان داد که با کاهش میزان آبیاری، ویژگی های هدایت روزنه ای، سرعت تعرق، محتوای نسبی آب برگ و سرعت فتوسنتز کاهش یافتند، اما دمای برگ افزایش یافت. غلظت CO_2 زیر روزنه در ابتدا کاهش و در ادامه با تشدید کم آبی افزایش یافت، با این حال، کارایی مصرف آب فتوسنتزی به طور یکنواخت روند افزایشی داشت. محلول پاشی با ترکیبات شیمیایی، تبادلات گازی و خصوصیات فتوسنتزی آفتابگردان را تحت تأثیر قرار داد. کمترین میزان هدایت روزنه ای و تعرق و بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ در نتیجه محلول پاشی با آسبیزیک اسید و سدیم نیتروپروساید به دست آمد و بیشترین دمای برگ ناشی از کاربرد آسبیزیک اسید بود. اثر متقابل آبیاری $\times$ محلول پاشی بر سرعت فتوسنتز و غلظت CO_2 زیر روزنه معنی دار بود. در شرایط کم آبیاری، کاربرد ترکیبات شیمیایی مورد نظر، سرعت فتوسنتز را نسبت به تیمار شاهد افزایش و غلظت CO_2 زیر روزنه را کاهش داد. در این مورد، سلیسیک اسید نسبت به سایر ترکیبات، اثر بیشتری داشت و در شرایط کم آبی شدید (۶۰ درصد نیاز آبی)، باعث افزایش ۱۹/۶ درصد در سرعت فتوسنتز گردید.

واژه های کلیدی: آسبیزیک اسید، سلیسیک اسید، سدیم نیتروپروساید، سلیسیک بتائین، گلیسین بتائین

مقدمه

گیاهان زراعی در برابر خشکی، راهکارهای مختلفی در سطح جهان مورد استفاده قرار گرفته است مانند مدیریت آبیاری و کاربرد روش های کم آبیاری (Ghadami Firouzabadi et al., 2015)، استفاده از ارقام مقاوم یا زودرس (Angadi and Entz, 2002)، کاربرد ترکیبات کودی مانند پتاسیم (Yarnia et al., 2009)، مواد جاذب رطوبت مانند ژئولیت (Yousefvand et al., 2011) و همچنین کاربرد خارجی ترکیبات شیمیایی مختلف از قبیل محلول های سازگار، تنظیم کننده های رشد و ملکول های پیام رسان تنش، که در سالیان اخیر مورد توجه قرار گرفته است (Farooq et al., 2010).

گلیسین بتائین به عنوان یکی از مهم ترین و موثرترین اسموپروتکتانت ها مطرح است (Bohnert et al., 1995). آفتابگردان جزء گیاهان انباشت کننده گلیسین بتائین (GB accumulator) است که به طور طبیعی مقدار زیادی گلیسین بتائین در آن ها تجمع پیدا می کند (Igbal et al., 2009). این نوع گیاهان در مقایسه با گیاهان غیر انباشت کننده گلیسین بتائین (GB non-accumulator) تحمل بالاتری در مقابل تنش خشکی نشان می دهند (Hussain et al., 2008). گلیسین بتائین که به صورت خارجی مصرف شود، می تواند به سرعت از طریق برگ ها نفوذ کرده و به سایر اندام ها منتقل شود و

در بین عوامل محیطی، فراهمی آب احتمالاً مهمترین عامل محدود کننده تولید محصولات زراعی است. کمبود آب یک تنش چند بُعدی است که در سطوح مختلفی بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان اثر می گذارد (Yordanov et al., 2003). تنش خشکی در ابتدا حالت آماس سلول و میزان تبادلات گازی را کاهش می دهد که منجر به کاهش میزان رشد گیاه می شود. تداوم کمبود آب ممکن است بر الگوی تخصیص مواد فتوسنتزی به بخش های مختلف گیاه اثر بگذارد و همچنین ممکن است یک سری از فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی را تغییر دهد (Kostopoulou et al., 2010). این تغییرات به گیاهان کمک می کند تا با چنین شرایط نامساعد محیطی سازگاری پیدا کنند. برای مواجهه با کمبود آب و افزایش تحمل

۱- دانشجوی دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۲- دانشیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

(Email: ghobadi.m@razi.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول

DOI: 10.22067/gsc.v17i3.76843

در آنجا در افزایش تحمل به تنش مشارکت کند (Makela et al., 1998).

سلنیوم یک ماده معدنی کمیاب در طبیعت است که در خاک یافت می‌شود. مطالعات انجام شده بیانگر اثر مثبت سلنیوم در بهبود تحمل به خشکی از طریق تجمع محلول‌های سازگار و فعال‌سازی آنزیم‌ها در جو (*Hordeum vulgare* L.) (Habibi, 2013)، کلزا (*Brassica napus* L.) (Hasanuzzaman and Fujita, 2011) و گندم (*Triticum aestivum* L.) (Yao et al., 2009) می‌باشد. علاوه بر این، مصرف سلنیوم در شرایط تنش خشکی باعث بهبود و تنظیم وضعیت رطوبتی در گیاهان نیز گردیده است. سلنیوم در ساختمان اسیدهای آمینه سیستئین و متیونین وجود دارد. این اسیدهای آمینه، پیش‌نیازهای تولید اتیلن هستند و مشخص شده است که افزایش تولید اتیلن در شرایط تنش در بسته شدن روزنه‌ها نقش دارد و در نتیجه هدایت روزنه‌ای و تعرق تحت تاثیر قرار می‌گیرد. در شبدر شیرین (*Melilotus Officinalis* L.) و در شرایط محدودیت رطوبتی، مصرف سلنیوم از منبع سلنات سدیم، مقدار پتانسیل آب برگ، نسبت تعرق و هدایت روزنه‌ای را کاهش داد و باعث محدودیت سرعت جریان محلول آب در سیستم آوندی شد. با این حال، گزارش شده که در شرایط آبیاری کامل، مصرف سلنیوم بر پتانسیل آب برگ تاثیری نداشت (Kostopoulou et al., 2010).

سالیسیلیک اسید یک ترکیب شبه‌هورمونی و تنظیم‌کننده رشد داخلی با ماهیت فنلی است که به‌وسیله سلول‌های ریشه تولید می‌شود و در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان مانند سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق دخالت دارد (El-Tayeb, 2005). این ترکیب در تحمل به تنش‌های غیر زیستی نقش مهمی بازی می‌کند و توانایی آن برای القاء اثرات حفاظتی در گیاهانی که در معرض تنش هستند، مورد توجه زیادی قرار گرفته است (Hussain et al., 2008). به‌عنوان نمونه، گزارشاتی برای القاء تحمل به خشکی در گندم (Sing and Usha, 2003)، آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) (Hussain et al., 2008) و ذرت (*Zea mays* L.) (Bayat et al., 2010) در نتیجه کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید وجود دارد.

نیتریک اکسید یک گونه واکنش‌پذیر نیتروژن است. این گاز نقش مهمی در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و نمو گیاهان مانند جوانه‌زنی دانه، بسته شدن روزنه، نمو ریشه، پیری و سازگاری با چندین نوع تنش دارد (Gaber Goma et al., 2010). نیتریک اکسید در گیاهان توسط مسیرهای آنزیمی و غیر آنزیمی تولید می‌شود. در شرایط تنش، تولید فزاینده آن در اندام‌های گوناگون گیاه دیده شده است (Wieczorek et al., 2006). کاربرد خارجی نیتریک اکسید در گیاهان باعث کاهش خسارت ناشی از برخی تنش‌ها مثل فلزات سنگین، علف‌کش‌ها، سرما، اشعه ماوراء بنفش و شوری شده

است (Arasimowicz and Floryszak-Wieczorek, 2007). نیتریک اکسید یکی از اجزای مسیر سیگنالی است که منجر به بسته شدن روزنه‌های برگ می‌شود (García-Mata and Lamattina, 2001; Duan et al., 2007). سدیم نیتروپروساید به‌عنوان ترکیب رهاکننده نیتریک اکسید در گیاهان استفاده می‌شود (Wieczorek et al., 2006). گزارش شده است که کاربرد سدیم نیتروپروساید در گندم و در شرایط تنش خشکی، باعث کاهش ۲۰ درصدی میزان تعرق و افزایش معنی‌دار محتوی نسبی آب برگ شد و بر این اساس، پیشنهاد گردید که کاربرد خارجی سدیم نیتروپروساید ممکن است تحمل به تنش خشکی در گیاهان را افزایش دهد (García-Mata and Lamattina, 2001).

آبسازیک اسید یک بازدارنده رشد گیاهی است که به‌عنوان پیام‌رسان، در پاسخ به تنش خشکی و سایر تنش‌های محیطی و نیز در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک مثل فتوسنتز و تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها نقش دارد (Rock and Quatrano, 1995). در شرایط خشکی، آبسازیک اسید در بافت‌های گیاه تولید شده و به سلول‌های محافظ روزنه فرستاده می‌شود و باعث بسته شدن روزنه‌ها می‌گردد. گزارش شده که در شرایط مطلوب رطوبتی، غلظت آبسازیک اسید در آوند چوبی آفتابگردان بین ۱ تا ۱۵ نانومولار بوده، در حالی که در شرایط تنش خشکی مقدار آن تا حدود ۳۰۰۰ نانومولار افزایش یافته است (Schurr et al., 1992).

تغییر اقلیم، کاهش بارندگی و افت سطح آب‌های زیرزمینی در سال‌های اخیر، فشار زیادی را بر منابع آب وارد کرده و باعث ایجاد خسارت شدید در مزارع گردیده است. بنابراین لازم است ضمن افزایش کارایی استفاده از منابع آب، روش‌هایی نیز برای مقابله با اثرات خشکی به‌کار گرفته شود. استفاده از ارقام زودرس و با نیاز آبی کم، یکی از روش‌های مقابله با کم‌آبی است که در این مورد آفتابگردان، به‌دلیل دارا بودن ارقام زودرس، جایگاه مناسبی به‌خصوص به‌عنوان کشت دوم و بعد از محصولات نظیر گندم، جو و کلزا دارد. علاوه بر این، استفاده از ترکیبات شیمیایی مختلف برای تخفیف اثرات منفی تنش خشکی، در سال‌های اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است. این مطالعه با هدف امکان کاهش اثرات خشکی و مدیریت مصرف آب در زراعت آفتابگردان اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به مدت دو سال (۹۵-۱۳۹۴) در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان، با مختصات عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۷۵۸ متر از سطح دریا با بافت خاک لوم شنی، pH برابر ۷/۵ و میزان کربن آلی ۰/۴۲ درصد انجام شد. منطقه مورد بررسی از نظر اقلیمی جزء مناطق نیمه‌خشک و سرد، با میانگین

در این معادله ETC: نیاز آبی یا تبخیر و تعرق گیاه زراعی (میلی متر در روز)، ETO: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی متر در روز) و Kc ضریب گیاهی می باشند. میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETO) بر پایه مدل پنمن مانیتث فائو و با استفاده از داده های هواشناسی روزانه، برآورد گردید (Allen et al., 1998). پس از تعیین نیاز آبی روزانه گیاه، مجموع نیاز آبی در دوره های هشت روزه (فاصله بین آبیاری قبلی تا آبیاری مورد نظر) محاسبه شد. سپس با در نظر گرفتن اندازه کرت های آزمایشی و راندمان آبیاری، حجم آب آبیاری در تیمارهای مختلف طبق رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$IR = [(\sum ETC \times A) / E] \quad (2)$$

در این رابطه IR: حجم آب آبیاری (لیتر)، $\sum ETC$: مجموع نیاز آبی گیاه در دوره آبیاری (میلی متر)، A: مساحت کرت آزمایشی (مترمربع) و E راندمان آبیاری می باشند. با توجه به بسته بودن کرت های آزمایشی و استفاده از لوله های پلی اتیلن برای انتقال آب، راندمان آبیاری برابر ۹۰ درصد در نظر گرفته شد. حجم آب مورد استفاده برای هر تیمار با استفاده از کنتور حجمی با دقت یک لیتر اندازه گیری و کنترل شد. کل حجم آب آبیاری برای تیمارهای ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب برابر (۵۴۲۶/۳، ۴۶۱۴/۸ و ۳۸۰۳/۵) و (۶۰۳۹/۵، ۵۱۰۷/۰ و ۴۱۷۶/۰) متر مکعب در هکتار بود.

سلیوم (از منبع سلنات سدیم) و گلیسین بتائین از شرکت آکروس بلژیک (Acros Organics)، سدیم نیتروپروپوساید از شرکت مرک آلمان (Merck)، سالیسیلیک اسید و آسبیزیک اسید از شرکت دوخه فا هلند (Duchefa Biochemie) تهیه شدند. محلول پاشی ترکیبات مورد نظر در اوائل گلدهی (Hussain et al., 2012) بر روی دو خط وسط از هر کرت آزمایشی و با حجم محلول ۱۰۰۰ لیتر در هکتار انجام شد. به منظور اطمینان از جذب مواد، عمل محلول پاشی به مدت سه روز متوالی (Unyayar et al., 2004) و در زمان غروب آفتاب انجام گردید. از ماده تووین ۲۰ (Tween 20) با غلظت ۰/۱ درصد به عنوان مویان استفاده شد. برای گیاهان شاهد، محلول پاشی با آب مقطر انجام شد.

بارندگی سالانه ۲۹۶ میلی متر (بلند مدت ۲۲ ساله) می باشد. سه تیمار آبیاری و شش تیمار محلول پاشی به صورت کرت های یک بار خرد شده بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. تیمارهای آبیاری به عنوان سطوح عامل اصلی و تیمارهای محلول پاشی به عنوان سطوح عامل فرعی در نظر گرفته شدند. تیمارهای آبیاری شامل تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (آبیاری نرمال، $I_{100\%}$)، تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه (تنش ملایم کم آبی، $I_{80\%}$) و تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه (تنش شدید کم آبی، $I_{60\%}$) (Ghobadi et al., 2018) و تیمارهای محلول پاشی شامل آسبیزیک اسید با غلظت ۴۰ میکرومولار (Hussain et al., 2012)، سلیوم از منبع سلنات سدیم با غلظت ۲۰ میلی گرم بر لیتر (Dadnia, 2012)، سالیسیلیک اسید با غلظت ۵۰۰ میکرومولار (Hussain et al., 2008)، سدیم نیتروپروپوساید با غلظت ۱۰۰ میکرومولار (Cechin et al., 2015)، گلیسین بتائین با غلظت ۱۰۰ میلی مولار (Hussain et al., 2008) و تیمار شاهد (محلول پاشی با آب) بودند.

هر کرت آزمایشی شامل پنج ردیف کاشت با فاصله ۶۰ سانتی متر و به طول هفت متر بود. بین کرت های اصلی و فرعی به ترتیب دو و یک خط نکاشت و بین تکرارها دو متر فاصله در نظر گرفته شد. بوته ها در روی خطوط کشت با فاصله ۲۰ سانتی متر کشت شدند. کاشت بذر سال اول در تاریخ ۲۹ خرداد و سال دوم در تاریخ ۳۰ خرداد انجام گرفت. کشت به صورت دستی و در عمق سه تا چهار سانتی متری خاک و روی پشته انجام گردید. به منظور اطمینان از یکنواختی سبز شدن، در هر کپه سه بذر کاشته شد و در مرحله دو تا چهار برگی، بوته های اضافی حذف گردیدند. رقم مورد استفاده در این آزمایش، هیبرید زودرس قاسم بود. آبیاری در مراحل اولیه رشد به صورت یکنواخت انجام شده و اعمال تیمارهای آبیاری بر اساس روش پیشنهادی (Chiment and Hall, 1993) از مرحله شش برگی، آغاز گردید و تا پایان دوره رشد ادامه داشت. به منظور تعیین میزان آب آبیاری، ابتدا نیاز آبی گیاه ETC به صورت روزانه و طبق رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$Etc = ETo \times Kc \quad (1)$$

جدول ۱- آزمون یکنواختی واریانس ها (بارتلت) در صفات مورد بررسی
Table 1- Homogeneity of variances (Bartlett) test in studied traits

	کارایی مصرف آب فتوسنتزی	غلظت CO ₂ زیر روزنه	سرعت فتوسنتز	محتوای نسبی آب	دمای برگ	سرعت تعرق	هدایت روزنه ای
	WUE _p	Ci	A	RWC	Leaf temp.	E	gs
Chi-Square	0.0135	0.0177	2.3597	1.1625	1.9161	0.2939	2.7212
Pr > ChiSq	0.9075	0.8943	0.1245	0.2810	0.1663	0.5878	0.0990

به منظور اندازه گیری سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ (میکرو مول CO₂ بر متر مربع در ثانیه)، هدایت روزنه‌ای (میلی مول بر متر مربع در ثانیه)، سرعت تعرق (میلی مول بر متر مربع در ثانیه) و غلظت CO₂ زیر روزنه (میکرو مول بر مول) و دمای برگ از دستگاه تحلیل گر گاز مادون قرمز LCi ساخت شرکت ADC Bioscientific انگلستان استفاده شد. اندازه گیری‌ها حدود یک هفته پس از اعمال تیمارهای محلول پاشی، بر روی بالاترین برگ کاملاً توسعه یافته در هر کرت فرعی، در ساعت ۱۰ تا ۱۲ ظهر و در یک روز آفتابی با آسمان صاف صورت گرفت. کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرو مول CO₂ بر مول H₂O) از تقسیم میزان فتوسنتز به میزان تعرق برآورد شد (Igbal et al., 2009).

به منظور اندازه گیری محتوای نسبی آب برگ، از بالاترین برگ‌های کاملاً توسعه یافته در هر کرت فرعی نمونه برداری شد. پس از اندازه گیری وزن تر قطعات برگ (FW^۱)، نمونه‌ها به مدت ۱۸ ساعت در شرایط تاریکی درون آب مقطر قرار گرفتند و وزن آماس آنها (TW^۲) تعیین گردید. نمونه‌ها در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفته و وزن خشک آنها (DW^۳) اندازه گیری شد. محتوای نسبی آب برگ (RWC^۴) بر حسب درصد و از معادله (۳) محاسبه شد:

$$RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100 \quad (3)$$

پس از آزمون نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس‌ها (جدول ۱)، تجزیه واریانس مرکب داده‌های دو سال با در نظر گرفتن سال به صورت اثر تصادفی و آزمون F بر اساس امید ریاضی انجام شد. میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند. به منظور انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری و مقایسات میانگین از نرم افزار آماری SAS (v8.2) و برای رسم شکل‌ها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

هدایت روزنه‌ای و تعرق

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو سال (جدول ۲) نشان داد که اثرهای تیمارهای آبیاری و محلول پاشی بر میزان هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق معنی دار بودند. بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق در آبیاری نرمال (۱۰۰ درصد نیاز آبی) به دست آمد و با کاهش میزان آبیاری در تیمارهای ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، میزان هدایت روزنه‌ای به ترتیب حدود ۱۲/۵ و ۲۶ درصد و سرعت تعرق حدود ۱۹ و ۳۵ درصد کاهش یافتند (جدول ۳). کاهش هدایت روزنه‌ای در ارقام

آفتابگردان و در اثر تنش خشکی (قطع آب در مرحله گلدهی) تا ۶۹ درصد (Mehrpooyan, 2011) و در مطالعه دیگری در حدود ۵۵ درصد (Siosemardeh et al., 2011) نیز گزارش شده است. کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق در نتیجه تنش خشکی در آفتابگردان (Igbal et al., 2009) و همچنین در سایر گیاهان زراعی مانند ذرت (Ghobadi et al., 2018)، گندم (Rouhi and Siosemardeh, 2008)، جو (Habibi, 2013) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (Faraji et al., 2013) نیز گزارش شده است. بسته شدن روزنه‌ها یکی از اولین واکنش‌های گیاهان در برابر کمبود آب و تنش خشکی است. این فرآیند به سرعت اتفاق افتاده و میزان هدایت روزنه‌ای را به طور معنی داری کاهش می دهد. کاهش سرعت تعرق نیز همزمان با کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط کمبود آب و در اثر محدودیت‌های روزنه‌ای ایجاد می شود. به عبارت دیگر، گیاهان تحت تنش از طریق تنظیم روزنه‌ای، میزان تلفات آب را کنترل می کنند (Rezaee Rad et al., 2016).

اثر متقابل آبیاری × محلول پاشی برای هدایت روزنه‌ای معنی دار، اما برای سرعت تعرق غیر معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × محلول پاشی نشان داد که در تمام شرایط آبیاری، تیمار شاهد بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای و تعرق را داشت و محلول پاشی با ترکیبات شیمیایی، هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق را به درجات مختلف کاهش دادند. کمترین میزان هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق در همه شرایط آبیاری از کاربرد آبسبزیک اسید و سدیم نیتروپروپوساید حاصل شد که اختلاف معنی داری با تیمار شاهد داشتند (شکل ۱- A). هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق در نتیجه کاربرد آبسبزیک اسید در آبیاری نرمال به ترتیب ۱۵ و ۲۰ درصد و در آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۱۱ و ۱۴ درصد کاهش داشتند. افزایش غلظت آبسبزیک اسید در شرایط خشکی در سلول‌های محافظ روزنه، باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تلفات آب می شود (Schurr et al., 1992). به نظر می رسد کاربرد خارجی آبسبزیک اسید در شرایط نرمال رطوبتی نیز واکنش مشابهی را ایجاد کرده و کاهش هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق را به دنبال دارد. سدیم نیتروپروپوساید نیز از طریق آزادسازی نیتریک اکسید (Duan et al., 2007) و سلنیوم از طریق افزایش تولید اتیلن (Kostopoulou et al., 2010) در فرآیند بسته شدن روزنه‌ها دخالت دارند. کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق در اثر کاربرد خارجی سدیم نیتروپروپوساید در باقلا (*Vicia faba* L.) (Mata and Lamattina, 2001)، سلنیوم در شبدر شیرین (Kostopoulou et al., 2010) و سالیسیلیک اسید در خردل هندی (*Brassica juncea* L.) (Fariduddin et al., 2003) گزارش شده است. کاربرد گلیسین بتائین در ذرت، سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) و گندم تحت تنش خشکی، میزان هدایت روزنه‌ای و تعرق را کاهش داد (Agboma et al., 1997). در حالی که در آفتابگردان،

- 1- Fresh Weight
- 2- Turjid Weight
- 3- Dry Weight
- 4- Relative Water Content

مطالعات متعدد، کاهش محتوای نسبی آب در گیاهان مختلف در نتیجه خشکی گزارش شده است (Hussain et al., 2009; Loutfy et al., 2012; Habibi, 2013; Ghobadi et al., 2018).

بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، کاربرد ترکیبات شیمیایی مختلف محتوای نسبی آب را به طور معنی داری افزایش داد که با کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق هماهنگ بود. بنابراین به نظر می‌رسد جلوگیری از تلفات آب از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق، در افزایش محتوای نسبی آب موثر بوده است. در برخی مطالعات دیگر نیز بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق در نتیجه کاربرد ترکیباتی مانند آبسزیک اسید (Hussain et al., 2010) و سدیم نیتروپروساید (Mata and Lamattina, 2001; Duan et al., 2007)، باعث بهبود محتوای نسبی آب برگ گردید. با این حال گزارش شده است که محتوای نسبی آب برگ بالاتر ممکن است به توانایی ریشه در جذب آب بیشتر و یا به قابلیت تنظیم اسمزی مرتبط باشد (Siosemardeh et al., 2003). در مطالعه‌ای در گندم بهاره گزارش شد که سلنیوم می‌تواند از طریق افزایش ظرفیت جذب آب توسط سیستم ریشه‌ای، وضعیت آب گیاه را در شرایط تنش خشکی تنظیم کند (Kuznetsov et al., 2003). افزایش قابل توجه میزان پرولین، گلیسین بتائین و قندهای محلول در اثر کاربرد سدیم نیتروپروساید مشاهده شده است (Jabbarzadeh et al., 2018). این اسمولیت‌ها نقش مهمی در تنظیم اسمزی دارند. هرچند آفتابگردان در گروه گیاهان انباشت‌کننده گلیسین بتائین است (Igbal et al., 2009) اما گزارشی وجود دارد که محلول پاشی گلیسین بتائین در شرایط تنش خشکی باعث افزایش سطح داخلی گلیسین بتائین، پروتئین‌ها و قندهای محلول در دو رقم آفتابگردان شده است (Hussain et al., 2009; Igbal et al., 2011). همچنین گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید در گندم، به طور معنی داری محتوای کل مواد آلی نظیر کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها و غلظت مواد محلول غیر آلی مانند پتاسیم و کلسیم را به خصوص در ریشه افزایش داد و در کل تاثیر مثبتی در تنظیم اسمزی و افزایش رشد ریشه در شرایط خشکی داشت (Loutfy et al., 2012).

سرعت فتوسنتز

اثر آبیاری بر سرعت فتوسنتز در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۲). در تیمار آبیاری نرمال، متوسط سرعت فتوسنتز معادل ۱۹/۵ میکرومول بر متر مربع در ثانیه بود که در آبیاری‌های ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب ۱۲ و ۲۳ درصد کاهش نشان داد و به ۱۷/۱۶ و ۱۴/۹۷ میکرومول بر متر مربع در ثانیه رسید (جدول ۳). گزارش شده است که در نتیجه تنش خشکی سرعت فتوسنتز در آفتابگردان به طور متوسط ۲۰ درصد کاهش یافت (Siosemardeh et al., 2011). همچنین در مطالعه دیگری تنش خشکی، میزان

تأثیر معنی داری بر هدایت روزنه‌ای نداشت (Igbal et al., 2009). به عقیده این محققین، کاربرد خارجی گلیسین بتائین در گیاهان غیر انباشت‌کننده آن، در مقایسه با گیاهان انباشت‌کننده، اثر بیشتری بر هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز داشته است (Igbal et al., 2009).

دمای برگ

آبیاری و محلول پاشی اثر بسیار معنی داری بر دمای برگ داشتند (جدول ۲). کمترین دمای برگ در شرایط آبیاری نرمال وجود داشت (۲۹/۶ درجه سانتی‌گراد) و کم‌آبیاری باعث افزایش دمای برگ گردید. به طوری که در شرایط آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، دمای برگ به ترتیب حدود ۱/۶ و ۲/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش نشان داد. در بین تیمارهای محلول پاشی، تیمار شاهد کمترین (۳۰/۷ درجه سانتی‌گراد) و آبسزیک اسید بیشترین (۳۱/۷ درجه سانتی‌گراد) متوسط دمای برگ را طی دو سال آزمایش داشتند (جدول ۳). اثر متقابل آبیاری × محلول پاشی برای دمای برگ غیر معنی دار بود (جدول ۲). در مطالعه‌ای در گیاه ذرت و در شرایط تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، دمای برگ حدود ۲/۷ و ۳/۲ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با آبیاری نرمال افزایش یافت (Ghobadi et al., 2018). بسته شدن نسبی روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق در شرایط خشکی، تلفات آب را کاهش می‌دهد، اما باعث افزایش دمای برگ می‌شود. از طرف دیگر در شرایط تنش، واکنش‌های فتوشیمیایی گیاه دچار اختلال شده و مقدار زیادی از انرژی خورشیدی جذب شده توسط برگ‌ها، مصرف نشده و به گرما تبدیل می‌شود. تعرق راه اصلی دفع گرما و انرژی اضافه در گیاه است و کاهش تعرق منجر به افزایش دمای برگ می‌شود (Ghobadi et al., 2018). افزایش دمای برگ و ارتباط آن با کاهش مقدار تعرق در شرایط تنش خشکی در گندم (Siddique et al., 2001) نیز گزارش شده است.

محتوای نسبی آب برگ

محتوای نسبی آب برگ تحت تاثیر آبیاری و محلول پاشی قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین محتوای نسبی آب (۹۰/۸ درصد) مربوط به شرایط آبیاری نرمال بود و آبیاری به میزان ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، محتوای نسبی آب برگ را به ترتیب در حدود ۱۰ و ۲۸/۵ درصد کاهش داد (جدول ۳). متوسط محتوای نسبی آب در تیمار شاهد معادل ۷۶/۳ درصد بود و محلول پاشی با ترکیبات مورد نظر به طور معنی داری باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد گردید، اما اختلاف معنی داری بین ترکیبات مورد استفاده وجود نداشت (جدول ۳). اثر متقابل آبیاری × محلول پاشی برای محتوای نسبی آب معنی دار نبود (جدول ۲).

محتوای نسبی آب نشان‌دهنده وضعیت رطوبتی گیاه است و رابطه مستقیمی با محتوای رطوبتی خاک دارد. در همین رابطه در

آسیمیلایسیون خالص CO_2 برگ را در دو رقم آفتابگردان در مرحله رویشی و زایشی به ترتیب حدود ۵۵ و ۳۷ درصد کاهش داد (Igbal et al., 2009). کاهش سرعت فتوسنتز در نتیجه تنش خشکی در

گندم (Siddique et al., 1999)، جو (Habibi, 2013) و ذرت (Ghobadi et al., 2018) نیز گزارش شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب تبادلات گازی، صفات فتوسنتزی و روابط آب تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول پاشی برخی ترکیبات شیمیایی

Table 2- Combined analysis of variance for gas exchange, photosynthetic and water relations traits affected by irrigation and some chemical treatments

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares						
			هدایت روزانه‌ای gs	سرعت تعرق E	دمای برگ Leaf temp.	محتوای نسبی آب RWC	سرعت فتوسنتز A	غلظت CO_2 زیر روزنه Ci	کارایی مصرف آب فتوسنتزی WUE _p
Year (Y)	سال	1	68.00 ^{ns}	0.38 ^{ns}	32.12 ^{ns}	29.42 ^{ns}	8.42 ^{ns}	310.08 ^{ns}	0.03 ^{ns}
Rep. (year)	تکرار (سال)	4	17.20	0.15	19.41	33.42	1.87	438.63	0.18
Irrigation (I)	آبیاری	2	1928.70 [*]	49.97 [*]	77.41 ^{**}	6225.79 ^{**}	184.57 [*]	74644.23 ^{**}	2.74 [*]
Y × I	سال × آبیاری	2	39.15 [*]	0.84 ^{**}	0.04 ^{ns}	47.89 ^{ns}	5.70 ^{ns}	718.08 ^{ns}	0.04 ^{ns}
I × Rep. (year)	خطای a	8	6.97	0.08	2.05	12.50	2.34	643.91	0.12
Foliar application	محلول پاشی	5	91.31 ^{**}	2.10 ^{**}	2.54 ^{**}	38.09 [*]	15.52 ^{ns}	1489.85 ^{ns}	1.14 [*]
I × F	آبیاری × محلول پاشی	10	4.11 [*]	0.17 ^{ns}	0.08 ^{ns}	7.22 ^{ns}	10.27 ^{**}	542.11 ^{**}	0.24 [*]
Y × F	سال × محلول پاشی	5	2.41 ^{ns}	0.34 ^{ns}	0.06 ^{ns}	2.48 ^{ns}	0.21 ^{ns}	15.26 ^{ns}	0.10 ^{ns}
Y × I × F	سال × آبیاری × محلول پاشی	10	1.25 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.10 ^{ns}	2.60 ^{ns}	0.49 ^{ns}	19.43 ^{ns}	0.05 ^{ns}
Error	خطای b	60	12.56	0.23	1.65	16.67	3.52	299.45	0.20
C.V. (%)	ضریب تغییرات (درصد)		7.19	8.74	4.12	5.17	10.90	7.05	14.00

* and **: Significant at the 5 and 1 percent probability levels, respectively.
ns: Not significant.

* و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد
ns: غیر معنی دار

کاهش معنی دار سرعت فتوسنتز در مقایسه با تیمار شاهد گردیدند. در چنین شرایطی، محلول پاشی گلیسین بتائین تغییری در سرعت فتوسنتز ایجاد نکرد، اما کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش سرعت فتوسنتز شد. در شرایط کم آبیاری (تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه)، محلول پاشی ترکیبات مورد استفاده، سرعت فتوسنتز را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. در این شرایط، سالیسیلیک اسید بیشترین تأثیر را داشت و در شرایط آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، سرعت فتوسنتز را به ترتیب ۱۳ و ۱۹/۷ درصد افزایش داد (شکل ۱-ب).

گزارش شده است که محلول پاشی گلیسین بتائین در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی باعث افزایش سرعت فتوسنتز در ارقام آفتابگردان شد. در این مطالعه، کاربرد گلیسین بتائین اثری بر هدایت

سرعت فتوسنتز بیانگر موفقیت گیاه در تثبیت CO_2 است که در نهایت منجر به تولید ماده خشک و عملکرد می گردد. بسته شدن روزنه ها و کاهش هدایت روزنه ای به منظور جلوگیری از تلفات آب انجام می شود، اما باعث محدودیت در ورود CO_2 شده و یکی از دلایل اصلی کاهش فتوسنتز، به ویژه در مراحل اولیه خشکی می باشد (Rezaee Rad et al., 2016). کاهش هماهنگ فتوسنتز و هدایت روزنه ای در شرایط تنش خشکی، نشان دهنده محدودیت روزنه ای و کاهش فراهمی CO_2 در فتوسنتز است (Yordanov et al., 2003; Rezaee Rad et al., 2016).

اثر متقابل آبیاری × محلول پاشی برای سرعت فتوسنتز معنی دار بود (جدول ۲) در آبیاری نرمال و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، محلول پاشی آبسیزیک اسید، سدیم نیتروپروساید و سلیوم باعث

داده شد و گزارش شد که محلول پاشی سلنیوم تاثیر معنی داری در افزایش میزان فتوسنتز در شرایط نرمال و تنش خشکی نداشت (Habibi, 2013). افزایش سرعت فتوسنتز خالص و کاهش تعرق در خردل هندی در نتیجه کاربرد سالیسیلیک اسید و از طریق افزایش سرعت فتوسنتز و بهبود روابط آبی گیاه گزارش شده است (Fariduddin et al., 2003).

روزنه‌ای نداشت و بنابراین اثر مثبت محلول پاشی گلیسین بتائین بر سرعت فتوسنتز به هدایت روزنه‌ای مربوط نمی‌شد. این محققین اشاره کردند که امکان دارد محلول پاشی گلیسین بتائین سرعت فتوسنتزی را از طریق عوامل غیر روزنه‌ای نظیر جذب کربن و ظرفیت فتوشیمیایی افزایش داده باشد (Igbal et al., 2009). در مطالعه دیگری در گیاه جو، کاهش فتوسنتز در اثر تنش خشکی به محدودیت روزنه‌ای نسبت

جدول ۳- مقایسه میانگین دو ساله تبادلات گازی، صفات فتوسنتزی و روابط آب در سطوح مختلف آبیاری و محلول پاشی برخی ترکیبات شیمیایی

Table 3- Two years mean comparison for gas exchange, photosynthetic and water relations traits in irrigation levels and foliar application of some chemicals

Foliar application of some chemicals								
هدایت روزنه‌ای gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)	سرعت تعرق E (mmol m ⁻² s ⁻¹)	دمای برگ Leaf t. (°C)	محتوای نسبی آب RWC (%)	سرعت فتوسنتز A (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	غلظت CO ₂ زیر روزنه Ci (μmol mol ⁻¹)	کارایی مصرف آب فتوسنتزی WUEp (μmol CO ₂ mol ⁻¹ H ₂ O)		
Irrigation	آبیاری							
100%	56.51 a	6.71 a	29.63 c	90.78 a	19.50 a	237.00 b	2.92 c	
80%	49.44 b	5.41 b	31.28 b	81.51 b	17.16 ab	204.56 c	3.20 b	
60%	41.87 c	4.36 c	32.55 a	64.83 c	14.97 b	294.47 a	3.47 a	
Foliar application	محلول پاشی							
ABA	آبسیزیک اسید	46.46 d	5.03 d	31.66 a	80.40 a	16.58 a	236.56 b	3.38 ab
SNP	سدیم نیترو پروساید	47.64 cd	5.21 cd	31.37 b	79.80 a	16.95 a	239.83 b	3.33 ab
SA	سالیسیلیک اسید	49.19 bc	5.50 bc	31.15 b	78.83 a	19.06 a	240.06 b	3.51 a
Se	سلنیوم	49.08 bc	5.50 bc	31.30 b	79.87 a	16.65 a	245.06 ab	3.10 bc
GB	گلیسین بتائین	50.31 b	5.74 ab	30.76 c	79.02 a	17.18 a	248.11 ab	3.04 bc
Control	شاهد	52.97 a	5.98 a	30.68 c	76.32 b	16.88 a	261.95 a	2.83 c

میانگین‌های دارای حروف مشترک، در هر ستون و برای هر عامل، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.

Means with similar letters, in each column and each factor, are not significantly different at the 5% probability level based on Duncan's multiple range test.

غلظت CO₂ زیر روزنه

شرایط آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه، غلظت CO₂ زیر روزنه در تمام تیمارها کاهش یافت. تیمار شاهد و پس از آن گلیسین بتائین دارای بیشترین و سالیسیلیک اسید دارای کمترین غلظت CO₂ زیر روزنه بودند. در شرایط آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، تیمار شاهد بیشترین غلظت CO₂ زیر روزنه را داشت و کاربرد ترکیبات مختلف باعث کاهش معنی دار غلظت CO₂ زیر روزنه گردید. کمترین غلظت CO₂ زیر روزنه از کاربرد سالیسیلیک اسید حاصل شد (شکل ۱- C).

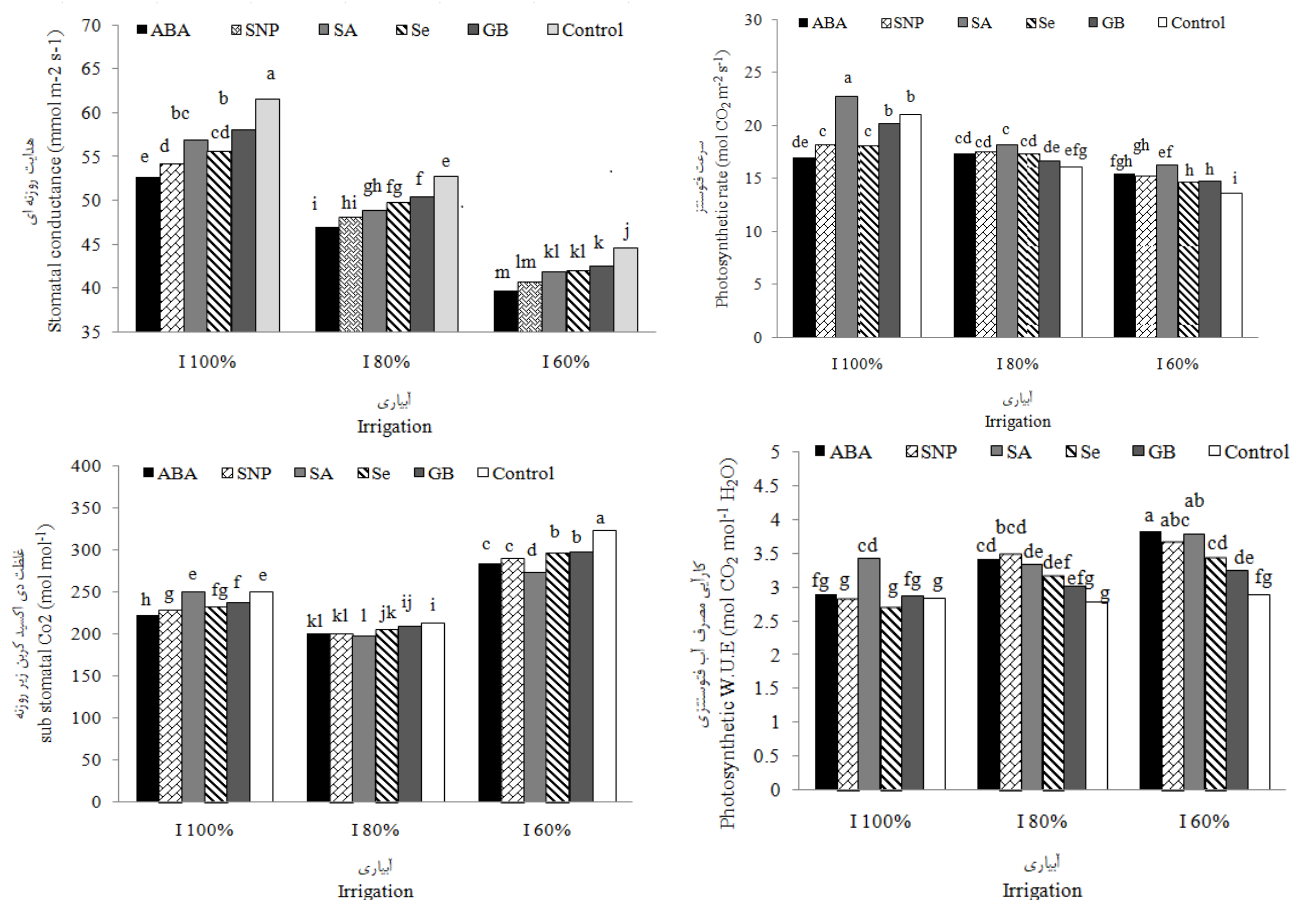
در مراحل اولیه تنش خشکی، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای منجر به کاهش ورود دی‌اکسید کربن و در نتیجه کاهش غلظت CO₂ زیر روزنه‌ای شده و عامل اصلی کاهش فتوسنتز است. در تنش‌های شدید، اختلال در فرآیندهای تثبیت CO₂ عامل اصلی کاهش فتوسنتز است که منجر به تجمع CO₂ در فضای زیر روزنه می‌شود (Chaves and Oliveira, 2004). در مطالعه دیگری در آفتابگردان گزارش شد که در شرایط تنش خشکی به دلیل آسیب دیدن سیستم فتوسنتزی، CO₂ وارد شده به فضای زیر روزنه در فرآیند فتوسنتز به خوبی مصرف نشده و غلظت CO₂ زیر روزنه افزایش

آبیاری تاثیر بسیار معنی داری بر غلظت CO₂ زیر روزنه داشت (جدول ۲). متوسط غلظت CO₂ زیر روزنه در شرایط آبیاری نرمال معادل ۲۳۷ میکرومول بر مول بود. با کاهش میزان آبیاری تا حد ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه، غلظت CO₂ زیر روزنه به طور معنی داری کاهش یافت و به ۲۰۴/۵ میکرومول بر مول رسید، پس از آن و با کاهش بیشتر میزان آبیاری تا ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، غلظت CO₂ زیر روزنه با افزایش قابل توجه به ۲۹۴/۵ میکرومول بر مول رسید که نسبت به آبیاری نرمال حدود ۲۴ درصد افزایش داشت (جدول ۳). افزایش غلظت CO₂ زیر روزنه در نتیجه تنش خشکی تا حدود ۴۴ درصد در ارقام گندم (Rouhi and Siosemardeh, 2008) و تا حدود ۸ درصد در ارقام لوبیا (Faraji et al., 2013) گزارش شده است.

اثر متقابل آبیاری × محلول پاشی برای غلظت CO₂ زیر روزنه معنی دار بود (جدول ۲). در شرایط آبیاری نرمال، سالیسیلیک اسید تأثیری بر غلظت CO₂ زیر روزنه نداشت اما محلول پاشی با سایر ترکیبات، باعث کاهش معنی دار غلظت CO₂ زیر روزنه گردید. در

این شرایط، کاربرد خارجی گلیسین بتائین باعث افزایش غلظت CO_2 زیر روزنه در گیاهان تحت تنش گردید (Igbal *et al.*, 2009). افزایش غلظت CO_2 زیر روزنه ممکن است در نتیجه دو عامل ایجاد شود، اول افزایش هدایت روزنه‌ای و ورود دی‌اکسید کربن و دوم کاهش تثبیت و تجمع CO_2 در فضای زیر روزنه (Igbal *et al.*, 2009).

می‌یابد (Siosemardeh *et al.*, 2011). به عبارت دیگر، در صورتی که کاهش فتوسنتز با افزایش یا ثابت غلظت CO_2 زیر روزنه همراه باشد، بیانگر نقش عوامل غیر روزنه‌ای در محدودیت و کاهش فتوسنتز است. افزایش غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای بیانگر افت کارایی کربوکسیلاسیون در شرایط تنش است. در مطالعه‌ای در گیاه آفتابگردان گزارش شد که غلظت CO_2 زیر روزنه در گیاهان تحت تنش خشکی به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد کمتر بود. در



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری x محلول‌پاشی از نظر صفات هدایت روزنه‌ای (A)، سرعت فتوسنتز (B)، غلظت CO_2 زیر روزنه (C) و کارایی مصرف آب فتوسنتزی (D). در هر ستون میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد است. ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 1- Mean comparison of irrigation x foliar application interaction for stomatal conductance (A), photosynthetic rate (B), sub stomatal CO_2 concentration (C) and photosynthetic water use efficiency (D). In each column, vertical bars represent the standard error. Columns with similar letters are not significantly different at the 5% probability level based on Duncan's multiple range test.

مول H_2O بود. با کاهش میزان آب آبیاری، کارایی مصرف آب فتوسنتزی افزایش یافت و تیمارهای آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب حدود ۹ و ۱۹ درصد کارایی مصرف آب فتوسنتزی بیشتری داشتند (جدول ۳).

کارایی مصرف آب فتوسنتزی

کارایی مصرف آب فتوسنتزی تحت تأثیر آبیاری قرار گرفت (جدول ۲). در شرایط آبیاری نرمال و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، متوسط کارایی مصرف آب فتوسنتزی برابر ۲/۹۲ میکرومول CO_2 به ازای هر

وضعیت آبیاری، محلول پاشی با ترکیبات مورد بررسی باعث کاهش متوسط هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق نسبت به تیمار شاهد شدند، در حالی که دمای برگ و محتوای نسبی آب افزایش یافتند. کمترین میزان هدایت روزنه‌ای و تعرق و بیشترین میزان محتوای نسبی آب در نتیجه محلول پاشی با آبسیزیک اسید و سدیم نیتروپروساید به دست آمد و این ترکیبات از طریق محدودیت‌های روزنه‌ای و کاهش تلفات آب، هدایت روزنه‌ای و تعرق را به ترتیب ۱۱ و ۱۴ درصد کاهش دادند و بیشترین تأثیر را بر روابط آبی آفتابگردان داشتند. با کاهش میزان هدایت روزنه‌ای و تعرق، دمای برگ به درجات مختلف افزایش پیدا کرد. بالاترین دمای برگ، ناشی از کاربرد آبسیزیک اسید بود که نسبت به تیمار شاهد به طور متوسط یک درجه سانتی‌گراد افزایش داشت.

اثر محلول پاشی ترکیبات مختلف بر سرعت فتوستنزی و غلظت CO_2 زیر روزنه تحت تأثیر وضعیت آبیاری قرار گرفت. در شرایط آبیاری نرمال، کاربرد سالیسیلیک اسید باعث بهبود سرعت فتوستنزی شد و اثر کمتری در کاهش غلظت CO_2 زیر روزنه داشت. ولی کاربرد آبسیزیک اسید، سدیم نیتروپروساید و سلنیوم باعث کاهش غلظت CO_2 زیر روزنه و سرعت فتوستنزی نسبت به تیمار شاهد گردیدند که احتمالاً به دلیل محدودیت‌های روزنه‌ای بوده است. در شرایط کم آبیاری، کاربرد تمامی ترکیبات شیمیایی، سرعت فتوستنزی را نسبت به تیمار شاهد افزایش و غلظت CO_2 زیر روزنه را کاهش داد که احتمالاً ناشی از تأثیر این ترکیبات شیمیایی بر عوامل غیر روزنه‌ای موثر در فتوستنزی بوده است. در این مورد نیز سالیسیلیک اسید نسبت به سایر ترکیبات، بیشترین تأثیر را داشت به طوری که در شرایط کم‌آبی شدید (۶۰ درصد نیاز آبی) سرعت فتوستنزی نسبت به تیمار شاهد ۱۹/۶ درصد افزایش یافت.

به طور کلی، کاربرد ترکیبات شیمیایی مورد بررسی، به درجات مختلف از طریق کاهش تلفات آب، بهبود وضعیت آبی گیاه و افزایش میزان فتوستنزی، در کنترل اثرات زیانبار خشکی موثر بودند. در بین ترکیبات شیمیایی به کار رفته در این آزمایش، به نظر می‌رسد محلول پاشی سالیسیلیک اسید هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در افزایش تحمل به کم‌آبی و تخفیف اثرات نامطلوب تنش خشکی مؤثرتر بوده است.

کارایی مصرف آب فتوستنزی با میزان فتوستنزی رابطه مستقیم و با سرعت تعرق رابطه عکس دارد. بنابراین هر عاملی که باعث افزایش سرعت فتوستنزی و یا کاهش میزان تعرق شود، کارایی مصرف آب فتوستنزی را افزایش می‌دهد. افزایش کارایی مصرف آب فتوستنزی در اثر تنش خشکی در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Yordanov et al., 2003; Siosemardeh et al., 2011). با این حال، کارایی مصرف آب در دو رقم آفتابگردان تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت (Igbal et al., 2009).

اثر متقابل آبیاری × محلول پاشی برای کارایی مصرف آب فتوستنزی معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط آبیاری نرمال، کارایی مصرف آب فتوستنزی در اثر محلول پاشی با سالیسیلیک اسید نسبت به تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت، اما کاربرد سایر ترکیبات تأثیر معنی‌داری نداشتند. در شرایط کم آبیاری، محلول پاشی با تمامی ترکیبات، باعث افزایش کارایی مصرف آب در مقایسه با تیمار شاهد گردید. بیشترین کارایی مصرف آب فتوستنزی از محلول پاشی با آبسیزیک اسید، سالیسیلیک اسید و سدیم نیتروپروساید به دست آمد (شکل ۱- D). کاربرد ترکیبات شیمیایی که میزان فتوستنزی یا تعرق را تحت تأثیر قرار دهند قادرند بر کارایی مصرف آب فتوستنزی تأثیر داشته باشند. در صورتی که تغییرات فتوستنزی و تعرق یکسان باشد، کارایی مصرف آب فتوستنزی بدون تغییر خواهد بود. در مطالعات دیگر، کاربرد سلنیوم در جو (Habibi, 2013) و گلیسین بتائین در آفتابگردان (Igbal et al., 2009) تأثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب فتوستنزی نداشتند.

نتیجه گیری

تبادلات گازی و خصوصیات فتوستنزی آفتابگردان به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر آبیاری قرار گرفت و کاهش آبیاری باعث کاهش شدید هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، محتوای نسبی آب برگ و سرعت فتوستنزی و افزایش دمای برگ شد. با کاهش میزان آب آبیاری و در تنش ملایم (تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه)، غلظت CO_2 زیر روزنه کاهش و با تشدید کم‌آبی (تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه)، افزایش یافت، اما کارایی مصرف آب فتوستنزی به طور یکنواخت روند افزایشی داشت.

محلول پاشی با ترکیبات شیمیایی مختلف تبادلات گازی و خصوصیات فتوستنزی آفتابگردان را تحت تأثیر قرار داد، صرف نظر از

References

1. Agboma, P., Jones, M. G. K., Peltonen-sainio, P., Hinkkanen, R., and Pehu, E. 1997. Exogenous glycine betaine enhances grain yield of maize, sorghum and wheat grown under two supplementary watering regimes. *Journal of Agronomy and Crop Science* 178: 29-37.
2. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56*. FAO, Rome, Italy. 300p.
3. Angadi, S. V., and Entz, M. H. 2002. Root system and water use patterns of different height sunflower cultivars. *Agronomy Journal* 94: 136-145.

4. Arasimowicz, M., and Floryszak-Wieczorek, J. 2007. Nitric oxide as a bioactive signaling molecule in plant stress responses. *Plant Sciences* 172: 876-887.
5. Bayat, S., Sepehri, A., Zare-abyaneh, H., and Abdollahi, M. R. 2010. Effect of Salicylic acid and paclobutrazol on some growth traits and yield of corn under drought stress. *Quarterly Journal of Crop Ecophysiology* 2 (1): 34-40. (in Persian with English abstract).
6. Bohnert, H. J., Nelson, D. E., and Jensen, R. E. 1995. Adaptation to environmental stresses. *Plant Cell* 7:1099-1111.
7. Cechin, I., Cardoso, G. S., Fumis, T. F., and Corniani, N. 2015. Nitric oxide reduces oxidative damage induced by water stress in sunflower plants. *Bragantia* 74 (2): 200-206.
8. Chaves, M. M., and Oliveira, M. M. 2004. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany* 55: 2365-2384.
9. Chimenti, C. A., Pearson, J., and Hall, A. J. 2002. Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. *Field Crop Research* 75: 235-246.
10. Dadnia, M. R. 2012. Study the effect of water deficit stress and selenium foliar application on activity of some antioxidant enzymes in oil sunflower cultivars. *Crop Physiology* 4 (14): 71-81. (in Persian with English abstract).
11. Duan, X., Su, X., You, Y., Qu, H., Li, Y., and Jiang, Y. 2007. Effects of nitric oxide on pericarp browning of harvested longan fruit in relation to phenolic metabolism. *Food Chemistry* 104: 571-576.
12. El-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley Gains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation* 45: 215-225.
13. Faraji, M., Mobasser, H., Ghanbari Malidareh, A., and Nazari, H. 2013. Effects of drought stress on gas exchange and water relations of red bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Crop Production in Environmental Stress* 4 (4):13-26. (in Persian with English abstract).
14. Fariduddin, Q., Hayat, S., and Ahmad, A. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica* 41: 281-284.
15. Farooq, M., Wahid, A., Lee, D. J., Cheema, S. A., and Aziz, T. 2010. Drought stress: comparative time course action of the foliar applied Glycinebetaine, Salicylic acid, Nitrous oxide, Brassinosteroids and Spermine in improving drought resistance of rice. *Journal of Agronomy and Crop Science* 196 (5): 336-345.
16. Gaber Gomaa, S., Osama Kansowa, A., and Hossam Saad, E. 2010. Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 38 (1): 139-148.
17. Garcí'a-Mata, C., and Lamattina, L. 2001. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress. *Plant Physiology* 126: 1196-1204.
18. Ghadami Firouzabadi, A., Raeini Sarjaz, M., Shahnazari, A., and Zareabyaneh, H. 2015. Water management and soil moisture changes in full, regulated deficit and partial root zone deficit irrigations in sunflower plant. Ph.D. Thesis in irrigation and drainage engineering. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Mazandaran. Iran. 176 pp. (in Persian with English abstract).
19. Ghobadi, R., Ghobadi, M., Jalali Honarmand, S., Farhadi, B., and Mondani, F. 2018. Study the responses of some leaf physiologic characteristics to different water and nitrogen levels in grainy maize (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 16 (3): 583-597. (in Persian with English abstract).
20. Habibi, Gh. 2013. Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley. *Acta agriculturae Slovenica* 101 (1): 31-39.
21. Hasanuzzaman, M., and Fujita, M. 2011. Selenium pretreatment up-regulates the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system and confers enhanced tolerance to drought stress in rapeseed seedlings. *Biological Trace Element Research* 143: 1758-1776.
22. Hussain, M., Malik, M. A., Farooq, M., Ashraf, M. Y., and Cheema, M. A. 2008. Improving drought tolerance by exogenous application of glycinebetaine and salicylic acid in sunflower. *Journal of Agronomy and Crop Science* 194 (3): 193-199.
23. Hussain, M., Malik, M. A., Farooq, M., Khan, M. B., Akram, M., and Saleem, M. F. 2009. Exogenous glycinebetaine and salicylic acid application improves water relations, allometry and quality of hybrid sunflower under water deficit conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science* 195: 98-109.
24. Hussain, S., Saleem, M. F., Ashraf, M. Y., Cheema, M. A., and Haq, M. A. 2010. Absciscic acid, a stress hormone helps in improving water relations and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids under drought. *Pakistan Journal of Botany* 42: 2177-2189.
25. Hussain, S., Ali, A., Ibrahim, M., Saleem, M. F., Alias Haji, M. A., and Bukhsh, A. 2012. Exogenous application of absciscic acid for drought tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.): A review. *The Journal of Animal & Plant Sciences* 22 (3): 806-826.
26. Iqbal, N., Ashraf, M., and Ashraf, M. Y. 2009. Influence of Exogenous Glycine Betaine on Gas Exchange and Biomass Production in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) under Water Limited Conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science* 195: 420-426.

27. Igbal, N., Ashraf, M. Y., and Ashraf, M. 2011. Modulation of endogenous levels of some key organic metabolites by exogenous application of glycine betaine in drought stressed plants of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant Growth Regulation* 63: 7-12.
28. Jabbarzadeh, M., Tehranifar, A., Amiri, J., and Abedy, B. 2018. The effect of different concentrations of sodium nitroprusside (SNP) on some morphological, physiological and biochemical traits of *Zinnia elegans* under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function* 6 (19): 105-116. (in Persian with English abstract).
29. Kostopoulou, P., Barbayiannis, N., and Noitsakis, B. 2010. Water relations of yellow sweet clover under the synergy of drought and selenium addition. *Plant and Soil* 330: 65-71.
30. Kuznetsov, V. V., Kholodova, V. P., Kuznetsov, V. V., and Yagodin, B. A. 2003. Selenium regulates the water status of plants exposed to drought. *Doklady Biological Sciences* 90: 266-268.
31. Loutfy, N., El-Tayeb, M. A., Hassanen, M. A., Moustafa, M. F. M., Sakuma, Y., and Inouhe, M. 2012. Changes in the water status and osmotic solute contents in response to drought and salicylic acid treatments in four different cultivars of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Plant Research* 125: 173-184.
32. Makela, P., Jokinen, K., Kontturi, M., Peltonen-Sainio, P., Pheu, E., and Somersalo, S. 1998. Foliar application of glycinebetaine a novel product from sugar beet as an approach to increase tomato yield. *Industrial Crops and Products* 7: 139-148.
33. Mata, C., and Lamattina, L. 2001. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the plant adaptive responses against drought stress. *Plant Physiology* 126: 1196-1204.
34. Mehrpouyan, M. 2011. Study on CO₂ exchange, photosynthesis and grain yield in sunflower cultivars under drought stress conditions. *Journal of Crop Production Research (Environmental Stresses in Plant Sciences)* 3 (2): 197-206. (in Persian with English abstract).
35. Rezaee Rad, H., Hooshmand, A. R., Naseri, A. A., and Siahpoosh, M. R. 2016. Effects of drought stress on physiological characteristics and yield of maize in the presence of a shallow water table in Ahvaz climatic conditions. *Journal of Irrigation Science and Engineering* 39 (1): 55-66. (in Persian with English abstract).
36. Rock, C. D., and Quatrano, R. S. 1995. *Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*, Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers, Second edition. 671 pp.
37. Rouhi, A., and Siosemardeh, A. 2008. Study of gas exchange in different wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) under drought stress. *Seed and Plant Production Journal* 24 (1): 45-62. (in Persian with English abstract).
38. Schurr, U., Gollan, T., and Schulze, E. D. 1992. Stomatal response to drying soil in relation to changes in xylem sap composition of sunflower, II. Stomatal sensitivity to abscisic acid imported from the xylem sap. *Plant, Cell and Environment* 15: 561-567.
39. Siddique, M. R. B., Hamid, A., and Islam, S. 1999. Drought stress effect on photosynthetic rate and leaf gas exchange of wheat. *Botanical Bulletin- Academia Sinica Taipei* 40: 141-145.
40. Siddique M. R. B., Hamid, A., and Islam, S. 2001. Drought stress effects on water relations of wheat. *Botanical Bulletin- Academia Sinica Taipei* 41: 35-39.
41. Singh, B., and Usha, K. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulators* 39: 137-141.
42. Siosemardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., and Ebrahimzadeh, H. 2003. Stomatal and nonstomatal limitations to photosynthesis and their relationship with drought resistance in wheat cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Science* 35 (1): 93-106. (in Persian with English abstract).
43. Siosemardeh, A., Ranjbar-balkhkanlou, H., Sohrabi, Y., and Bahram nejad, Y. 2011. Evaluation of grain yield, gas exchange and source and sink limitation in sunflower under drought stress at different levels of defoliation. *Iranian Journal of Field Crop Science* 42 (3): 585-596. (in Persian with English abstract).
44. Unyayar, S., Keles, Y., and Unal, E. 2004. Proline and ABA Levels in two sunflower genotypes subjected to water stress. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 30 (3-4): 34-37.
45. Wiczorek, J. F., Milczarek, G., Arasimovicz, M., and Ciszewski, A. 2006. Do nitric oxide donors mimic endogenous NO-related response in plants? *Planta* 224: 1363-1372.
46. Yao, X., Chu, J., and Wang, G. 2009. Effects of selenium on wheat seedlings under drought stress. *Biological Trace Element Research* 130: 283-290.
47. Yarnia, M., Safaie, P., Khorshidi-benam, M. B., and Farajzadeh, E. 2009. Effect of drought stress and potassium sulfate on yield and yield components of sunflower. *New Finding in Agriculture, Islamic Azad University, Arak Branch*. 3 (3): 317-332. (in Persian with English abstract).
48. Yordanov, I., Velikova, V., and Tsonev, T. 2003. Plant response to drought and stress tolerance. *Bulgarian Journal of Plant Physiology. (Special Issue)*. 187-206.
49. Yousefvand, P., Sajedi, N., and Mirzakhani, M. 2011. Effect of drought stress, zeolite and selenium on yield and yield components on sunflower. *New Finding in Agriculture, Islamic Azad University, Arak Branch*. 5 (3): 325-339. (in Persian with English abstract).



Influence of Foliar Application of Some Chemicals on Gas Exchange, Water Relations and Photosynthetic Traits in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) under Different Irrigation Regimes

M. Yazdandoost Hamedani¹, M. Ghobadi^{2*}, M. E. Ghobadi², S. Jalali-Honarmand², M. Saeidi²

Received: 01-12-2018

Accepted: 14-04-2019

Introduction

Many solutions have been introduced to enhance drought tolerance. Exogenous applications of various chemicals such as compatible solutes, growth regulators and stress-messenger molecules have been considered during recent years. Glycine betaine (GB) is one of the most effective osmoprotectants. The physiological and antioxidant properties of selenium (SE) have become of higher importance for biologists. Salicylic acid (SA) plays an important role in the abiotic stresses tolerant. Nitric oxide plays an important role in many physiological and vegetative processes such as seed germination, stomatal closure, root development, aging and adaptation to several stress types. Sodium nitroprusside (SNP) is commonly used as a nitric oxide releasing agent in plants. Absciscic acid (ABA), as a messenger, plays a role in responding to drought and other environmental stresses, as well as in many physiological processes such as photosynthesis and regulation of stomatal opening and closure. The aim of this study was to compare the influence of some chemicals as foliar application in order to reduce the adverse effects of drought stress in sunflower.

Materials and Methods

This experiment was conducted at the Agricultural Research Center of Hamedan, Iran, during 2015-2016. Three irrigation and six foliar application treatments were evaluated in a split plot experiment. Irrigation treatments consisted of 60%, 80% and 100% of crop water requirement and foliar application treatments included: absciscic acid 40 μ M, Selenium 20 mg L⁻¹, Salicylic acid 500 μ M, SNP 100 μ M, Glycine betaine 100 mM, and control. An infrared gas analyzer (IRGA, Lci, ADC Bioscientific Ltd, Hoddeston, UK) was used in order to measure the photosynthesis rate, stomatal conductance, transpiration rate, leaf temperature and sub-stomatal CO₂ concentration. Photosynthetic water use efficiency was calculated from photosynthesis rate divided by transpiration rate. The leaf relative water content (RWC) was calculated as the follows:

$$\text{RWC (\%)} = [(\text{FW} - \text{DW}) / (\text{TW} - \text{DW})] \times 100$$

Where FW is the leaf fresh weight, DW is the leaf dry weight and TW indicates the leaf turgid weight.

Combined analysis of variance of two years data was done using SAS statistical software. The comparison of means was carried out by Duncan's multiple range test at 5% of probability level.

Results and Discussion

Effects of irrigation and foliar application on stomatal conductivity and transpiration rate were significant. Stomatal conductivity and transpiration rate were decreased by decreasing irrigation amount. The lowest rate of stomatal conductivity and transpiration rate in all irrigation conditions were resulted from ABA. Leaf temperature and RWC were affected by irrigation and foliar application. The lowest leaf temperature was obtained under normal irrigation. The highest RWC (90.8%) was attributed to normal irrigation. Applying 80% and 60% of crop water requirement reduced RWC about 10% and 28.5%, respectively. Foliar application of chemicals increased RWC. The effects of irrigation and irrigation $\times$ foliar application on photosynthesis rate were significant. The photosynthesis rate decreased with decreasing the irrigation amount. Sub-stomatal CO₂ concentration decreased under 80% of crop water requirement and it increased in 60% of crop water requirement. Under normal irrigation conditions, photosynthetic water use efficiency enhanced by foliar application of SA, but under water deficit conditions, foliar application with all compounds promoted photosynthetic water use efficiency.

Conclusions

Decreasing of irrigation water had significant effects on gas exchange and photosynthetic properties of sunflower and caused a sharp decline in stomatal conductance and transpiration rate. Furthermore, RWC and

1- PhD Student of Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah

2- Associate Professor of Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah

(* - Corresponding Author Email: ghobadi.m@razi.ac.ir)

photosynthesis rate were decreased, but leaf temperature were increased simultaneously. By decreasing irrigation, the sub-stomatal CO₂ concentration initially reduced and continued to increase with more water limitation, while the photosynthetic water use efficiency was increasing gradually. Foliar application with chemicals affected on gas exchange and photosynthetic properties of sunflower. The lowest stomatal conductance and transpiration rate, and the highest amount of RWC were obtained by foliar application of ABA and SNP. In normal irrigation, SA improved photosynthesis rate, but ABA, SNP and SE reduced the sub-stomatal CO₂ concentration and photosynthetic rate. Under low irrigation, foliar application of all chemicals increased photosynthesis rate and reduced the sub-stomatal CO₂ concentration. SA had a more positive impact rather than other compounds.

Keywords: Absciscic acid, Glycine betaine, Salicylic acid, Selenium, Sodium nitroprusside



اثر تنش گرمای آخر فصل بر برخی صفات زراعی، فیزیولوژیک و عملکرد روغن ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط آب و هوایی اهواز

فرشاد صالحی^۱، افراسیاب راهنما قهفرخی^{۲*}، موسی مسکرباشی^۳، خسرو مهدیخانلو^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۵

چکیده

تنش گرما یکی از تنش‌های غیرزیستی مهم در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری است که به شدت، رشد و عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد. به‌منظور بررسی واکنش رشدی و عملکردی ارقام گلرنگ زراعی به تنش گرمای آخر فصل، پژوهشی به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه آزمایشی دانشگاه شهید چمران اهواز، اجرا شد. تنش گرما به‌صورت تأخیر در تاریخ کاشت و هم‌زمانی مراحل رشد زایشی با تنش گرمای آخر فصل در نظر گرفته شد. کرت‌های اصلی این آزمایش شامل سه تاریخ کاشت ۲۰ آذر، ۱۰ دی و ۳۰ دی (به‌ترتیب تاریخ کاشت به‌هنگام، تأخیری و دیر هنگام) و کرت‌های فرعی شامل چهار رقم گلرنگ زراعی (گلدشت، پرنیان، صفه و فرمان) بود. تنش گرما سبب کاهش معنی‌دار عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه و فعالیت آنزیمی کاتالاز و افزایش شاخص برداشت، غلظت کلروفیل کل برگ و فعالیت آنزیم پراکسیداز شد، اگرچه واکنش ارقام متفاوت بود. بیشترین میزان عملکرد دانه و زیست‌توده مربوط به رقم فرمان در شرایط شاهد به‌ترتیب با میانگین ۴۱۵۱ و ۲۳۳۵۲ کیلوگرم در هکتار بود. وقوع تنش گرمای آخر فصل منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه ارقام صفه، پرنیان، فرمان و گلدشت به‌ترتیب به میزان ۵۳، ۴۴، ۶۰ و ۴۷ درصد در تاریخ کاشت ۳۰ دی نسبت به تاریخ کاشت ۲۰ آذر شد که این میزان به‌ترتیب برابر با ۱/۳۲، ۱/۱، ۱/۵ و ۱/۱۷ درصد به ازای هر روز تأخیر در تاریخ کاشت بود. براساس شاخص حساسیت به تنش (SSI)، ارقام پرنیان و گلدشت با مقادیر ۰/۸۵ و ۰/۹۲ از تحمل بالایی برخوردار بودند؛ در حالی که ارقام فرمان و صفه با شاخص ۱/۱۶ و ۱/۰۳ حساسیت زیادی نسبت به تنش داشتند. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که در صورت تأخیر در تاریخ کاشت، توصیه می‌شود که از رقم گلدشت استفاده شود، چرا که عملکرد دانه و روغن آن نسبت به سایر ارقام برتری قابل توجهی در تاریخ‌های مختلف کاشت داشت.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، تنش گرمایی، درصد روغن، عملکرد دانه

مقدمه

است؛ چرا که جهت معرفی یک گیاه زراعی به یک منطقه، روابط و برهمکنش آن با عوامل زراعی، ژنتیکی و محیطی باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد (Moosavi, 2014). تاریخ کاشت مناسب یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریتی در تولید گیاهان زراعی به‌ویژه در مناطق دارای محدودیت‌های محیطی نظیر دمای بالا و محدودیت رطوبت در انتهای فصل رشد، است. انتخاب تاریخ کاشت مناسب، امکان رشد و توسعه کافی گیاه جهت دستیابی به عملکرد مطلوب و همچنین قابلیت انعطاف‌پذیری در برابر اثرات نامطلوب تنش‌های محیطی آخر فصل را فراهم می‌آورد. پیامدهای نامطلوب تاریخ کاشت‌های زود هنگام و دیر هنگام بر رشد و عملکرد گیاهان دانه روغنی در مطالعات پیشین گزارش شده است (Uzun et al., 2009; Safara, 2016). تحقیقات نشان داده است که تأخیر در کاشت پاییزه، منجر به برخورد مراحل زایشی گیاه با تنش دمای بالای اواخر فصل شده و رشد، متابولیسم و عملکرد گیاه را محدود می‌کند. رشد و توسعه گیاه شامل واکنش‌های بیوشیمیایی متعددی است که نسبت به درجه حرارت حساس هستند و واکنش گیاه به این تنش بسته به درجه (شدت) و مدت زمان وقوع

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی است که در سال‌های اخیر کشت آن به جهت کیفیت بالای روغن آن (بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع به‌ویژه اسید لینولئیک)، در بسیاری از کشورهای دنیا مورد توجه قرار گرفته است. با این وجود، اطلاعات کمی در رابطه با گلرنگ در مقایسه با دیگر گیاهان روغنی به‌ویژه در ارتباط با محدودیت‌های محیطی موجود است (Torabi et al., 2015; OZ, 2016). در این میان با توجه به نقش مهم عوامل محیطی و اثر مستقیم آن‌ها بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی، مطالعه اثرات این عوامل بسیار ضروری و مهم

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲، ۳- به‌ترتیب دانشیار، استاد و استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

(*)- نویسنده مسئول (Email: A.rahnama@scu.ac.ir)

حاصل شد که این میزان در کشت تأخیری ۱۲ بهمن، ۴۳/۵۰ درصد کاهش یافت. علاوه بر این، انتخاب ارقام مناسب نیز یکی دیگر از اجزای کلیدی مدیریت در مناطقی با محدودیت‌های محیطی برای تولید گیاهان زراعی از جمله گلرنگ است. ارزیابی ارقام ایرانی گلرنگ نسبت به تاریخ‌های مختلف کاشت در دشت ساوه نشان داد که تأخیر در تاریخ کاشت باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و روغن شده که از این نظر بین ارقام مورد بررسی، پدیده بیشترین عملکرد دانه و روغن را داشت (Omid and Sharifmogadas, 2010).

با توجه به ویژگی‌های مطلوب زراعی گلرنگ نظیر مقاومت نسبی به شوری خاک و خشکی هوا یکی از اولویت‌های مهم کشت دانه‌های روغنی در استان خوزستان است که لازم است برای رسیدن به این هدف، ابتدا ارقام مناسب با این شرایط تعیین و به کشاورزان منطقه معرفی گردد. لذا هدف از این پژوهش، ارزیابی واکنش ارقام گلرنگ به تغییرات دمایی انتهای فصل در شرایط آب و هوایی اهواز بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی واکنش ارقام مختلف گلرنگ به تنش گرمای آخر فصل از طریق تغییر در تاریخ کاشت، پژوهشی مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه آموزشی پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. برخی از مشخصات خاک و پارامترهای آب و هوایی منطقه آزمایشی در طول فصل زراعی مذکور به‌ترتیب در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است.

دمای بالا و نوع گیاه بسیار متغیر است (Hasanuzzaman et al., 2013). بر این اساس، به نظر می‌رسد که جهت دستیابی به عملکرد مطلوب، با تنظیم زمان کاشت بتوان مراحل فنولوژیک گیاه را با شرایط مناسب فصل هماهنگ کرد. نتایج مطالعه ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ (پدیده، زرقان و ورامین ۲۹۵) در تاریخ‌های کاشت مختلف نشان داد که تأخیر در زمان کاشت باعث کاهش ۲۷ درصد در ارتفاع بوته، ۲۱ درصد در وزن هزاردانه و ۳۷ درصد در عملکرد دانه گردید (Pasban Eslam, 2003). در بررسی واکنش سه رقم گلرنگ زراعی به تاریخ‌های مختلف کاشت گزارش شد که تاریخ کاشت به هنگام در یکم نوامبر (۱۰ آبان) بالاترین تعداد غوزه در بوته، وزن هر غوزه، تعداد دانه در هر غوزه، وزن صدانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک را در مقایسه با تاریخ کاشت های دیر هنگام ۱۵ و ۳۰ نوامبر (به‌ترتیب ۲۴ آبان و ۹ آذر) داشت (Sahu and Thakur, 2016). صف آرا و همکاران (Safara et al., 2016) نیز در بررسی واکنش عملکرد کمی و کیفی گلرنگ (رقم محلی اصفهان) به تاریخ‌های مختلف کاشت (۹ آذر، ۳۰ آذر، ۲ بهمن و ۱۲ بهمن) و سطوح مختلف کودی گزارش دادند که تأخیر در کاشت با کاهش تعداد دانه در غوزه و تعداد غوزه در بوته سبب کاهش عملکرد دانه شد. در تاریخ کاشت دیر هنگام ۱۲ بهمن، نیتروژن دانه به میزان ۱۷ درصد افزایش، ولی درصد روغن کاهش یافت. بالاترین درصد روغن به میزان ۲۵ درصد مربوط به تاریخ کاشت ۳۰ آذر بود. بیشترین عملکرد دانه و روغن نیز به‌ترتیب با میانگین ۳۵۹۰ و ۸۱۰ کیلوگرم در هکتار از تاریخ کاشت ۳۰ آذر

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the soil

Soil depth (cm)	Soil type	N (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	pH
0-30	Clay loam	0.58	8.1	169.3	7.6

جدول ۲- مشخصات آب و هوایی منطقه‌ی مورد آزمایش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶

Table 2- Climate Parameters of experimental location in 2017-2018

Month	Temperature (°C)			Humidity(%)			Precipitation (mm)
	Min	Max	Ave.	Min	Max	Ave.	
December	6.6	21.8	14.5	39.6	83.1	61.3	0.2
January	7.2	22.6	14.9	34.3	80.9	57.6	0.0
February	7.6	22.4	15.0	35.1	81.7	58.4	0.1
March	12.5	26.5	19.5	35.2	81.7	58.5	1.6
April	15.5	31.8	23.6	25.8	70.0	47.9	0.8
May	20.1	35.3	27.7	25.4	63.2	44.3	33.3
June	25.5	43.8	34.7	13.0	45.2	29.1	0.0
July	25.1	45.	35.5	13.4	44.2	28.8	0.0
Ave.	15.1	31.2	23.1	27.7	68.75	48.2	Total=36.0

شامل گلدشت، فرامان، صفه و پرنیان در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. ارقام مورد بررسی از ارقام گلرنگ زراعی بدون خار و نسبتاً جدید بوده که توسط مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انتخاب و از آنجا تهیه شدند. پس از عملیات آماده‌سازی زمین بذور با قارچ‌کش ضدعفونی شده و با فواصل ردیف (پشته‌ها) ۵۰ سانتی‌متر و فاصله

طرح آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تاریخ کاشت در کرت‌های اصلی و به‌ترتیب شامل ۲۰ آذرماه (تاریخ کاشت مناسب در منطقه، Safara et al., 2016)، ۱۰ دی ماه (تاریخ کاشت با کمی تأخیر) و ۳۰ دی ماه (تاریخ کاشت دیر هنگام)، و ارقام مورد آزمایش

فسفات به همراه نیمی از کود اوره (۶۰ کیلوگرم در هکتار) به صورت پایه در زمان کاشت و باقیمانده کود اوره در دو نوبت به میزان مساوی در دو مرحله پس از مرحله ریزش و قبل مرحله گلدهی (با در نظر گرفتن مشاهده ۱۰ درصد گلدهی در سطح مزرعه) به خاک اضافه شد. تنک کردن بوته‌ها در مرحله ۵ تا ۶ برگ و کنترل علف‌های هرز، چندین بار در طول فصل رشد به صورت دستی و مکانیکی انجام شد.

بوته‌ها روی ردیف‌های کاشت ۳۰ سانتی‌متر در دو طرف پشته به صورت زیگزاگی کشت شد. طول ردیف‌های کاشت هر کرت ۳ متر و در هر کرت ۶ ردیف کاشت و فاصله دو کرت اصلی از هم یک متر منظور گردید. میزان کود مورد نیاز بر اساس نتایج آزمون خاک، ۱۲۰ کیلوگرم اوره، ۸۵ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و ۳۰ کیلوگرم پتاسیم سولفات فسفات آمونیوم در هکتار برآورد شد که تمامی کود پتاسه و

جدول ۳- زمان وقوع مراحل مختلف فنولوژیک ارقام گلرنگ در تاریخ‌های مختلف کاشت

Table 3- Date of phenological stages for safflower cultivars

ارقام Cultivars	مراحل فنولوژیک Phenological stages	تاریخ کاشت اول			تاریخ کاشت دوم			تاریخ کاشت سوم		
		تاریخ وقوع			تاریخ وقوع			تاریخ وقوع		
		Date of occurrence			Date of occurrence			Date of occurrence		
		ماه Month	روز Day	هفته Week	ماه Month	روز Day	هفته Week	ماه Month	روز Day	هفته Week
صفه Sofeh	آغاز سبز شدن	آذر	26	1	دی	20	2	بهمن	12	3
	آغاز چهار برگی	دی	15	4	بهمن	10	5	اسفند	2	6
	روزت	بهمن	2	6	بهمن	25	7	-	-	-
	آغاز ساقه‌دهی	اسفند	4	11	فروردین	14	14	فروردین	20	13
	آغاز گلدهی	فروردین	22	18	اردیبهشت	8	17	اردیبهشت	10	16
	آغاز پر شدن دانه	اردیبهشت	7	20	اردیبهشت	20	19	اردیبهشت	18	17
پرنیان Parnian	رسیدگی فیزیولوژیک	خرداد	5	24	خرداد	10	22	خرداد	5	19
	آغاز سبز شدن	آذر	26	1	دی	20	2	بهمن	12	3
	آغاز چهار برگی	دی	15	4	بهمن	10	5	اسفند	2	6
	روزت	بهمن	2	6	بهمن	25	7	-	-	-
	آغاز ساقه‌دهی	اسفند	4	11	فروردین	14	14	فروردین	17	12
	آغاز گلدهی	فروردین	22	18	اردیبهشت	8	17	اردیبهشت	10	16
فرامان Faraman	آغاز پر شدن دانه	اردیبهشت	7	20	اردیبهشت	20	19	اردیبهشت	20	17
	رسیدگی فیزیولوژیک	خرداد	5	24	خرداد	10	22	خرداد	10	20
	آغاز سبز شدن	آذر	26	1	دی	20	2	بهمن	12	3
	آغاز چهار برگی	دی	15	4	بهمن	13	5	اسفند	2	6
	روزت	بهمن	6	7	بهمن	25	7	-	-	-
	آغاز ساقه‌دهی	اسفند	8	11	فروردین	10	13	فروردین	17	13
گلدشت Goldasht	آغاز گلدهی	فروردین	18	17	اردیبهشت	4	17	اردیبهشت	12	16
	آغاز پر شدن دانه	اردیبهشت	31	19	اردیبهشت	15	18	اردیبهشت	20	17
	رسیدگی فیزیولوژیک	خرداد	5	24	خرداد	10	22	خرداد	10	20
	آغاز سبز شدن	آذر	26	1	دی	20	2	بهمن	12	3
	آغاز چهار برگی	دی	15	4	بهمن	10	5	اسفند	2	6
	روزت	بهمن	6	7	بهمن	25	7	-	-	-
گلدشت Goldasht	آغاز ساقه‌دهی	اسفند	8	11	فروردین	14	14	فروردین	17	12
	آغاز گلدهی	فروردین	18	17	اردیبهشت	4	17	اردیبهشت	12	16
	آغاز پر شدن دانه	اردیبهشت	31	19	اردیبهشت	15	18	اردیبهشت	18	17
	رسیدگی فیزیولوژیک	خرداد	8	25	خرداد	10	22	خرداد	5	19

۱۲ تا ۱۴ خرداد برداشت تمامی واحدهای آزمایشی

مورر (Fischer and Maurer, 1978) تحت دو شرایط شاهد (تاریخ کاشت اول) و تنش گرما (تاریخ کاشت سوم) به ترتیب روابط زیر استفاده شد.

$$SSI \text{ (Stress Susceptibility Index)} = (1 - \frac{Y_s}{Y_p}) / SI \quad (5)$$

$$SI \text{ (Stress Intensity)} = (1 - \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p}) \quad (6)$$

$$TOL \text{ (Tolerance)} = Y_p - Y_s \quad (7)$$

$$STI \text{ Stress Tolerance Index} = \frac{(Y_s)(Y_p)}{(\bar{Y}_p)^2} \quad (8)$$

که Y_s و Y_p به ترتیب میانگین‌های عملکرد یک ژنوتیپ در محیط‌های تنش و بدون تنش هستند. SI ، $\bar{Y}_p$ و $\bar{Y}_s$ به ترتیب شدت تنش، میانگین عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش هستند.

در نهایت تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج داده‌های عملکرد دانه، حاکی از وجود برهم‌کنش معنی‌دار بین عامل‌های تاریخ کاشت و ارقام گلرنگ در سطح یک درصد بود. بیشترین میزان عملکرد دانه در این آزمایش مربوط به رقم فرامان در تاریخ کاشت اول با میانگین ۴۱۵۱ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان این صفت در رقم صفه در تاریخ کاشت سوم با میانگین ۱۲۷۷ کیلوگرم در هکتار بود که از این نظر تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارهای مورد بررسی در این آزمایش داشتند (جدول ۵). به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که وقوع تنش گرمای آخر فصل منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه کلیه ارقام شد؛ به گونه‌ای که ارقام صفه، پرینان، فرامان و گلدشت به ترتیب به میزان ۵۳، ۴۴، ۶۰ و ۴۷ درصد کاهش عملکرد دانه را در تاریخ کاشت سوم نسبت به تاریخ کاشت مطلوب نشان دادند که این میزان به ترتیب برابر با ۱/۳۲، ۱/۱، ۱/۵ و ۱/۱۷ درصد به‌ازای هر روز تأخیر در تاریخ کاشت بود. از دلایل این کاهش قابل توجه عملکرد، می‌توان به کاهش طول دوره‌رشد گیاه و برخورد مراحل حساس رشدی گیاه با دمای بالا و بادهای گرم و خشک انتهایی فصل اشاره کرد (طول دوره‌ی رشد و مراحل فنولوژیکی ارقام مورد بررسی در تاریخ‌های مختلف کشت در جدول ۳ نشان داده است). نتایج این جدول نشان داد که با وجود تأخیر ۲۰ روزه (تاریخ کاشت دوم) و ۴۰ روزه (تاریخ کاشت سوم) به نسبت تاریخ کاشت اول، برداشت کلیه واحدهای آزمایشی هم‌زمان صورت گرفت که این امر نشان از کوتاه شدن طول دوره رشد ارقام مورد بررسی در تاریخ کاشت دوم و سوم داشت. در تاریخ کاشت اول، ارقام گلرنگ مورد بررسی در این پژوهش دارای طول دوره روزت ۳۰ تا ۳۵

جهت تعیین میزان آب آبیاری مورد نیاز، قبل از انجام آزمایش ظرفیت زراعی و پژمردگی خاک تعیین و آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه صورت گرفت (رابطه ۱).

$$dn = (\theta fc - \theta pwp) \times Drz \times MAD \quad (1)$$

$$dn = (30\% - 10\%) \times 50 \times 60\%$$

$$dn = 6 \text{ cm}$$

dn = عمق خالص آب آبیاری

θfc = رطوبت حجمی در نقطه ظرفیت زراعی

θpwp = رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی

Drz = عمق فعال ریشه گیاه مورد نظر (cm)

MAD = ظرفیت تخلیه گیاه مورد نظر (%)

در نهایت صفات مورد بررسی در هر مرحله رشدی به تفکیک مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی، در بازه زمانی ۷ تا ۱۰ روز پس از گلدهی، از آخرین برگ توسعه‌یافته محور اصلی ساقه چند بوته نمونه‌برداری صورت گرفت و به آزمایشگاه منتقل شد. به منظور سنجش غلظت کلروفیل کل از روش (1976) Arnon و با استفاده از طیف‌سنج UV-S مدل Lambda ez 210 (در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر) قرائت گردید. غلظت کلروفیل کل از مجموع کلروفیل a و b بر طبق رابطه ۴ محاسبه شد:

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) V / 100W \quad (2)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) V / 100W \quad (3)$$

$$\text{Chl}_{\text{total}} = \text{Chl a} + \text{b} \quad (4)$$

V = حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

A = جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر

W = وزن تر نمونه بر حسب گرم

به منظور سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز از روش دیندسا (Dhindsa et al., 1981) و آنزیم پراکسیداز از روش چنس و مهلی (Chance and Maehly, 1955) استفاده شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک نیز جهت برآورد عملکرد دانه، ابتدا پس از حذف اثر حاشیه در هر کرت، با استفاده از کوادرات ۱×۱ متر مربع، نمونه‌برداری صورت گرفت. سپس بوته‌های مربوطه جداگانه به آزمایشگاه منتقل و در آون و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشکانده شدند و مجدد توزین و وزن ماده خشک (عملکرد بیولوژیک)، نمونه‌های آزمایشی محاسبه گردید. بعد از جدا نمودن بذرها و توزین دانه‌های هر کرت، عملکرد دانه ارقام مورد آزمایش در واحد مترمربع محاسبه شد. جهت تعیین درصد روغن از دستگاه سوکسله بر پایه تغییرات وزنی (Latif and Anwar, 2008) استفاده گردید. همچنین برای برآورد میزان حساسیت و یا تحمل به تنش ارقام مورد بررسی، از شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI)، شدت تنش (SI)، تحمل (TOL) و تحمل به تنش (STI) پیشنهادی توسط فرناندز (Fernandez, 1992)، گیلانی (Gilani et al., 2009) و فیشر و

میزان عملکرد زیست‌توده نیز در تاریخ کاشت سوم، مربوط به رقم پرنیان با میانگین ۵۸۵۷ کیلوگرم در هکتار بود. اگرچه بین ارقام صفه، پرنیان و فرامان تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۵). عملکرد زیست‌توده از عوامل مهم تأثیرگذار بر عملکرد دانه است. این صفات نشان‌دهنده‌ی ظرفیت گیاه در جذب نور و تبدیل انرژی نورانی به شیمیایی است (Reynolds et al., 2009). کاهش عملکرد زیست‌توده ارقام گلرنگ تحت تأثیر تنش گرما در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Sahu and Thakur, 2016). در این راستا حیدری زاده (Heidari Zadeh, 2004) بیان داشت که به تأخیر انداختن تاریخ کاشت گلرنگ باعث تسریع مراحل نمو گیاه از جوانه‌زنی تا گلدهی شده و دوره تشکیل اجزای عملکرد گیاه با دمای بالای انتهای فصل رشد برخورد نموده که منجر به کاهش وزن خشک گیاه خواهد شد.

برخلاف عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت تنها تحت تأثیر اثرات اصلی رقم و تاریخ کاشت در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). در بین تاریخ‌های مختلف کاشت بیشترین میزان شاخص برداشت با میانگین ۲۴/۵ درصد در تاریخ کاشت سوم مشاهده شد که البته از این نظر اختلاف معنی‌داری با تاریخ کاشت دوم نداشت. کمترین میزان شاخص برداشت نیز مربوط به تاریخ کاشت اول با میانگین ۱۸ درصد بود (جدول ۶). در مقابل، نتایج مقایسه میانگین، حاکی از تفاوت ناچیز بین ارقام گلرنگ از نظر صفت شاخص برداشت بود. بیشترین میزان شاخص برداشت مربوط به رقم پرنیان با میانگین ۲۵/۷ درصد بود، اگرچه با رقم فرامان (۲۱/۷)، تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). بالا بودن شاخص برداشت حاکی از توان تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به مخزن است که این امر می‌تواند، برتری فیزیولوژیکی مهمی به‌ویژه در شرایط تنش‌های محیطی باشد (Reynolds et al., 2005). داداشی و خواجه‌پور در بررسی اثر تاریخ‌های مختلف کاشت (۲۱ اسفند ۱۳۷۸، ۲۳ فروردین، ۲۰ اردیبهشت، ۱۸ خرداد و ۲۱ تیر ۱۳۷۹) برصفت شاخص برداشت چهار ژنوتیپ (اراک، ۲۸۱۱، توده محلی، نبراسکا ۱۰ و ورامین ۲۹۵) گزارش دادند که تاریخ‌های کاشت اثرات معنی‌داری بر شاخص برداشت ارقام مورد بررسی داشتند به گونه‌ای بیشترین میزان شاخص برداشت در تاریخ کاشت چهارم (۱۸ خرداد) با میانگین ۳۰ درصد و کمترین شاخص برداشت در تاریخ کاشت سوم (۲۰ اردیبهشت) با میانگین ۲۲ درصد ثبت و مشاهده شدند. نامبردگان گزارش دادند که با تأخیر کاشت از تاریخ کاشت اول تا تاریخ کاشت سوم، شاخص برداشت کاهش ولی با تأخیر کاشت از کاشت سوم به کاشت چهارم، شاخص برداشت افزایش یافت و علت آن را اینگونه بیان کردند که در تاریخ کاشت سوم، به خاطر برخورد دوران نمو دانه با دماهای بالاتر، انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها به‌طور مطلوب صورت نگرفته است و در نتیجه عملکرد اقتصادی تأثیر سوء بیشتری نسبت به عملکرد

روزه، طول دوره گلدهی ۱۰ تا ۱۴ روزه و پرشدن دانه ۲۸ تا ۳۵ روزه بودند که از این نظر بین ارقام اختلاف زیادی در مراحل فنولوژیکی مشاهده نشد. در مقابل طول این مراحل با تأخیر در تاریخ کاشت ارقام، شدیداً تحت تأثیر قرار گرفتند؛ به طوری که در تاریخ کاشت سوم، عملاً دوره روزت مشاهده نشد و طول دوره گلدهی و پرشدن دانه به‌ترتیب به ۸-۱۰ و ۱۷-۲۰ روز کاهش یافتند (جدول ۳). دلیل این کاهش در طول دوره مراحل فنولوژیکی ارقام گلرنگ در کاشت تأخیری را می‌توان به علت افزایش دمای محیط در انتهای فصل رشد نسبت داد (جدول ۳). در این راستا محققان گزارش کردند که تاریخ‌های کاشت مختلف سبب مواجه‌شدن دوران رشد رویشی و زایشی گیاه با شرایط محیطی متفاوت گردیده و از این طریق بر نمو، تولید شاخ و برگ و عملکرد گیاهان اثر می‌گذارد؛ به طوری که با تأخیر در کشت‌های پاییزه گلرنگ، دمای هوا و طول روز افزایش یافته و نمو گیاه تسریع می‌یابد، بنابراین فرصت کافی برای رشد رویشی و پرشدن دانه‌ها وجود نداشته و با هم‌زمانی دوره گرده‌افشانی گیاه با دماهای بالا، اجزای عملکرد گیاه نیز کاهش می‌یابد و در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه می‌گردد که البته این کاهش بسته به میزان تحمل ارقام مختلف می‌تواند متفاوت باشد (Shahsavari et al., 2016; Safara et al., 2012). پاسبان اسلام در بررسی اثر تاریخ‌های مختلف کاشت (۱۰، ۲۰ و ۳۰ فروردین و ۹ اردیبهشت ماه) در کاهش دوره رشد ارقام گلرنگ بهاره (گلدشت، صفه و سینا) در اقلیم سرد گزارش داد که بیشترین عملکرد دانه و روغن در هر دو سال آزمایش از تاریخ کاشت ۱۰ فروردین ماه به‌دست آمد و با تأخیر در تاریخ کاشت تا ۹ اردیبهشت ماه، عملکردها به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند (Pasban Eslam, 2018). نتایج تعیین تاریخ کاشت مناسب ارقام گلدشت، پدیده و سینا طی کشت پاییزه در منطقه ورامین روشن ساخت که تاریخ کاشت با رقم اثر متقابل معنی‌داری داشته و در کشت نیمه آبان ماه بیشترین عملکرد دانه با ۳۳۹۵ کیلوگرم در هکتار به رقم گلدشت اختصاص داشت (Samadi-Firouzabadi and Yazdani, 2012).

عملکرد زیست‌توده (بیولوژیک) و شاخص برداشت

برهم‌کنش معنی‌داری بین تاریخ‌های مختلف کاشت با ارقام گلرنگ از نظر عملکرد زیست‌توده در سطح یک درصد مشاهده شد (جدول ۴) و از این نظر واکنش عملکرد زیست‌توده به تنش گرما، روندی یکسان با واکنش عملکرد دانه ولی با شدت بیشتر بود؛ به عبارتی با تأخیر در تاریخ کاشت و به تبع آن وقوع تنش گرما، عملکرد زیست‌توده درصد کاهش بیشتری نسبت به عملکرد دانه نشان داد. بیشترین میزان عملکرد زیست‌توده مربوط به رقم فرامان در تاریخ کاشت اول با میانگین ۲۳۳۵۲ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به سایر تیمارهای مورد بررسی اختلاف معنی‌داری داشت و کمترین

بیولوژیکی ناشی از تأخیر در کاشت متحمل شده است. ولی در تاریخ کاشت چهارم، به دلیل پایین تر بودن دما و طولانی تر بودن دوران نمو دانه، انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها به خوبی صورت گرفته، عملکرد دانه بیشتری تولیدی شده و در نتیجه شاخص برداشت بالاتری به دست آمد (Dadashi and Khajepour, 2005).

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مورفوفیزیولوژیک ارقام گلرنگ در شرایط تنش گرمای آخر فصل

Table 4- Analysis of variance for morpho-physiological traits of safflower cultivars under terminal heat stress

میانگین مربعات

SOV	df	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	غلظت کلروفیل کل Total chlorophyll concentration	فعالیت کاتالاز CAT activity	فعالیت پراکسیداز POX activity
Block	2	57322 ^{ns}	5918867 ^{ns}	43.16 ^{ns}	11.67 ^{ns}	30417 ^{ns}	0.0051	0.0000094	0.000035
Sowing date (A)	2	9255180 ^{**}	419236382 ^{**}	132.7 ^{**}	79.69 ^{**}	986782 ^{**}	0.13 ^{**}	0.0065 ^{**}	0.031 ^{**}
E(A)	4	27369	6853382	55.1	1.63	10720	0.0092	0.000011	0.000038
Cultivar (B)	3	1332962 ^{**}	32067354 ^{**}	55.3 ^{**}	28.58 ^{ns}	177598 ^{**}	0.0085 ^{ns}	0.00026 ^{**}	0.0033 ^{**}
A × B	6	274732 ^{**}	10157513 ^{**}	18.7 ^{ns}	20.18 ^{ns}	41246 ^{**}	0.0056 ^{ns}	0.00011 ^{**}	0.0021 ^{**}
E(ab)	18	0874	2261133	12.4	13.16	9164	0.002	0.000018	0.000051
CV (%)		7.05	12.22	16.19	13.22	13.77	3.54	17.99	7.69

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

ns, * and **: non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل صفات مورفوفیزیولوژیک ارقام گلرنگ در شرایط تنش گرمای آخر فصل

Table 5- Mean comparison of morpho-physiological traits of safflower cultivars under terminal heat stress

Treatments	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد روغن Oil yield (kg.ha ⁻¹)	فعالیت کاتالاز CAT activity (U/mg protein)	فعالیت پراکسیداز POX activity (U/mg protein)
Sowing date (11 December)	Sofeh Parnian Faraman Goldasht	16251 c 16036 c 23352 a 19482 b	2745 cd 2986 c 4151 a 3627 b	842 cd 792 cd 1231 a 1027 b	0.05552 ab 0.05289 b 0.06164 a 0.03333 c
	Sofeh	10395 e	1984 f	465 ef	0.01402 de
Sowing date (31 December)	Sofeh Parnian Faraman Goldasht	10051 e 13144 d 10072 e 5907 f	2573 de 2940 c 2380 e 1277 h	747 d 942 bc 693 d 303 f	0.00952 de 0.01635 d 0.00761 e 0.00975 de
Sowing date (11 January)	Sofeh Parnian Faraman Goldasht	5857 f 7230 f 9825 e	1669 g 1651 g 1887 fg	366 ef 412. ef 520 e	0.00842 e 0.00998 de 0.00902 de

* میانگین‌های دارای یک حرف مشترک برای هر ستون میانگین، اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed by the same letters for each factor are not significantly different by the Duncan test at 5% probability level.

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات مورفوفیزیولوژیک ارقام گلرنگ در شرایط تنش گرمای آخر فصل

Table 6- Mean comparison of morpho-physiological traits of safflower cultivars under terminal heat stress

Sowing date	غلظت کلروفیل کل Total chlorophyll concentration (mg.g ⁻¹ fw)	شاخص برداشت Harvest index	درصد روغن % Oil
(11 December)	28.79a	18.08 b	1.366 c
(31 December)	29.04 a	22.70 a	1.452 b
(20 January)	24.45 b	24.54 a	1.575 c
Cultivar			
Sofeh	19.25 b	19.2 b	1.423 b
Parnian	25.16 a	25.1 a	1.458 ab
Faraman	21.68 ab	21.6 ab	1.490 a
Goldasht	21.02 b	21 b	1.458 a

* میانگین‌های دارای یک حرف مشترک برای هر ستون از میانگین، اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed by the same letters for each factor are not significantly different by the Duncan test at 5% probability level

درصد و عملکرد روغن

نتایج تجزیه واریانس درصد روغن نشان داد که این صفت تنها تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین میزان روغن با میانگین ۲۹ درصد مربوط به تاریخ کاشت دوم بود که البته از این نظر با تاریخ کاشت اول (۲۸/۸ درصد)، اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین میزان درصد روغن در تاریخ کاشت سوم، با میانگین ۲۴/۴ درصد ثبت شد (جدول ۶)؛ در مقابل از نظر عملکرد روغن، ارقام مورد بررسی واکنش متفاوتی را نسبت به شرایط دمایی انتهایی فصل رشد نشان دادند؛ به گونه‌ای بیشترین میزان عملکرد روغن مربوط به رقم فرامان با میانگین ۱۲۳۱ کیلوگرم در هکتار در شرایط مناسب دمایی (تاریخ کاشت ۲۰ آذر) بود که بالا بودن این صفت در رقم فرامان را می‌توان به پتانسیل بالای این رقم در عملکرد دانه نسبت داد (جدول ۵). با این وجود، تنش گرما به‌واسطه تأخیر در تاریخ کاشت منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد روغن کلیه ارقام مورد بررسی در این پژوهش شد. تحت این شرایط، کمترین میزان عملکرد روغن در رقم صفه با ۳۰۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که البته از این نظر با سایر ارقام در تاریخ کاشت سوم، تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). گزارشات زیادی مبنی بر کاهش روغن دانه گلرنگ به دلیل هم‌زمان شدن دوره پرشدن دانه با دمای بالا وجود دارد. در این زمینه امید و شریفی مقدس (Omid and Sharifmogadas, 2010) در بررسی‌های خود بر روی گیاه گلرنگ اظهار داشتند که تنش حرارتی بر میزان و کیفیت روغن (عدد یدی) تأثیر گذاشته و با افزایش دمای محیط، درصد روغن به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در واقع تنش گرما منجر به کاهش توان تولید گیاه شده و سنتز متابولیت‌های اولیه و ثانویه در گیاه را مختل می‌کند و از این طریق بر میزان روغن دانه اثر منفی می‌گذارد.

غلظت کلروفیل کل

کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ظرفیت فتوسنتزی گیاهان هستند، زیرا به‌طور مستقیم بر سرعت و میزان فتوسنتز و در نهایت تولید زیست‌توده مؤثر هستند. نتایج نشان داد که تنش گرما منجر به افزایش غلظت کلروفیل کل شد؛ به گونه‌ای که بیشترین میزان این صفت با میانگین ۱/۵۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر در تاریخ کاشت سوم مشاهده شد که از این نظر، تفاوت معنی‌داری با دو تاریخ کاشت دوم و سوم (به‌ترتیب ۱/۴۵ و ۱/۳۶ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) داشت (جدول ۶). محققان علت این افزایش را به افزایش تراکم سلول‌های کلروپلاست در واحد سطح برگ، در نتیجه کاهش ابعاد سلول نسبت می‌دهند (Lombardini, 2005). اگرچه گزارشات زیادی مبنی بر کاهش میزان کلروفیل تحت تنش گرما نیز در دست می‌باشد که علت آن را به کاهش میزان سنتز کلروفیل، افزایش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش فعالیت

کلروفیل‌از تحت تنش گرما نسبت دادند (Dhyani et al., 2013; Nawaz et al., 2013). در بین ارقام مورد بررسی نیز، رقم فرامان با میانگین ۱/۴۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر، بیشترین میزان کلروفیل کل در برگ را داشت که البته از این نظر با ارقام گلدشت و پرنیان تفاوت معنی‌داری از این نظر نداشت (جدول ۶).

فعالیت‌های آنزیمی کاتالاز و پراکسیداز

بررسی فعالیت آنزیمی کاتالاز نشان داد که ارقام مورد مطالعه گلرنگ تحت شرایط دمایی آخر فصل، عکس‌العمل متفاوتی را بروز داده و به‌طور کلی با افزایش شدت تنش گرما به‌واسطه تأخیر در تاریخ کاشت و هم‌زمانی با دمای بالای انتهایی دوره‌ی رشد، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۵). بیشترین میزان فعالیت این آنزیم مربوط به رقم فرامان در شرایط دمایی مطلوب (شاهد) با میانگین $0.061 \text{ U/mg protein}$ و کمترین میزان فعالیت آن مربوط به رقم گلدشت در تاریخ کاشت تأخیری (۱۰ دی) با میانگین $0.076 \text{ U/mg protein}$ بود که البته از این نظر با رقم پرنیان تحت شرایط تنش گرما (تاریخ کاشت ۳۰ دی) با میانگین $0.084 \text{ U/mg protein}$ تفاوت معنی‌داری نداشت. تحقیقات نشان داده است که یکی از پیامدهای تنش گرما در گیاهان، وقوع تنش اکسیداتیو به‌واسطه ایجاد گونه‌های اکسیژن فعال است که لازم است گیاهان جهت ادامه‌ی رشد و نمو خود، از تنش اکسیداتیو ناشی از گرما مصون بمانند (Hasanuzzaman et al., 2013). یکی از راه‌های کاهش اثرات تنش اکسیداتیو ناشی از تنش دمای بالا، افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه تحت تنش است (Moller et al., 2007). گیاهان جهت حذف گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر و کاهش اثرات تخریبی تنش اکسیداتیو، آبشاری از مسیرهای آنتی‌اکسیدانتی آنزیمی و غیرآنزیمی را فعال می‌کنند. کاتالاز یکی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی است که در مسیر پاک‌سازی گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر بوده که منجر به تسریع تجزیه‌ی پراکسیدهایروژن می‌شود. با این وجود نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از کاهش معنی‌دار میزان فعالیت کاتالاز با افزایش شدت گرما بود. هم‌راستا با این نتایج شهید و همکاران در بررسی تأثیر تغییرات بیوشیمیایی ناشی از تنش گرمای انتهای فصل رشد بر خصوصیات مورفولوژیکی ژنوتیپ‌های گندم پاکستان گزارش دادند که دامنه تغییرات زیادی بین ژنوتیپ‌های مختلف گندم از نظر میزان فعالیت آنزیمی کاتالاز در شرایط شاهد و تنش گرما مشاهده شد، به طوری که اکثر ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت تنش گرما با کاهش میزان فعالیت این آنزیم مواجه شدند (Shahid et al., 2017). اگرچه نتایج دیگری مبنی بر افزایش فعالیت آنزیمی کاتالاز تحت تنش گزارش شده است (Chakraborty and Pradhan, 2011).

پایین تر شاخص حساسیت به تنش (SSI) نشان دهنده تحمل بالای ارقام به تنش گرمایی است (Fernandez, 1992). لذا ارقام پرنیان و گلدشت با مقادیر ۰/۸۵ و ۰/۹۲ از تحمل بالایی برخوردار بودند؛ در حالی که ارقام فرامان و صفه با شاخص ۱/۱۶ و ۱/۰۳ حساسیت زیادی نسبت به تنش داشتند (جدول ۷). از آنجایی که در شاخص حساسیت به تنش اگر رقمی در هر دو شرایط تنش و عدم تنش دارای عملکرد بالاتری بوده اما درصد تغییرات آن زیاد باشد، به عنوان رقم متحمل شناسایی نمی شود، بر این اساس کمترین تغییرات مربوط به ارقام پرنیان و گلدشت بوده است.

اما برای شاخص تحمل به تنش (STI) ارقام گلدشت و فرامان هر دو با میانگین ۰/۶۰ از مقادیر بیشتری برخوردار بودند (جدول ۷). باتوجه به اینکه در این شاخص، احتمالاً ارقامی که به عنوان متحمل شناسایی می شوند به دلیل داشتن عملکرد پایین و بالا به ترتیب در شرایط تنش و بدون تنش، لزوماً متحمل نباشند؛ لذا این شاخص زمانی قابل اعتماد و معتبر است که رقم یا ژنوتیپ مورد نظر از عملکرد بالایی در محیط تنش نیز برخوردار باشد (Fischer and Maurer, 1978; Gilani et al., 2009). با توجه به این موضوع، ارقام فرامان و گلدشت دارای تولید نسبتاً خوبی در شرایط تنش بودند. بررسی شاخص تحمل (TOL) نشان داد که ارقام پرنیان و صفه با مقادیر کمتر، دارای تحمل نسبی بیشتری بودند (جدول ۷). در واقع این شاخص به نوعی تغییر حاصل از شرایط تنش را بیان می کند، لذا ارقام دارای مقدار پایین تری از این شاخص، از تغییرات کمتری نیز برخوردار می باشند و بالعکس. در این راستا دو رقم پرنیان و صفه مقادیر کمتری نسبت به سایر ارقام داشتند. از طرف دیگر درصد کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش در مقایسه با بدون تنش در ارقام پرنیان و گلدشت به مراتب کمتر از رقم های دیگر (صفه و فرامان) بوده است. این نتایج بیانگر وجود تنوع ژنتیکی ارقام در واکنش به تنش گرما و سازوکارهای مقابله با آن می باشد که امکان توسعه ارقام جدید گلرنگ را از طریق برنامه های به نژادی فراهم می سازد.

در مقابل نتایج مقایسه میانگین حاکی از افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت تنش گرما بود و بین ارقام مورد مطالعه تفاوت معنی داری مشاهده شد (جدول ۴). بیشترین میزان فعالیت پراکسیداز تحت تنش گرما (تاریخ کاشت ۳۰ دی) با میانگین U/mg protein ۰/۱۹۰ و ۰/۱۸۸ به ترتیب مربوط به ارقام گلدشت و فرامان بود (جدول ۵). پراکسیداز یکی از آنزیم های کلیدی در مسیر حذف گونه های اکسیژن واکنش گر بوده که در چرخه فعالیت معمول خود کاتالیزکننده احیای پراکسید هیدروژن می باشد. این آنزیم نقش بسیار مهمی جهت افزایش تحمل گیاه در برابر تنش اکسیداتیو به واسطه تجزیه سریع پراکسید هیدروژن را برعهده دارد. در این راستا چاکرابورتی و پرادان (Chakraborty and Pradhan, 2011) مشاهده کردند که فعالیت آنزیم های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز تا دمای ۵۰ درجه سانتی گراد افزایش و پس از این دما کاهش نشان دادند، در حالی که فعالیت آنزیم های پراکسیداز و گلوکاتایون ردوکتاز در دامنه دمایی ۲۰ تا ۵۰ درجه سانتی گراد با کاهش میزان فعالیت مواجهه بودند. علاوه بر این، حداکثر فعالیت کل آنتی اکسیدانی در ارقام متحمل در دمای ۳۵-۴۰ درجه سانتی گراد و در ارقام حساس در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد بود که البته این میزان فعالیت آنزیمی بسته به تحمل یا حساسیت انواع مختلف گیاهان زراعی، مراحل رشدی و فصل رشد آنها متفاوت است (Chakraborty and Pradhan, 2011). به طور کلی نتایج این پژوهش کاهش میزان فعالیت آنزیمی کاتالاز و افزایش فعالیت پراکسیداز را تحت تنش گرما نشان داد که البته از این نظر ارقام مورد مطالعه واکنش متفاوتی را بروز دادند. علت واکنش متفاوت این دو آنزیم را می توان به مشترک بودن سوپسترا (پراکسید هیدروژن) و فعالیت بیشتر پراکسیداز تحت تنش گرما در ارقام گلرنگ نسبت داد.

شاخص های تحمل به تنش

در این پژوهش، اثرات تغییر رژیم حرارتی بر پایداری تولید ارقام گلرنگ از طریق محاسبه شاخص های حساسیت و تحمل ارقام به تنش گرما مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه مقادیر عددی

جدول ۷- برآورد شاخص های تحمل و حساسیت به گرما و درصد کاهش برای عملکرد دانه چهار رقم گلرنگ زراعی در دو تاریخ کاشت (۲۰ آذر به عنوان شاهد و ۳۰ دی به عنوان تنش شدید گرما)

of four rice cultivars in Table 7- Estimation of tolerance and susceptibility indices and reduction percentage for grain yield two sowing dates

Reduction (%)	STI (Stress Tolerance Index)	TOL (Tolerance)	SSI (Stress Susceptibility Index)	Ys (kg.ha ⁻¹)	Yp (kg.ha ⁻¹)	Cultivar
Sofeh	2745.1	1277.3	1.03	1467.8	0.31	53.5
Parnian	2985.8	1668.9	0.85	1316.9	0.44	44.1
Faraman	4151.1	1650.8	1.16	2500.3	0.60	60.2
Goldasht	3626.7	1887.3	0.92	1739.4	0.60	48.0
Mean	3377.1	1621.06				

Yp: میانگین عملکرد دانه یک رقم در محیط بدون تنش (شاهد)

Ys: میانگین عملکرد دانه یک رقم در محیط تنش (تاریخ کاشت سوم)

داد (جدول ۸). همان‌طور که در بخش بررسی فعالیت‌های آنزیمی بیان شد، فعالیت آنزیم پراکسیداز در ارقام گلرنگ به‌ویژه در شرایط تنش گرما افزایش یافت و از این نظر ارقام گلرنگ تفاوت معنی‌داری را داشتند؛ با این حال افزایش فعالیت این آنزیم با عملکرد دانه همبستگی منفی داشت که محققان علت آن را به مصرف مواد فتوسنتزی و در نتیجه مصرف انرژی جهت افزایش فعالیت‌های آنزیمی نظیر پراکسیداز نسبت می‌دهند.

نتایج همبستگی بین صفات

نتایج نشان داد که در بین صفات مورد بررسی، عملکرد زیست‌توده بیشترین میزان همبستگی را با عملکرد دانه داشت ($r = 0.96^{**}$). عملکرد زیست‌توده به نوعی بیانگر پتانسیل و قدرت منبع می‌باشد؛ لذا بالا بودن این صفت می‌تواند پتانسیل تولیدی دانه ارقام گلرنگ را مشخص نماید. همچنین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز همبستگی منفی و معنی‌داری را با عملکرد دانه ($r = -0.64^*$) نشان

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین صفات مورفوفیزیولوژیک ارقام گلرنگ

Table 8- Correlations coefficient between morpho-physiological traits of safflower cultivars

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
عملکرد دانه Grain yield (1)	1.00							
عملکرد بیولوژیک Biological yield (2)	0.96 **	1.00						
شاخص برداشت Harvest index (3)	-0.53 ns	-0.71 **	1.00					
درصد روغن Oil percentage (4)	0.64 *	0.55 ns	-0.37 ns	1.00				
عملکرد روغن Oil yield (5)	0.98 **	0.93 **	-0.53 ns	0.75 **	1.00			
فعالیت کاتالاز CAT activity (6)	0.75 **	0.87 **	-0.70 *	0.33 ns	0.72 **	1.00		
فعالیت پراکسیداز POX activity (7)	-0.64 *	-0.55 ns	0.25 ns	-0.43 ns	-0.63 *	-0.49 ns	1.00	
غلظت کلروفیل کل Total chlorophyll concentration (8)	-0.68 *	-0.74 **	0.62 *	-0.40 ns	-0.64 *	-0.76 **	0.72 **	1.00

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می‌باشد.

ns, * and ** not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

توجه به واکنش ارقام گلرنگ نسبت به تغییرات دمایی متفاوت در طول دوره رشد، به نظر می‌رسد رقم گلرنگ به جهت عملکرد قابل قبول و همچنین تحمل نسبی به تغییرات دمایی انتهایی فصل، رقم مناسبی برای شرایط آب و هوایی اهواز باشد.

سپاسگزاری

در راستای انجام این پژوهش، از حمایت‌های مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) سپاسگزاری می‌گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که در بین ارقام موجود و معرفی شده برای مناطق گرم و معتدل، ارقام فرامان و گل‌دشت به دلیل پتانسیل بالای عملکرد دانه (به ترتیب ۴۱۵۱ و ۳۶۲۷ کیلوگرم در هکتار)، به‌ویژه در تاریخ کاشت مطلوب (۲۰ آبان) برای مناطقی نظیر اهواز بسیار مناسب می‌باشند. با این وجود، تأخیر در کاشت ارقام گلرنگ به‌واسطه برخورد مراحل زایشی گیاه با تنش گرمای آخر فصل، منجر به کاهش عملکرد دانه و روغن، عملکرد زیست‌توده، میزان کلروفیل کل و افزایش فعالیت‌های آنزیمی نظیر پراکسیداز شد. همچنین با

References

- Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal* 23: 112-121.
- Chakraborty, U., and Pradhan, D. 2011. High temperature-induced oxidative stress in *Lens culinaris*, role of antioxidants and amelioration of stress by chemical pre-treatments. *Journal of Plant Interactions* 6 (1): 43-52.
- Chance, B., and Maehly, A. 1955. Assay of catalases and peroxidases. *Methods in enzymology* 2: 764-775.
- Dadashi, N., and Khajepour, M. 2005. Effect of planting date and cultivar on growth, yield components and yield of safflower in Isfahan, *Science and Technology of Agricultural and Natural Resources* 8 (3): 95-112.
- Dhindsa, R. S., Plumb-Dhindsa, P., and Thorpe, T. A. 1981. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany* 32: 93-101.

6. Dhyani, K., Ansari, M. W., Rao, Y. R., Verma, R. S., Shukla, A., and Tuteja, N. 2013. Comparative physiological response of wheat genotypes under terminal heat stress. *Plant Signaling & Behavior* 8 (6): e24564.
7. Fernandez, G. C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: proceeding of the International symposium on adaptation of vegetables and other crops in temperature and water stress. Taiwan, 13-16 August 1992, 257-270.
8. Fischer, R. A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research* 29 (5): 897-912.
9. Gilani, A. A., Siadat, S. A., Alami-Saeed, K., Bakhshandeh, A. M., Moradi, F., and Seidnejad, M. 2009. Effect of heat stress on grain yield stability, chlorophyll content and cell membrane stability of flag leaf in commercial rice cultivars in Khuzestan. *Iranian Journal of Crop Sciences* 11 (1): 82-100.
10. Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M., Roychowdhury, R., and Fujita, M. 2013. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences* 14 (5): 9643-9684.
11. Heidari Zade, P. 2004. The effect of temperature and day length on safflower generative and reproductive growth (Kuseh cultivar). MSc Thesis. Industrial University of Isfahan. (in Persian).
12. Latif, S., and Anwar, F. 2008. Quality assessment of *Moringa concanensis* seed oil extracted through solvent and aqueous-enzymatic techniques. *Grasas y aceites*, 59 (1): 69-75.
13. Lombardini, L., Harris, M. K., and Glenn, D. M. 2005. Effects of particle film application on leaf gas exchange, water relations, nut yield, and insect populations in mature pecan trees. *HortScience* 40 (5): 1376-1380.
14. Moller, I. M., Jensen, P. E., and Hansson, A. 2007. Oxidative modifications to cellular components in plants. *Annual Review of Plant Biology* 58: 459-481.
15. Moosavi, S. G., Seghatoleslami, M., and Ansarinia, E. 2014. Fennel morphological traits and yield as affected by sowing date and plant density. *Advance in Agriculture and Biology* 2: 45-49.
16. Nawaz, A., Farooq, M., Cheema, S. A., and Wahid, A. 2013. Differential response of wheat cultivars to terminal heat stress. *International Journal of Agriculture and Biology* 15 (6): 1354-1358.
17. Omid, A. H., and Sharifmogadas, M. R. 2010. Evaluation of Iranian Safflower cultivars reaction to different sowing date and plant densities. *World Applied Science Journal* 8: 953-958.
18. Oz, M. 2016. Relationship between sowing time, variety, and quality in safflower. *Journal of Chemistry* 2016. 8
19. Pasban Eslam, B. 2018. Effect of planting date on reducing growth period of spring safflower cultivars in Tabriz cold and semi-arid climate. *Iranian Journal of Field Crops Research* 15 (4): 851-860.
20. Pasban Eslam, B. 2003. Evaluation of fall safflower cultivars in different planting dated in khosrowshahr of Tabriz. Final Report of Research Project. No. 83.305. AREEO. Pp.: 8-15. (in Persian with English abstract).
21. Reynolds, M. P., and Lopes, M. S. 2009. Partitioning of assimilates to deeper roots in associated with cooler canopies and increased yield under drought in wheat. *Functional Plant Biology* 183: 129-136.
22. Reynolds, M. P., Pellergrineschi, A., and Skovmand, B. 2005. Sink –Limitation to yield and biomass: A summary of some investigations in spring wheat. *Annals of Applied Biology* 146 (1): 39-49.
23. Safara, N., Telavat, M. R. M., Siadat, S. A., Koochekzadeh, A., and Mousavi, S. H. 2016. Effect of sowing date and sulfur on yield, oil content and grain nitrogen of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in autumn cultivation. *Iranian Journal of Field Crops Research* 14 (3): 438-448.
24. Sahu, J., and Thakur, N. S. 2016. Response of date of sowing on yield and yield attributes of safflower cultivars. *An International Quarterly Journal of life Sciences* 11 (1): 503-507.
25. Samadi-Firouzabadi, B., and Yazdani, F. 2012. Effect of planting date on seed and oil yields of four safflower cultivars in Varamin areas. *Seed and Plant Journal* 2 (4): 459-470.
26. Shahid, M., Saleem, M. F., Anjum, S. A., Shahid, M., and Afzal, I. 2017. Biochemical markers assisted screening of Pakistani wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars for terminal heat stress tolerance. *Pakistan Journal of Agriculture Sciences* 54 (4): 817-825.
27. Shahsavari, M., Yasari, T., and Omid, A. H. 2012. Effect of planting date on developmental stages and some agronomic traits of spring safflower cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10 (2). 392-400.
28. Torabi, B., Adibniya, M., and Rahimi, A. 2015. Seedling emergence response to temperature in safflower: measurements and modeling. *International Journal of Plant Production* 9 (3): 393-412.
29. Uzun, B., Zengin, Ü., Furat, S., and Akdesir, Ö. 2009. Sowing date effects on growth, flowering, oil content and seed yield of canola cultivars. *Asian Journal of Chemistry* 21 (3): 1957-1965.



Effect of Terminal Heat Stress on Some Agronomic, Physiological and Oil Yield Traits of Safflower Cultivars (*Carthamus tinctorius* L.) under Ahvaz Conditions

F. Salehi¹, A. Rahnama Ghahfarokhi^{2*}, M. Meskarbashee³, Kh. Mehdikhanlou⁴

Received: 05-12-2018

Accepted: 14-04-2019

Introduction

Terminal heat stress is a major abiotic stress especially in tropical and sub-tropical regions that severely reduces crop growth and yield. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) is an oilseed crop grown mainly for the production of high quality edible oil rich in polyunsaturated acids. This annual crop is native to a climate with a long dry season and a limited rainy season and compares to other annual crops has more resistance to drought stress. In addition, it's resistant to some diseases and susceptible to humidity. Since, to obtain the maximum yield of a crop, it is necessary to escape the development stages of (the/a) plant from unfavorable environmental factors and the full utilization of plant from favorable environmental conditions. Since the length of development stages more affected by temperature and day length, hence sowing date can be selected so that the different stages of plant growth were adapt with optimal temperature and day length. Yau (2006) indicated that later sowing of spring safflower in semi-arid and high elevation Mediterranean environment resulted in lower seed yield and later flowering does not allow an escape from the terminal drought and heat. Yau (2006) indicated that later sowing of spring safflower in semi-arid and high elevation Mediterranean environment resulted in lower seed yield and later flowering does not allow an escape from the terminal drought and heat. The aim of this study was to investigate the yield and yield components of safflower cultivars in response to different sowing data in Ahvaz.

Materials and Methods

In order to study the effect of sowing date on yield and yield components of safflower cultivars, this experiment was carried out as split plot layout based on randomized complete blocks design with three replications in at the research farm of Shahid Chamran University of Ahvaz in 2017-2018. The main factor included three levels of sowing date (11 Dec, 31 Dec and 20 Jan), and a sub factor including four cultivars of safflower (Goldasht, Parnian, Faraman and Sofeh). Data collected on all parameters were analyzed statistically using SAS software and mean comparison was carried out using Duncan test at the 5% of probability level. The studied traits included grain yield, biological yield, harvest index, oil yield, total chlorophyll concentration, catalase and peroxidase enzyme activity and stress susceptibility index.

Results and Discussion

A significant interaction was observed between the levels of sowing date and the cultivars in terms of plant height, weight of plant, biological yield and grain yield. Among the safflower cultivars, the highest weight per plant ($143.3 \text{ g plant}^{-1}$), biological yield (23352 kg ha^{-1}), grain yield ($4151.1 \text{ kg ha}^{-1}$) and the lowest plant high (128.8 cm), was recorded in Faraman cultivar in sowing date of 11 December. In contrast, grain yield severely decreased in the 20 January sowing date with compared to the 11 December. So that, studied cultivars of Sofeh, Parnian, Faraman and Goldasht cultivar were decreased 53% ($1277.3 \text{ kg ha}^{-1}$), 44% (1668.9), 60% (1650.8) and 47% (1887.3), respectively. Under the heat stress, due to delayed planting date and decreased enzymatic activity of catalase, enzyme activity changed and the cultivars exposed to the terminal heat stress, but enzymatic activity of peroxidase increased. Stress susceptibility index (SSI), Parnian and Goldasht cultivars had a high tolerance with mean 0.85 and 0.92, while Faraman and Sofeh cultivars with an index of 1.16 and 1.03 had a high sensitivity to stress.

Conclusions

This research appears the delay in optimal planting date leads to synchronize the plant's reproductive stages with a high temperature at the end of the season. As a result, shorter plants, lower biological yield, lower grain and oil yield will be observed, however, the response of the cultivars from each other was different depend on their enzymatic capacity and the ability to maintain chlorophylls. Planting date should be selected such a way

1- PhD student, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

2, 3 and 4- Associate Professor, Professor and Assistant Professor, respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

(*- Corresponding Author Email: A.rahnama@scu.ac.ir)

that this process does not a coincidence with terminal heat season. So, under hot weather conditions in Khuzestan, selecting the optimum planting date can be an appropriate solution to reduce the negative aspects of the terminal heat stress on the grain yield and component yield of different cultivars of safflower.

Keywords: Antioxidant enzymes, Grain yield, Heat stress, Oil percentage



مقایسه محلول پاشی نانوذرات سیلیس و روی با مصرف خاکی بر صفات زراعی و فیزیولوژیکی برنج (*Oryza sativa* L.)

نوراله خیری^{۱*}، حسین عجم نوروژی^۲، حمیدرضا مبصر^۳، بنیامین ترابی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۳

چکیده

به منظور بررسی اثر سیلیس و روی به دو فرم محلول پاشی (منبع نانوذرات) و خاک-مصرف (منبع معمولی) در قالب تیمارهای انفرادی یا ترکیبی بر صفات زراعی و فیزیولوژیکی برنج (*Oryza sativa* L.)، آزمایش مزرعه‌ای به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار و سه تکرار در دو منطقه از استان مازندران (آمل و نور) در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. نتایج نشان داد که اجزای عملکرد، عملکرد و هم‌چنین غلظت و جذب سیلیس و روی در دانه برنج با کاربرد سیلیس و روی به هر دو روش محلول پاشی نانوذرات و خاک-مصرف به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش یافت. کاربرد ترکیبی سیلیس و روی به صورت خاک-مصرف برتری معنی‌داری نسبت به مصرف جداگانه هر دو عنصر مورد استفاده در آزمایش از نظر تعداد پنجه بارور در کپه در منطقه آمل و تعداد دانه‌های پر در خوشه در منطقه نور داشت. از نظر محلول پاشی نانوذرات، کاربرد ترکیبی سیلیس و روی برتر از استفاده جداگانه سیلیس از نظر تعداد پنجه بارور در هر دو مکان آزمایش و میزان غلظت و جذب روی در دانه برنج بود. بنابراین با توجه به نتایج تحقیق حاضر، استفاده از سیلیس و روی به هر دو روش محلول پاشی نانوذرات و خاک-مصرف جهت افزایش غلظت و جذب این عناصر و هم‌چنین بهبود عملکرد دانه برنج در خاک‌هایی که قابلیت دسترسی پایینی به این دو عنصر غذایی دارند مؤثر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: جذب عناصر، روش مصرف، عملکرد دانه، منبع مصرف، نانوکود

مقدمه

در بین عناصر غذایی، سیلیس و روی نقش کلیدی در بهبود تغذیه گیاه و افزایش رشد برنج (*Oryza sativa* L.) دارند به گونه‌ای که کمبود این عناصر سبب کاهش رشد و متعاقب آن کاهش عملکرد می‌گردد (Sainz et al., 1998; Jeer et al., 2017). سیلیس یکی از فراوان‌ترین عناصر خاک می‌باشد که به مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی و هم‌چنین بهبود خصوصیات خاک کمک می‌کند (Mahmoud et al., 2017). سیلیس خاک فواید متعددی برای برنج شامل افزایش میزان فتوسنتز، بهبود عملکرد، جلوگیری از ورس، کاهش میزان آفات و بیماری‌ها (Jeer et al., 2017) و کاهش اثرات منفی اشعه ماوراء بنفش در فرآیند فتوسنتز و تخریب (Lou et al., 2016) دارد. اثرات مثبت سیلیس با کاربرد آن در طی مرحله رشد

زایشی بر افزایش میزان باروری پنجه و خوشه در برنج (Tamai and Lavinsky et al., 2008)، هم‌چنین بهبود فتوسنتز و تولید برنج (Ma, 2008) مشخص گردیده است. افزایش غلظت سیلیس در بافت گیاه با مصرف بیشتر کود سیلیس در نتایج محققان گزارش شده است (Zia et al., 2017). گزارشات حاکی از آن است که با محلول پاشی نانوسیلیس، میزان سیلیس دانه برنج به طور معنی‌داری نسبت به کاربرد خاکی سیلیس افزایش یافته است (Yazdpour et al., 2014). بنابراین، بهبود مدیریت مصرف سیلیس جهت افزایش عملکرد و تولید محصول پایدار در مناطق معتدل و هم‌چنین کشورهای گرمسیری امری ضروری به نظر می‌رسد (Meena et al., 2014).

کمبود روی در برنج به طور وسیعی در بسیاری از مناطق برنج خیز دنیا گزارش شده است (Tiong et al., 2014). روی، یکی از عناصر مهم ریزمغذی است که در سنتز پروتئین و متابولیسم کربوهیدرات‌ها مشارکت دارد و جزء اصلی آنزیم کربنیک آیدراز است که در حلالیت مولکول دی‌اکسید کربن و در نهایت فتوسنتز نقش مهمی دارد (Sainz et al., 1998). اثرات مثبت کاربرد کود روی در افزایش رشد، بهبود عملکرد (Dwivedi and Srivastva, 2014) و افزایش میزان غلظت و جذب روی در دانه برنج (Shivay et al., 2016; Farooq et al., 2018) در نتایج محققان گزارش شده است.

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه زراعت، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

۲- استادیار، گروه زراعت، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

۳- استادیار، گروه زراعت، واحد قائمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائمشهر، ایران

۴- دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: norollah.kheyri@yahoo.com)

DOI: 10.22067/gsc.v17i3.80028

به صورت مطلوب در نقطه مناسبی از ناحیه رشد، عناصر غذایی خود را آزاد کنند که این عمل اثر معنی داری را در خصوصیات رشدی گیاهان ایجاد می کند (Mazaherinia et al., 2010). هدف از انجام این پژوهش بررسی اثرات سیلیس و روی به دو فرم محلول پاشی نانوذرات و خاک-مصرف به منظور افزایش کارایی جذب عناصر غذایی و بهبود عملکرد دانه محصول برنج بود.

مواد و روش ها

این پژوهش به صورت دو آزمایش مجزا در دو منطقه آمل و نور در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار و سه تکرار در سال ۱۳۹۵ اجرا گردید. زمین زراعی واقع در شهرستان آمل با مختصات جغرافیایی ۵۲ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۴ دقیقه عرض شمالی در ارتفاع ۱۷۰ متری از سطح دریا و زمین زراعی واقع در منطقه نور با مختصات جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی در ارتفاع ۷۱ متری از سطح دریا قرار گرفته است. آمار هواشناسی مکان های اجرای آزمایش در طول فصل رشد برنج در جدول ۱ ارائه گردیده است. نمونه برداری از خاک های مناطق اجرای آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری انجام و مشخص گردید که بافت خاک در مناطق آمل و نور به ترتیب از نوع رسی و لومی بود (جدول ۲).

بررسی های به عمل آمده توسط محققان نشان داد که مصرف همزمان روی به صورت خاک-مصرف و محلول پاشی تأثیر مثبتی بر افزایش غلظت روی دانه برنج و بهبود عملکرد دانه دارد (Saha et al., 2017). محققان گزارش نمودند که نانو اکسید روی به دلیل این که عناصر غذایی را به کندی و به تدریج در طول دوره های بحرانی و حساس رشد گیاه آزاد می کند منجر به بهبود رشد برنج می گردد (Yuvaraj and Subramanian, 2014).

افزایش تقاضا به علت افزایش جمعیت از یک طرف و کاهش منابع آب و زمین موجود در زراعت برنج از طرف دیگر، اهمیت گسترش و استفاده از روش های نوین در دستیابی به عملکرد بیشتر در واحد سطح را افزایش داده است (Longping, 2004). یکی از این روش های نوین، استفاده از فناوری نانو در بخش کشاورزی می باشد. از مهمترین کاربردهای نانوتکنولوژی در جنبه های مختلف کشاورزی در بخش آب و خاک، استفاده از نانوکودها برای تغذیه گیاهان می باشد (Rezaei et al., 2009). کاربرد مواد نانو می تواند سبب تسریع در جوانه زنی گیاه، بهبود مقاومت به تنش های زنده و غیرزنده، افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، افزایش رشد گیاه و همچنین کاهش اثرات زیست محیطی در مقایسه با روش های سنتی به کار گرفته شده گردد (Alharby et al., 2016). نانوکودها در مقایسه با کودهای متداول شیمیایی، راندمان مصرف بالاتری دارند و می توانند

جدول ۱- داده های هواشناسی ثبت شده در طول دوره رشد برنج در دو مکان اجرای آزمایش (دوره شش ماهه از فروردین تا شهریور ۹۵)

Table 1- Meteorological data recorded during the rice-growing seasons in two experimental locations (Six month period from March to September 2016)

ماه های سال Month of the year	مکان Location	متوسط درجه حرارت ماهانه Average of monthly temperature (°C)	متوسط رطوبت نسبی ماهانه Average of monthly relative humidity (%)	مجموع بارندگی ماهانه Total monthly rainfall (mm)	مجموع ساعات آفتابی Total sunny hours (hr)
فروردین	Amol	14.7	77	99.3	123.6
March-April	Nour	13.8	80	129.8	121.1
اردیبهشت	Amol	20.6	78	41.4	140.9
April-May	Nour	18.5	84	43.0	159.3
خرداد	Amol	23.8	80	24.6	232.8
May-June	Nour	22.7	79	27.7	260.8
تیر	Amol	26.5	79	39.6	203.0
June-July	Nour	25.7	78	179.9	208.9
مرداد	Amol	27.8	76	11.4	232.5
July-August	Nour	26.7	79	46.1	251.1
شهریور	Amol	26.3	78	88.5	193.0
August-September	Nour	25.6	78	182.6	205.9

جدول ۲- خصوصیات خاک مکان های آزمایشی در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری

Table 2- Soil properties of the experimental sites in depth of 0-30 cm

مکان Location	بافت خاک Soil Texture	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	شن Sand (%)	pH	EC (ds.m ⁻¹)	SP (%)	O.C (%)	O.M (%)	P (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	Si (%)
Amol	Clay	37	45	18	7.30	1.59	82	1.84	3.17	12.3	184	0.98	0.44
Nour	Loam	44	20	36	7.51	3.02	63	1.66	2.86	10.5	116	0.81	0.28

جدول ۳- مشخصات تیمارهای آزمایشی مورد مطالعه
Table 3- Characteristics of the experimental treatments studied

تیمارهای آزمایشی (Experimental treatments)	
T1	شاهد (Control)
T2	کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم (Soil application of calcium silicate)
T3	کاربرد خاکی سولفات روی (Soil application of zinc sulphate)
T4	کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم + کاربرد خاکی سولفات روی (Soil application of calcium silicate + zinc sulphate)
T5	محلول پاشی نانودی اکسید سیلیس (Foliar application of nano-SiO ₂)
T6	محلول پاشی نانودی اکسید سیلیس + کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم (Foliar application of nano-SiO ₂ + soil application of calcium silicate)
T7	محلول پاشی نانودی اکسید سیلیس + کاربرد خاکی سولفات روی (Foliar application of nano-SiO ₂ + soil application of zinc sulphate)
T8	محلول پاشی نانودی اکسید سیلیس + کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم + کاربرد خاکی سولفات روی (Foliar application of nano-SiO ₂ + soil application of calcium silicate + zinc sulphate)
T9	محلول پاشی نانو اکسید روی (Foliar application of nano-ZnO)
T10	محلول پاشی نانو اکسید روی + کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم (Foliar application of nano-ZnO + soil application of calcium silicate)
T11	محلول پاشی نانو اکسید روی + کاربرد خاکی سولفات روی (Foliar application of nano-ZnO + soil application of zinc sulphate)
T12	محلول پاشی نانو اکسید روی + کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم + کاربرد خاکی سولفات روی (Foliar application of nano-ZnO + soil application of calcium silicate + zinc sulphate)
T13	محلول پاشی نانودی اکسید سیلیس + محلول پاشی نانو اکسید روی (Foliar application of nano-SiO ₂ + nano-ZnO)
T14	محلول پاشی نانودی اکسید سیلیس + محلول پاشی نانو اکسید روی + کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم (Foliar application of nano-SiO ₂ + nano-ZnO + soil application of calcium silicate)
T15	محلول پاشی نانودی اکسید سیلیس + محلول پاشی نانو اکسید روی + کاربرد خاکی سولفات روی (Foliar application of nano-SiO ₂ + nano-ZnO + soil application of zinc sulphate)
T16	محلول پاشی نانودی اکسید سیلیس + محلول پاشی نانو اکسید روی + کاربرد خاکی سیلیکات کلسیم + کاربرد خاکی سولفات روی (Foliar application of nano-SiO ₂ + nano-ZnO + soil application of calcium silicate + zinc sulphate)

کیلوگرم در هکتار برای منطقه آمل و به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار برای منطقه نور به صورت پایه و بر اساس نتایج آنالیز خاک به کرت‌های آزمایش اضافه گردید. جهت کاربرد خاکی عناصر سیلیس و روی، کود سیلیس از منبع سیلیکات کلسیم به مقدار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار (Yazdpour, 2014) و کود روی از منبع سولفات روی به میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار با توجه به تیمارهای تعریف شده به صورت پایه در کرت‌های آزمایش مصرف شد. محلول پاشی نانوسیلیکون و نانو اکسید روی به مقدار ۵۰ میلی گرم بر لیتر (Ghasemi et al., 2017; Upadhyaya et al., 2017) در چهار مرحله مهم و حساس از رشد گیاه (ابتدای پهنه زنی، اواسط پهنه زنی، ظهور خوشه آغازین و مرحله خوشه دهی کامل) در کرت‌های مورد نظر انجام شد. همچنین، در تیمارهای ترکیبی که هر دو منبع سیلیس مورد استفاده قرار گرفت مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سیلیکات کلسیم و زمانی که هر دو منبع روی در کرت‌های مورد نظر به کار گرفته شد مقدار ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی مصرف گردید. کودهای نانوسیلیکون و نانو اکسید روی مورد استفاده در آزمایش تولید شرکت تحقیقات نانومواد آمریکا (US Research Nanomaterials, Inc.) بود که از شرکت پیشگامان نانومواد ایرانیان تهیه گردید (جدول ۴).

رقم مورد استفاده در این آزمایش طارم هاشمی بود. جهت اجرای عملیات طرح، ابتدا زمین خزانه بر اساس عرف محل (پوشش پلاستیکی) آماده و سپس بذرپاشی در آن انجام شد. مزارع محل آزمایش در سال‌های زراعی قبل نیز زیر کشت برنج بود. در اواخر بهمن ماه، زمین توسط گاو آهن برگردان دار شخم زده شد و در نیمه دوم اردیبهشت عملیات کامل شامل شخم بهاره، ماله کشی و تسطیح انجام گردید. سپس، زمین آزمایش به ۴۸ کرت مساوی تقسیم شد که ابعاد هر کرت ۵×۲ متر مربع بود. برای جلوگیری از تبادل کودی بین تیمارهای مختلف، مرز بین کرت‌ها به عرض و عمق ۴۰ سانتی متر با پوشش پلاستیکی عایق بندی شد. بعد از خزانه گیری، نشاها در مرحله ۳-۴ برگی و زمانی که ارتفاع آنها به ۲۵ سانتی متر رسید به زمین اصلی انتقال یافتند و نشاکاری با فواصل ۲۰×۲۰ سانتی متر و به تعداد چهار نشا در هر کپه انجام گرفت. نشاکاری در هر دو منطقه اجرای طرح در اواخر اردیبهشت ماه انجام گردید. کود فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل به مقدار ۷۰ کیلوگرم در هکتار به صورت پایه و کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه مرحله به صورت تقسیط (یک سوم در زمان کاشت، یک سوم در زمان پهنه زنی و یک سوم در زمان خوشه رفتن) و با توجه به نتایج تجزیه خاک به صورت یکنواخت در کلیه کرت‌ها در مکان‌های اجرای طرح مصرف شد. کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم به مقدار ۱۰۰

جدول ۴- خصوصیات نانوذرات دی اکسید سیلیس و اکسید روی

Table 4- Analysis of silicon dioxide (SiO₂) and zinc oxide (ZnO) nanoparticles

نانوذرات NPs	درصد خلوص Purity percentage (%)	اندازه ذرات Particles size (nm)	تراکم واقعی True density(g.cm ⁻³)	رنگ Color
SiO ₂	>99%	20-30	2.4	white
ZnO	>99%	10-30	5.606	Milky white

نتایج و بحث

طول خوشه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد طول خوشه تحت تأثیر مکان و روش‌های کاربرد سیلیس و روی ($P < 0.01$) معنی‌دار شد، ولی اثرات متقابل مکان و تیمارهای آزمایش اثر معنی‌داری بر صفت مذکور نداشت (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر مکان نشان داد میانگین طول خوشه در منطقه نور (۲۵/۲۶ سانتی‌متر) بیشتر از آمل (۲۴/۵۷ سانتی‌متر) بود (شکل ۱). مقایسه میانگین اثرات تیمارهای آزمایش نشان داد بلندترین طول خوشه به‌ترتیب با میانگین‌های ۲۵/۶۳، ۲۵/۷۲، ۲۵/۵۸ و ۲۵/۵۲ سانتی‌متر در تیمارهای T13، T14، T15 و T16 مشاهده شد، اگرچه با سایر تیمارهای آزمایش به‌جز کاربرد جداگانه روی و سیلیس به‌صورت خاک-مصرف و شاهد اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. کوتاه‌ترین طول خوشه با میانگین ۲۲/۵۲ سانتی‌متر تحت شرایط شاهد یا عدم مصرف سیلیس و روی (T1) حاصل شد (جدول ۶). اگرچه طول خوشه یک صفت ژنتیکی است ولی تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی از جمله میزان تشعشع و مواد غذایی نیز قرار می‌گیرد (Kheyri and Mobasser, 2016)، به گونه‌ای که در تحقیق حاضر نیز با افزودن عناصر غذایی سیلیس و روی بر مقدار این صفت افزوده گردید. کاربرد ترکیبی سیلیس و روی به‌صورت خاک-مصرف (T4) اثرات بهتری در افزایش طول خوشه در مقایسه با مصرف خاکی سیلیس به‌صورت جداگانه (T2) و شاهد (T1) داشت ولی اختلاف معنی‌داری با مصرف خاکی روی به‌صورت انفرادی (T3) نداشت. تفاوت آماری معنی‌داری بین کاربرد ترکیبی و جداگانه روی و سیلیس با استفاده از روش محلول‌پاشی نانوذرات وجود نداشت. تفاوتی در طول خوشه با محلول‌پاشی روی (T9) در مقایسه با کاربرد خاکی روی (T3) ایجاد نشد ولی محلول‌پاشی نانوسیلیس (T5) سبب افزایش معنی‌دار طول خوشه در مقایسه با کاربرد خاکی سیلیس (T2) گردید (جدول ۶). گزارشات حاکی از آن است که مصرف عناصر غذایی از جمله روی سبب افزایش طول خوشه می‌گردد (Anzer- Alam and Kumar, 2015). قاسمی لمراسکی و همکاران (Ghasemi Lemraski et al., 2014) با بررسی اثرات سیلیس بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج گزارش دادند که محلول‌پاشی نانوسیلیس سبب افزایش ۱/۴ درصدی طول خوشه در مقایسه با عدم مصرف سیلیس گردید.

طی مراحل داشت برای کنترل علف‌های هرز، دو مرتبه وجین دستی در طی ۱۴ و ۲۸ روز بعد از نشاکاری و برای مبارزه شیمیایی با آن، سم‌پاشی با سم بوتاکلر (ماچتی) به غلظت ۳/۵ لیتر در هکتار یک هفته پس از نشاکاری انجام شد. همچنین، برای مبارزه با کرم ساقه‌خوار برنج از حشره‌کش دیازینون (گرانول ۱۰ درصد) به میزان ۱۵ کیلوگرم در هکتار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی و خوشه‌دهی استفاده گردید. در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، بعد از حذف اثرات حاشیه‌ای در هر کرت، صفات مختلف زراعی به‌صورت تصادفی در هر یک از کرت‌های آزمایش اندازه‌گیری شد. تعیین طول خوشه با اندازه‌گیری از روی ۱۲ بوته در هر کرت انجام گرفت. تعداد پنجه‌های بارور در کپه با شمارش از روی ۱۲ کپه در هر کرت، تعداد دانه پر در خوشه با شمارش از روی ۲۰ خوشه در هر کرت و وزن هزار دانه با شمارش ۱۰۰۰ دانه سالم و پر با استفاده از دستگاه شمارشگر بذر اتوماتیک (PFEUFFER, Germany) و توزین آن به‌وسیله ترازوی حساس با دقت ۰/۰۰۱ بر اساس رطوبت ۱۴ درصد و بر حسب گرم تعیین گردید. جهت تعیین عملکرد دانه (شلتوک)، مساحت چهار مترمربع از وسط هر کرت آزمایش را با رعایت حذف اثر حاشیه برداشت نموده و پس از خرم‌کوبی و جداسازی دانه از کاه، عملکرد دانه بر مبنای رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد. برای تعیین میزان غلظت عناصر غذایی در برنج، از هر کرت به مقدار ۲۰ گرم نمونه دانه با رطوبت ۱۴ درصد به آزمایشگاه ارسال شد. اندازه‌گیری سیلیس گیاه با روش یوشیدا (Yoshida, 1975) و با استفاده از دستگاه کوره الکتریکی (تولید شرکت ایران خودساز، ساخت ایران) و اندازه‌گیری روی در گیاه با روش جذب اتمی شعله‌ای (A.A.S') (Emami, 1996) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Thermo electron, USA) انجام شد. پس از تعیین میزان غلظت عناصر اندازه‌گیری شده در دانه برنج، با استفاده از حاصلضرب تجمع ماده خشک در دانه در غلظت‌های مربوط به آن، میزان جذب سیلیس در دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار و میزان جذب روی در دانه برنج بر حسب گرم در هکتار محاسبه گردید. تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام شد.

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب اجزای عملکرد و عملکرد دانه برنج تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

Table 5- Combined analysis of variance for yield components and grain yield of rice affected by experimental treatments

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	طول خوشه Panicle length	تعداد پنجه بارور در کپه No. of fertile tillers hill ⁻¹	تعداد دانه پر در خوشه No. of filled grains panicle ⁻¹	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield
مکان (Location)	1	11.4 ^{**}	14.1 ^{ns}	27.6 ^{ns}	0.09 ^{ns}	1035218.3 ^{ns}
خطا (Error)	4	0.3	1.962	57.3	0.17	172940.0
تیمار (Treatment)	15	4.4 ^{**}	10.02 ^{**}	63.5 [*]	0.11 ^{ns}	427350.6 ^{**}
مکان × تیمار (L×T)	15	0.9 ^{ns}	3.7 ^{**}	57.1 [*]	0.18 ^{ns}	133017.5 ^{ns}
خطا (Error)	60	0.6	1.5	28.1	0.51	144124.9
ضریب تغییرات CV (%)	-	3.3	7.4	5.8	2.8	8.9

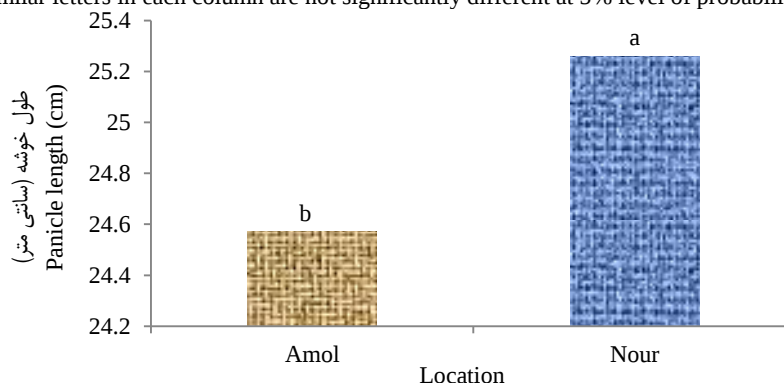
^{ns}, * و ^{**}: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد
^{ns}, * and ^{**}: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۶- مقایسه میانگین طول خوشه و عملکرد دانه برنج تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

Table 6- Mean comparison of panicle length and grain yield of rice under the influence of experimental treatments

تیمارها Treatments	طول خوشه Panicle length (cm)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)
T1	22.52	3632
T2	23.50	3948
T3	24.10	4023
T4	24.93	4371
T5	24.97	4081
T6	24.75	4263
T7	25.17	4462
T8	25.43	4580
T9	25.22	4253
T10	25.38	4477
T11	25.02	4373
T12	25.25	4233
T13	25.63	4623
T14	25.72	4643
T15	25.58	4283
T16	25.52	4316
LSD _{5%}	1.358	620.0

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد فاقد اختلاف معنی دار می‌باشند
Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% level of probability according to LSD test



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر مکان بر طول خوشه برنج

Figure 1- Mean comparison of the effect of location on panicle length of rice

تعداد پنجه بارور در کپه

نتایج تجزیه مرکب مکان‌های آزمایش نشان داد اثر مکان بر تعداد پنجه بارور در کپه معنی‌دار نشد ولی صفت مذکور تحت تأثیر تیمارهای آزمایش و همچنین اثر متقابل مکان و تیمارهای آزمایش ($P < 0.01$) قرار گرفت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن بود که بیشترین تعداد پنجه بارور در کپه (20.03 عدد) با اعمال تیمار T14 در منطقه آمل به‌دست آمد و با عدم مصرف سیلیس و روی در این منطقه، صفت مذکور به میزان 27.45 درصد کاهش یافت. در منطقه نور حداکثر تعداد پنجه بارور در کپه (18.47 عدد) با کاربرد تیمار T13 حاصل شد. نتایج نشان داد که کاربرد ترکیبی سیلیس و روی به‌صورت خاک-مصرف (T4) منجر به افزایش معنی‌دار تعداد پنجه بارور در کپه نسبت به مصرف خاکی سیلیس (T2) و روی (T3) در منطقه آمل شد ولی در منطقه نور اختلاف معنی‌داری ایجاد نشد. این نتیجه ممکن است به دلیل نوع بافت خاک مکان‌های اجرای آزمایش باشد به گونه‌ای که کاربرد انفرادی کود روی به صورت خاک-مصرف در آمل با توجه به رسی بودن خاک منطقه منجر به تثبیت روی شده و برای گیاه قابل استفاده نبوده است به همین دلیل تغییر معنی‌داری در تعداد پنجه بارور در کپه در مقایسه با شاهد ایجاد نشد، اما زمانی که کود روی با سیلیس به شکل ترکیبی

مورد استفاده قرار گرفت تعداد پنجه بارور به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که ناشی از اثرات مثبت سیلیس در فراهمی عنصر روی برای گیاه برنج می‌باشد. بهبود رشد و افزایش غلظت روی در ریشه و اندام هوایی برنج با کاربرد سیلیس در نتایج سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Wang et al., 2015). در روش محلول‌پاشی نانوذرات، اختلاف معنی‌داری بین مصرف ترکیبی نانوسیلیس و نانوروی (T13) و کاربرد جداگانه نانوسیلیس (T5) در هر دو مکان آزمایش مشاهده گردید ولی اختلاف معنی‌داری بین کاربرد ترکیبی دو عنصر (T13) و مصرف انفرادی نانوروی (T9) وجود نداشت (جدول ۷). کاربرد روی به هر دو روش محلول‌پاشی و خاک-مصرف به‌واسطه افزایش غلظت روی در گیاه منجر به افزایش تعداد پنجه‌های مؤثر در متر مربع می‌گردد (Farooq et al., 2018). عنصر روی از طریق افزایش جذب و فراهمی سایر عناصر غذایی ضروری گیاه و همچنین بهبود فرآیند متابولیسم گیاه منجر به بهبود رشد و افزایش تعداد پنجه بارور در برنج می‌گردد (Naik and Das, 2007). گزارش شده که مصرف مناسب سیلیس در افزایش تعداد پنجه برنج بسیار مؤثر می‌باشد به گونه‌ای که با کاربرد سه میلی‌مولار سیلیس، تعداد پنجه حدود ۱۹ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت (Zia et al., 2017).

جدول ۷- اثر متقابل مکان و تیمارهای آزمایش بر تعداد پنجه بارور در کپه و تعداد دانه پر در خوشه برنج (مناطق آمل و نور)

Table 7- Interaction effect of location and experimental treatments on fertile tiller number per hill and filled grain number per panicle of rice (Amol and Nour Regions)

تیمارها Treatments	تعداد پنجه بارور در کپه No. of fertile tillers hill ⁻¹		تعداد دانه پر در خوشه No. of filled grain panicle ⁻¹	
	Amol	Nour	Amol	Nour
T1	14.53	13.13	83.77	81.53
T2	15.77	15.03	89.40	88.03
T3	15.70	16.03	93.37	87.60
T4	18.07	16.57	89.60	97.07
T5	15.63	15.90	98.80	85.80
T6	17.50	15.53	91.47	100.0
T7	19.00	16.50	90.83	94.10
T8	19.73	16.73	86.10	95.00
T9	17.07	16.50	92.83	90.93
T10	19.50	16.37	95.60	94.40
T11	16.97	17.07	90.93	83.50
T12	16.10	17.13	94.50	88.93
T13	18.87	18.47	96.23	93.90
T14	20.03	17.70	91.47	95.50
T15	15.97	17.83	92.00	90.23
T16	16.33	18.00	94.17	87.37
LSD _{0.05}	2.056		8.671	

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% level of probability according to LSD test.

تعداد دانه پر در خوشه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد تعداد دانه پر در خوشه تحت تأثیر مکان‌های آزمایش قرار نگرفت ولی اثرات تیمارهای آزمایش و همچنین اثر متقابل دوگانه تیمارهای آزمایش و مکان بر

صفت یاد شده در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثرات متقابل مکان و تیمارهای آزمایش نشان داد که حداکثر تعداد دانه پر در خوشه با میانگین ۱۰۰ عدد دانه پر در هر خوشه با اعمال تیمار T6 در منطقه نور حاصل شد و با عدم مصرف

عملکرد دانه در مقایسه با عدم مصرف سیلیس و روی شدند. تمام تیمارهای مورد بررسی به جز تیمارهای شاهد (T1) و کاربرد جداگانه سیلیس به روش خاک-مصرف (T2) از نظر عملکرد دانه دارای اختلاف معنی داری با یکدیگر نبودند. در پژوهش حاضر هیچ اختلاف معنی داری بین دو عنصر مورد استفاده در آزمایش (کاربرد خاکی سیلیس در مقایسه با مصرف خاکی روی و محلول پاشی سیلیس در مقایسه با محلول پاشی روی) از نظر عملکرد وجود نداشت. همچنین در بین روش‌های مورد استفاده در آزمایش، اختلاف معنی داری بین کاربرد خاکی سیلیس و روی با محلول پاشی نانوسیلیس و نانوروی از نظر عملکرد مشاهده نگردید (جدول ۶). افزایش عملکرد دانه برنج با مصرف عناصر روی و سیلیس به هر دو روش محلول پاشی نانوذرات و خاک-مصرف را می‌توان به فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، بهبود فرآیند جذب و انتقال عناصر به اندام هوایی و دانه مرتبط دانست. کاربرد روی با استفاده از هر دو روش محلول پاشی و خاک-مصرف در بهبود عملکرد دانه و افزایش سودآوری در سیستم‌های مختلف کشت برنج مناسب می‌باشد (Farooq et al., 2018). گزارش شده که تأمین روی از طریق خاک (پایه) + دو مرحله محلول پاشی بیشترین تأثیر را در افزایش غلظت روی در برنج با تولید عملکرد دانه مطلوب به همراه دارد (Saha et al., 2017)، که نتایج آزمایش حاضر را تأیید می‌نماید. مصرف روی سبب تخصیص مقادیر بیشتری از عناصر غذایی به بخش‌های زایشی گیاه نظیر خوشه‌ها و نهائات افزایش تجمع ماده خشک کل می‌گردد (Amanullah and Inamullah, 2016). غلظت روی دانه برنج رابطه مثبتی با عملکرد دانه دارد و افزایش مصرف روی در واریته‌هایی که غلظت روی در دانه کمتری دارند به‌طور معنی داری سبب افزایش جذب روی و نهایتاً عملکرد دانه می‌گردد (Jaksomsak et al., 2017). مصرف ۲ میلی‌مولار سیلیس در مرحله رشد زایشی برنج سبب افزایش ۴۵ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم مصرف آن در این مرحله رشدی گردید (Lavinsky et al., 2016). همچنین افزایش عملکرد دانه برنج به‌واسطه افزایش رشد، اجزای عملکرد و جذب بهتر عناصر غذایی با افزودن سیلیس در نتایج سایر پژوهشگران ارائه گردیده است (Cuong et al., 2017). مصرف سیلیس به‌خصوص در مراحل زایشی سبب افزایش تعداد پنجه بارور در کپه، درصد خوشه‌چه‌های پر و در نهایت بهبود عملکرد دانه برنج می‌گردد (Tamai and Ma, 2008).

غلظت و جذب سیلیس در دانه برنج

نتایج جدول تجزیه واریانس حاکی از آن بود که میزان غلظت و جذب سیلیس دانه تحت تأثیر تیمارهای آزمایش ($P < 0.01$) معنی دار شد ولی اثر مکان و اثر متقابل مکان و تیمارهای آزمایشی بر صفات یاد شده معنی دار نگردید (جدول ۸). مقایسه میانگین اثرات تیمارهای آزمایش نشان داد که بیشترین میزان غلظت و جذب سیلیس در دانه

سیلیس و روی در این منطقه، صفت مذکور حدود ۱۸/۴۷ درصد کاهش یافت. در منطقه آمل بیشترین تعداد دانه پر در خوشه با میانگین ۹۶/۲۳ دانه پر با اعمال تیمار T13 به‌دست آمد و تحت شرایط شاهد به میزان ۱۲/۹۴ درصد از صفت یاد شده کاسته گردید. مصرف ترکیبی سیلیس و روی به صورت خاک-مصرف (T4) برتر از کاربرد جداگانه سیلیس (T2) و روی (T3) به روش خاک-مصرف از نظر تعداد دانه پر در خوشه در منطقه نور بود ولی در منطقه آمل اختلاف معنی داری مشاهده نشد. در روش محلول پاشی نانوذرات، استفاده ترکیبی از سیلیس و روی (T13) برتری معنی داری بر کاربرد سیلیس (T5) و روی (T9) به‌صورت جداگانه در هیچ‌یک از مکان‌های آزمایش از نظر تعداد دانه پر در خوشه نداشت (جدول ۷). سیلیس از طریق افزایش باروری خوشه‌ها سبب افزایش عملکرد دانه برنج می‌گردد (Tamai and Ma, 2008). افزایش معنی دار تعداد دانه در خوشه با افزایش کاربرد سیلیس در نتایج سایر محققان نیز گزارش شده است (Cuong et al., 2017). گزارشات حاکی از آن است که مصرف ۲ میلی‌مولار سیلیس در طول مراحل رشد زایشی برنج (شروع خوشه‌دهی تا خوشه‌دهی کامل) منجر به افزایش تعداد دانه پر در خوشه برنج گردید (Lavinsky et al., 2016).

وزن هزار دانه

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه مرکب مکان‌های آزمایش مشخص گردید که وزن هزار دانه تحت تأثیر هیچ‌یک از تیمارهای مورد بررسی قرار نگرفت (جدول ۵). وزن هزار دانه یک صفت ژنتیکی است و با توجه به اینکه اندازه دانه در برنج به‌وسیله پوسته کنترل می‌شود تغییرات این صفت زیاد نیست (Saha et al., 1998). گزارش شده که مصرف درصدهای مختلف سیلیس اثر معنی داری بر وزن هزار دانه نداشت (Kim et al., 2012)، که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. در مقابل طی تحقیقات انجام شده توسط برخی پژوهشگران نشان داده شد که مصرف کود روی از منابع مختلف اثر معنی داری بر وزن هزار دانه برنج داشت (Shivay et al., 2016).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه مرکب مکان‌های آزمایش نشان داد اثر مکان و اثر متقابل مکان و تیمارهای آزمایش بر عملکرد دانه معنی دار نبود ولی اثرات تیمارهای آزمایشی بر عملکرد در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثرات تیمارهای آزمایش نشان داد که کاربرد هر دو عنصر سیلیس و روی به‌طور معنی داری منجر به افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد شد، برای مثال محلول پاشی نانوسیلیس + کاربرد خاکی سیلیس + کاربرد خاکی روی (T8)، محلول پاشی نانوسیلیس + محلول پاشی نانوروی (T13) و محلول پاشی نانوسیلیس + محلول پاشی نانوروی + کاربرد خاکی سیلیس (T14) به‌ترتیب سبب افزایش ۲۰/۶، ۲۱/۴ و ۲۱/۷ درصدی

غلظت و جذب سیلیس در گیاه گردید. گزارش شده که با افزایش سطوح سیلیسیم، سیلیس دانه برنج به طور معنی داری افزایش یافت (Dhamapurkar *et al.*, 2011). بررسی های به دست آمده توسط یزدپور و همکاران (Yazdpour *et al.*, 2014) طی دو سال زراعی نشان داد که بیشترین میزان جذب سیلیس دانه برنج در هر دو سال زراعی با محلول پاشی نانوسیلیکون به دست آمد. نتایج به دست آمده توسط گروه دیگری از پژوهشگران نیز نشان داد که با افزایش مصرف سیلیس از سطح صفر به سه میلی مولار، غلظت سیلیس در ریشه و اندام هوایی به ترتیب حدود ۴۸ و ۴۲ درصد افزایش یافت (Zia *et al.*, 2017).

به ترتیب با میانگین های ۶/۴۰ درصد و ۲۹۷ کیلوگرم در هکتار با اعمال تیمار T14 به دست آمد، اگرچه میزان جذب سیلیس دانه در تیمار T8 (۲۹۰/۸ کیلوگرم در هکتار) در سطحی برابر با تیمار T14 قرار داشت. استفاده از سیلیس به صورت جداگانه یا ترکیبی به هر دو روش محلول پاشی و خاک-مصرف سبب فراهمی غلظت های بالای سیلیس در دانه برنج شد و میزان جذب سیلیس در دانه نیز به جز کاربرد جداگانه سیلیس به روش خاک-مصرف (T2) مشابه با شرایط درصد غلظت سیلیس در دانه بود (جدول ۹). نتایج حاصله نشان داد تأمین سیلیس گیاه از طریق محلول پاشی نانوذرات همراه با کاربرد خاکی این عنصر در افزایش میزان سیلیس گیاه بسیار مؤثر بود و افزودن عنصر روی به این ترکیبات نیز تا حدودی منجر به بهبود

جدول ۸- تجزیه واریانس مرکب غلظت و جذب سیلیس و روی دانه برنج تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

Table 8- Combined analysis of variance for Si and Zn concentration and uptake of rice grain affected by experimental treatments

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	غلظت سیلیس دانه Si concentration in grain	جذب سیلیس دانه Si uptake in grain	غلظت روی دانه Zn concentration in grain	جذب روی دانه Zn uptake in grain
مکان (Location)	1	0.3 ^{ns}	6171.3 ^{ns}	18.2 ^{ns}	2583.3 [*]
خطا (Error)	4	0.2	1347.4	8.03	199.4
تیمار (Treatment)	15	1.5 ^{**}	6927.5 ^{**}	131.6 ^{**}	3696.6 ^{**}
مکان × تیمار (L×T)	15	0.05 ^{ns}	688.1 ^{ns}	1.6 ^{ns}	165.6 ^{ns}
خطا (Error)	60	0.5	1447.9	14.6	390.7
ضریب تغییرات CV (%)	-	13.1	15.3	13.2	15.8

^{ns}، * و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۹- مقایسه میانگین غلظت و جذب سیلیس و روی دانه برنج تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

Table 9- Mean comparison of Si and Zn concentration and uptake of rice grain under the influence of experimental treatments

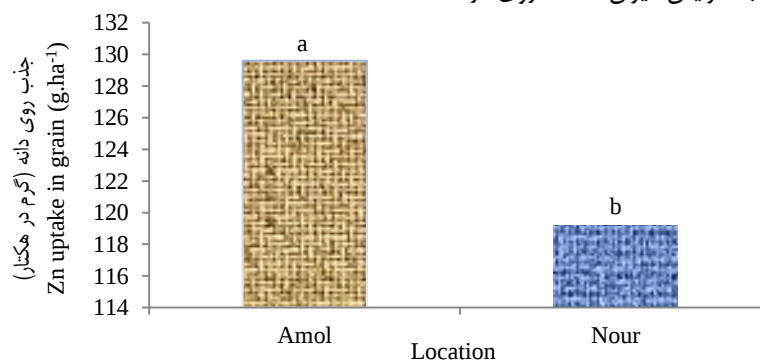
تیمارها Treatments	غلظت سیلیس دانه Si concentration in grain (%)	جذب سیلیس دانه Si uptake in grain (kg ha ⁻¹)	غلظت روی دانه Zn concentration in grain (mg kg ⁻¹)	جذب روی دانه Zn uptake in grain (g ha ⁻¹)
T1	4.70	169.3	16.92	62.67
T2	5.55	218.9	22.62	88.50
T3	5.01	201.7	26.95	108.8
T4	5.70	250.3	29.40	129.0
T5	5.81	247.3	23.85	97.33
T6	6.15	261.2	24.65	105.2
T7	5.95	266.0	30.00	132.7
T8	6.35	290.8	30.75	140.0
T9	5.16	219.8	31.15	131.8
T10	5.63	252.1	31.35	140.7
T11	5.16	221.0	31.60	134.5
T12	5.85	246.0	32.65	136.2
T13	5.95	277.3	32.42	148.8
T14	6.40	297.0	32.65	151.2
T15	6.11	262.0	32.85	139.8
T16	6.38	276.5	33.30	143.2
LSD _{5%}	1.224	62.15	6.248	32.28

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد فاقد اختلاف معنی دار می باشند

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% level of probability according to LSD test

غلظت و جذب روی در دانه برنج

نتایج مربوط به جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد میزان غلظت و جذب روی در دانه برنج تحت تأثیر تیمارهای آزمایش ($P < 0.01$) قرار گرفت ولی اثرات متقابل مکان و تیمارهای آزمایش بر صفات مذکور معنی‌دار نشد. همچنین اثر مکان فقط بر میزان جذب روی در دانه برنج ($P < 0.05$) معنی‌دار شد (جدول ۸). نتایج مقایسه میانگین اثر مکان‌های آزمایش (شکل ۲) نشان داد که میزان جذب روی در دانه برنج در منطقه آمل حدود ۸/۰۲ درصد بیشتر از منطقه نور بود، که به نظر می‌رسد به دلیل انتقال بهتر این عنصر به دانه با توجه به مطلوب‌تر بودن شرایط آب و هوایی منطقه آمل از جمله درجه حرارت مناسب‌تر و بارندگی کمتر (جدول ۱) در طول دوره رشد گیاه در مقایسه با منطقه نور و همچنین عملکرد دانه بالاتر در مکان آمل بوده باشد. بیشترین میزان غلظت روی در دانه برنج با میانگین ۳۳/۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم با کاربرد تیمار T16 حاصل شد، اگرچه با سایر تیمارهای مورد بررسی به جز T5، T3، T2، T1 و T6 اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. کمترین میزان غلظت روی دانه نیز با حدود ۴۹/۱ درصد کاهش در شرایط شاهد (T1) مشاهده شد که با کاربرد جداگانه سیلیس به روش خاک-مصرف (T2) در یک گروه آماری قرار گرفت. نتیجه نشان داد که استفاده از روی به هر دو روش محلول‌پاشی نانوذرات و خاک-مصرف منجر به افزایش میزان غلظت روی در دانه



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر مکان بر میزان جذب روی در دانه برنج
Figure 2- Mean comparison of the effect of location on Zn uptake in rice grain

نتیجه‌گیری

با توجه به بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش معنی‌دار عملکرد دانه با کاربرد روی و سیلیس در مکان‌های مورد آزمایش، می‌توان یکی از دلایل کاهش عملکرد در این مناطق را به کمبود و عدم دسترسی به این عناصر مغذی نسبت داد. نتایج نشان داد که اگرچه کاربرد انفرادی روی به صورت خاک-مصرف (T3) در منطقه آمل به دلیل رسی بودن بافت خاک و در نتیجه امکان جذب و فراهمی پایین‌تر این عنصر برای گیاه سبب بهبود تعداد پنجه بارور در کپه در مقایسه با شاهد نگردید ولی مصرف ترکیبی روی و سیلیس به‌صورت

خاک-مصرف (T4) و همچنین محلول‌پاشی نانوذرات اکسید روی به‌خصوص در تیمارهای ترکیبی با سیلیس موجب افزایش فراهمی روی و در نهایت افزایش معنی‌دار تعداد پنجه بارور در منطقه آمل شد. استفاده از سیلیس و روی به‌صورت ترکیبی با روش خاک-مصرف منجر به بهبود تعداد پنجه بارور در آمل و افزایش تعداد دانه پر در خوشه در نور در مقایسه با کاربرد انفرادی هر یک از عناصر سیلیس و روی گردید. محلول‌پاشی هم‌زمان نانوذرات سیلیس و روی سبب بهبود تعداد پنجه بارور در کپه در مکان‌های آزمایش نسبت به مصرف جداگانه نانوسیلیس شد. وجود شرایط آب و هوایی مناسب‌تر در منطقه

بهتری بر غلظت و جذب روی در دانه در مقایسه با مصرف سیلیس داشت. بین روش‌های محلول‌پاشی نانوذرات و خاک-مصرف اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد، اجزای عملکرد و جذب سیلیس و روی در دانه وجود نداشت. بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش، استفاده از سیلیس و روی به هر دو روش محلول‌پاشی نانوذرات و خاک-مصرف جهت بهبود عملکرد دانه و افزایش غلظت و جذب عناصر آزمایش مؤثر می‌باشد. لذا نیاز به توجه بیشتر به تغذیه روی و سیلیس گیاه برنج در خاک‌هایی با قابلیت دسترسی پایین به این عناصر می‌باشد.

آمل در طول دوره رشد گیاه باعث بهبود جذب روی در دانه به‌ویژه با استفاده از روش محلول‌پاشی برگ‌ی نانوذرات در مقایسه با منطقه نور گردید. استفاده از سیلیس و روی به هر دو روش محلول‌پاشی نانوذرات و خاک-مصرف منجر به بهبود عملکرد دانه نسبت به شاهد گردید، به گونه‌ای که کاربرد ترکیبی سیلیس و روی به‌صورت نانوذرات (T13) و خاک-مصرف (T4) به‌ترتیب سبب افزایش ۲۱/۴ و ۱۶/۹ درصدی عملکرد در مقایسه با عدم مصرف سیلیس و روی (T1) شد. عناصر مورد استفاده در آزمایش برتری معنی‌داری بر یکدیگر از نظر عملکرد دانه تولیدی نداشتند ولی کاربرد روی اثر

References

- Alharby, H. F., Metwali, E. M. R., Fuller, M. P., and Aldhebani, A. Y. 2016. Impact of application of zinc oxide nanoparticles on callus induction, plant regeneration, element content and antioxidant enzyme activity in tomato (*Solanumlycopersicum* L.) under salt stress. Archives of Biological Sciences 68 (4): 723-735.
- Amanullah., and Inamullah. 2016. Dry matter partitioning and harvest index differ in rice genotypes with variable rates of phosphorus and zinc nutrition. Rice Science 23 (2): 78-87.
- Anzer-Alam, M. D., and Kumar, M. 2015. Effect of zinc on growth and yield of rice var. Pusa Basmati-1 in Saran district of Bihar. Asian Journal of Plant Science and Research 5 (2): 82-85.
- Cuong, T. X., Ullah, H., Datta, A., and Hanh, T. C. 2017. Effects of silicon-based fertilizer on growth, yield and nutrient uptake of rice in tropical zone of Vietnam. Rice Science 24 (5): 283-290.
- Dhamapurkar, V. B., Talashilkar, S. C., and Sonar, K. R. 2011. Effect of calcium silicate slag on yield and silica uptake by rice. Proceedings of The 5th International Conference on Silicon in Agriculture. September 13-18. Beijing, China.
- Dwivedi, R., and Srivastva, P. C. 2014. Effect of zink sulphate application and the cyclic incorporation of cereal straw on yields, the tissue concentration and uptake of Zn by crops and availability of Zn in soil under rice-wheat rotation. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture 3 (53): 1-12.
- Emami, A. 1996. Methods of plant analysis. Vol 982. Soil and Water Research Institute. 130 p. (in Persian).
- Farooq, M., Ullah, A., Rehman, A., Nawaz, A., Nadeem, A., Wakeel, A., Nadeem, F., and Siddique, K. H. M. 2018. Application of zinc improves the productivity and biofortification of fine grain aromatic rice grown in dry seeded and puddle transplanted production systems. Field Crops Research 216: 53-62.
- Ghasemi, M., Noormohammadi, Gh., Madani, H., Mobasser, H. R., and Nouri, M. Z. 2017. Effect of foliar application of zinc nano oxide on agronomic traits of two varieties of rice (*Oryza sativa* L.). Crop Research 52 (6): 195-201.
- Ghasemi Lemraski, M., Normohamadi, Gh., Madani, H., Heidari Sharifabad, H., and Mobasser, H. R. 2014. Effect of silicon and potassium foliar application and nitrogen rates on yield and yield components of Iranian rice cultivars, Tarom Hashemi and Tarom Mahalli. Journal of New Finding in Agriculture 9: 47-66. (in Persian).
- Jaksomsak, P., Rerkasem, B., and Thai, C. P. U. 2017. Response of grain zinc and nitrogen concentration to nitrogen fertilizer application in rice varieties with high-yielding low-grain zinc and low-yielding high grain zinc concentration. Plant and Soil 411 (1-2): 101-109.
- Jeer, M., Telugu, U. M., Voleti, S. R., and Padmakumari, A. P. 2017. Soil application of silicon reduces yellow stem borer, scripophage incertulas (Walker) damage in rice. Journal of Applied Entomology 141 (3): 189-201.
- Kheyri, N., and Mobasser, H. R. 2016. Effect of seedling age and seeding rate in nursery on some agronomic traits and seed yield of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Tarom Hashemi. Journal of Crop Ecophysiology 10 (2): 431-446. (in Persian with English abstract).
- Kim, Y. H., Khan, A. L., Shinwari, Z. K., Kim, D. H., Waqas, M., Kamran, M., and Lee, I. J. 2012. Silicon treatment to rice (*Oryza sativa* L. cv Gopumbyeo) plants during different growth periods and its effects on growth and grain yield. Pakistan Journal of Botany 44 (3): 891-897.
- Lavinsky, A. O., Detmann, K. C., Reis, J. V., Avila, R. T., Sanglard, M. L., Pereira, L. F., Sanglard, L. M. V. P., Rodrigues, F. A., Araujo, W. L., and DaMatta, F. M. 2016. Silicon improves rice grain yield and photosynthesis specifically when supplied during the reproductive growth stage. Journal of Plant Physiology 206: 125-132.
- Longping, Y. 2004. Hybrid rice for food security in the world. FAO Rice Conference Rome, Italy. 12-13.
- Lou, Y. S., Wu, L., Lixuan, R., Meng, Y., Shidi, Z., and Huaiwei, Z. 2016. Effects of silicon application on diurnal variations of physiological properties of rice leaves of plants at the heading stage under elevated UV-B radiation. International Journal of Biometeorology 60 (2): 311-318.

18. Mahmoud, E., Abdel-Haliem, F., Hegazy, H. S., Hassan, N. S., and Naguib, D. M. 2017. Effect of silica ions and nano silica on rice plants under salinity stress. *Ecological Engineering* 99: 282-289.
19. Mazaherinia, S., Astaraei, A. R., Fotovat, A., and Monshi, A. 2010. Effect of nano iron oxide particles on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. *Journal of World Applied Sciences* 7 (1): 156-162.
20. Meena, V. D., Dotaniya, M. L., Coumar, V., Rajendiran, S., Ajay, Kundu, S., and Rao, A. S. 2014. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences* 84 (3): 505-518.
21. Naik, S. K., and Das, D. K. 2007. Effect of split application of zinc on yield of rice (*Oryza sativa* L.) in an inceptisol. *Archives of Agronomy and Soil Science* 53 (3): 305-313.
22. Rezaei, R., Hosseini, S. M., Shabanali Fami, H., and Safa, L. 2009. Identification and analysis of the barriers of nanotechnology development in the Iranian agricultural sector from the viewpoint of the researchers. *Journal of Science and Technology Policy* 2 (1): 17-26. (in Persian with English abstract).
23. Saha, A., Sarkar, R. K., and Yamagishi, Y. 1998. Effect of time of nitrogen application on spikelet differentiation and degeneration of rice. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 39: 119-123.
24. Saha, S., Chakraborty, M., Padhan, D., Saha, B., Murmu, S., Batabyal, K., Seth, A., Hazra, G. C., Mandal, B., and Bell, R. W. 2017. Agronomic biofortification of zinc in rice: influence of cultivars and zinc application methods on grain yield and zinc bioavailability. *Field Crops Research* 210: 52-60.
25. Sainz, M. J., Taboada-Castro, M. T., and Vilarino, A. 1998. Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil amended with composted urban wastes. *Plant and Soil* 205 (1): 85-92.
26. Shivay, Y. S., Prasad, R., Kaur, R., and Pal, M. 2016. Relative efficiency of zinc sulphate and chelated zinc on zinc biofortification of rice grains and zinc use-efficiency in Basmati rice. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B, Biological Sciences* 86 (4): 973-984.
27. Tamai, K., and Ma, J. F. 2008. Reexamination of silicon effects on rice growth and production under field conditions using a low silicon mutant. *Plant and Soil* 307: 21-27.
28. Tiong, J., McDonald, G. K., Genc, Y., Pedas, P., Hayes, J. E., Toubia, J., Langridge, P., and Huang, C. Y. 2014. HvZIP7 mediates zinc accumulation in barley (*Hordeum vulgare*) at moderately high zinc supply. *New Phytologist* 201 (1): 131-143.
29. Tuyogon, D. S. J., Impa, S. M., Castillo, O. B., Larazo, W., and Johnson-Beebout, S. E. 2016. Enriching rice grain zinc through zinc fertilization and water management. *Soil Science Society of America Journal* 80 (1): 121-134.
30. Upadhyaya, H., Roy, H., Shome, S., Tewari, S., Bhattacharya, M. K., and Panda, S. K. 2017. Physiological impact of zinc nanoparticle on germination of rice (*Oryza sativa* L.) seed. *Journal of Plant Science and Phytopathology* 1: 062-070.
31. Wang, S., Wang, F., and Gao, S. 2015. Foliar application with nano-silicon alleviates Cd toxicity in rice seedlings. *Environmental Science and Pollution Research* 22 (4): 2837-2845.
32. Yazdpour, H. 2014. Role of nano-silicon and other silicon resources on uptake of nitrogen and phosphorus, lodging indices and quantitative and qualitative yield of rice (*Oryza sativa* L.). Ph.D thesis. Department of Agronomy. Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran. 275 P.
33. Yazdpour, H., Noormohamadi, Gh., Madani, H., Heidari Sharif Abad, H., Mobasser, H. R., and Oshri, M. 2014. Role of nano-silicon and other silicon resources on straw and grain protein, phosphorus and silicon contents in Iranian rice cultivar (*Oryza sativa* cv. Tarom). *International Journal of Biosciences* 5 (12): 449-456.
34. Yoshida, S. 1975. The physiology of silicon in rice. *Food and Fertilizer Technology Center (FFTC), Technical Bulletin*. 25: 1-27.
35. Yuvaraj, M., and Subramanian, K. S. 2014. Fabrication of zinc nano fertilizer on growth parameter of rice. *Trends in Biosciences* 7 (17): 2564-2565.
36. Zia, Z., Bakhat, H. F., Saqib, Z. A., Shah, G. M., Fahad, S., Ashraf, M. R., Hammad, H. M., Naseem, W., and Shahid, M. 2017. Effect of water management and silicon on germination, growth, phosphorus and arsenic uptake in rice. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 144: 11-18.



Comparison of NPs Foliar Application of Silicon and Zinc with Soil Application on Agronomic and Physiological Traits of Rice (*Oryza sativa* L.)

N. Kheyri^{1*}, H. Ajam Norouzi², H. R. Mobasser³, B. Torabi⁴

Received: 10-04-2019

Accepted: 03-06-2019

Introduction

Among the nutrients, silicon (Si) and zinc (Zn) play a key role in improving plant nutrition and increasing rice (*Oryza sativa* L.) growth, because their deficiency reduces growth and yield. Si, as one of the most abundant soil elements, helps to increase the amount of photosynthesis, improve performance, prevent lodging, and reduce pests and diseases. Zn is one of the most important micronutrients involved in protein synthesis and carbohydrate metabolism. One of the most important uses of nanotechnology in various aspects of agriculture in the water and soil section is the application of nano-fertilizers for plant nutrition. Nano-fertilizers can increase the nutrients use efficiency, improve plant growth and reduce environmental impacts compared to traditional methods. The purpose of this research was to evaluate the effect of Si and Zn by two forms of nanoparticles (NPs) foliar application and soil application in order to increasing the nutrient uptake efficiency and improving the rice grain yield.

Materials and Methods

This experiment was conducted as a randomized complete block design (RCBD) with 16 treatments and three replications in two locations of Mazandaran province (Amol and Nour) in 2016. The treatments included two forms of Si and Zn application: foliar application (nanoparticles source) and soil application (common source) as individually or mixtures treatments. For soil application, Si fertilizer was applied at the rate of 400 kg $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \text{ ha}^{-1}$ and Zn fertilizer at the rate of 40 kg $\text{ZnSO}_4 \text{ ha}^{-1}$ as basal in experimental plots. Foliar application of nano- SiO_2 and nano- ZnO in the concentration of 50 mg L^{-1} was applied at four plant growth stages (early tillering, middle tillering, panicle initiation and full heading stage) in plots. At the end of season, some yield components, grain yield as well as the concentrations and uptake of Si and Zn in grain were determined. The combined analysis of experimental data were done by using MSTAT-C software. The means were compared using the LSD test at 5% of probability level.

Results and Discussion

The results revealed that yield components, yield and concentration and uptake of experimental elements in rice grain were significantly increased by Si and Zn application in both methods of NPs foliar application and soil application compared to the control. In the case of soil application of the elements, combined use of Si and Zn was never statistically superior to use of only Zn in terms of yield, concentrations and uptake of test elements, but there was a significant difference in the sole application of Si in terms of panicle length and Zn concentration and uptake in rice grain. The combined application of Si and Zn as soil was statistically superior to the separate application of both elements in terms of fertile tillers per hill at Amol and filled grains per panicle at Nour site. In the case of NPs foliar application, combined use of Si and Zn was not statistically superior to use of only Zn in terms of yield and all other studied parameters, but superior to the separately use of Si for fertile tillers number in both experimental sites and Zn concentration and uptake in rice grains.

Conclusions

The Zn application had a better effect on Zn concentration and uptake in grain compared with Si, but there was no significant difference between Si and Zn application in terms of grain yield. There was no significant difference between the methods used in this experiment in terms of grain yield and concentration and uptake of

1- Ph.D. Graduated, Department of Agronomy, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Agronomy, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran

3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Ghaemshahr Branch, Islamic Azad University, Ghaemshahr, Iran

4- Associate Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

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

Si and Zn in grain. Therefore, according to the results of this research, NPs foliar spray and soil application of Si and Zn is effective way for increasing concentration and uptake of test elements and as well as improving rice grain yield in soils having low-availability of these two nutrients.

Keywords: Application method, Application source, Elements uptake, Grain yield, Nanofertilizer

Contents

Effect of Different Management of Wheat and Sugar Beet Residues on Some Chemical and Biological Properties of Soil	371
F. Ghoreishi, A. Lakzian, A. Fotovat, H. Zabihi	
The Effect of Transplant Age and Plant Density on Yield and Yield Components of Chinese Lantern (<i>Physalis alkekengi</i> L.) as a Medicinal Plant	386
A. Asgari, P. Rezvani Moghaddam, A. Koocheki	
Evaluation of Radiation Absorption and Use Efficiency in intercropped Sweet corn (<i>Zea mays</i> Var. <i>saccharata</i>) with Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	400
H. Homafar, M. Khoramivafa, F. Mondani, H. Zolnurian	
Effects of Water Stress, Nitrogen and Potassium on Some Physiological Characteristics and Dry Matter Yield of Blue Panic Grass (<i>Panicum antidotale</i> Retz.)	414
Z. Jouyban, M. Kafi, A. Nezami, S. Gh. R. Mousavi	
Effect of Terminal Water Stress on Grain Yield and Morpho-physiological Traits of <i>Aegilops triuncialis</i> Ecotypes	425
Z. Taghipour, R. Asghari-Zakaria	
Effect of Nitrogen Fertilizer and Plant Density on Seed Yield and Oil Yield of Sesame Using a Central Composite Design	438
H. Latifi, S. Khorramdel, M. Nassiri Mahallati, J. Vafabakhsh, A. Mollafilabi	
Effect of Potassium and Zinc Foliar Application on Growth Physiological Indices, Chlorophyll Fluorescence Parameters and Yield of Two Bread Wheat Cultivars under Late Planting Date	454
H. Kamaei, H. R. Eisevand, M. Daneshvar, F. Nazarian-Firouzabadi	
The Possibility of Replacing Blood Powder Instead of Fe EDDHA Consumption in <i>Melissa Officinalis</i> L.	465
V. Mohasseli, F. Farbood	
Effect of Foliar Application of Growth Regulators on Growth and Induction of Terminal Heat Tolerance in Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	476
N. Asadi Nasab, M. Nabipour, H. Roshanfekar, A. Rahnama Ghahfarokhi	
Influence of Foliar Application of Some Chemicals on Gas Exchange, Water Relations and Photosynthetic Traits in Sunflower (<i>Helianthus annuus</i> L.) under Different Irrigation Regimes	488
M. Yazdandoost Hamedani, M. Ghobadi, M. E. Ghobadi, S. Jalali-Honarmand, M. Saeidi	
Effect of Terminal Heat Stress on Some Agronomic, Physiological and Oil Yield Traits of Safflower Cultivars (<i>Carthamus tinctorius</i> L.) under Ahvaz Conditions	501
F. Salehi, A. Rahnama Ghahfarokhi, M. Meskarbashee, Kh. Mehdikhanlou	
Comparison of NPs Foliar Application of Silicon and Zink with Soil Application on Agronomic and Physiological Traits of Rice (<i>Oryza sativa</i> L.)	514
N. Kheyri, H. Ajam Norouzi, H. R. Mobasser, B. Torabi	

Iranian Journal of Field Crops Research

Ferdowsi University of Mashhad
Center of Excellence for Special Crops (CESC)

Vol. 17

No. 3

2019

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	Prof., University of Birjand
Banayan Awal, M.	Agro-Environment Modeling	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Jami Alahmadi, M.	Crop Physiology	Assoc. Prof., University of Birjand
Rahimian-Mashhadi, H.	Crop Physiology	Prof., Tehran University
Zamani, Gh.R.	Crop Physiology	Assoc. Prof., University of Birjand
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
Khazaei, H.R.	Crop Physiology	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://jcsc.um.ac.ir>



Ferdowsi University
of Mashhad

Vol.17 No.3

2019

Iranian Journal of Field Crops Research

ISSN:2008-1472

Contents

- Effect of Different Management of Wheat and Sugar Beet Residues on Some Chemical and Biological Properties of Soil 371**
F. Ghoreishi, A. Lakzian, A. Fotovat, H. Zabihi
- The Effect of Transplant Age and Plant Density on Yield and Yield Components of Chinese Lantern (*Physalis alkekengi* L.) as a Medicinal Plant 386**
A. Asgari, P. Rezvani Moghaddam, A. Koocheki
- Evaluation of Radiation Absorption and Use Efficiency in intercropped Sweet corn (*Zea mays* Var. *saccharata*) with Potato (*Solanum tuberosum*) 400**
H. Homafar, M. Khoramivafa, F. Mondani, H. Zolnurian
- Effects of Water Stress, Nitrogen and Potassium on Some Physiological Characteristics and Dry Matter Yield of Blue Panic Grass (*Panicum antidotale* Retz.) 414**
Z. Jouyban, M. Kafi, A. Nezami, S. Gh. R. Mousavi
- Effect of Terminal Water Stress on Grain Yield and Morpho-physiological Traits of *Aegilops triuncialis* Ecotypes 425**
Z. Taghipour, R. Asghari-Zakaria
- Effect of Nitrogen Fertilizer and Plant Density on Seed Yield and Oil Yield of Sesame Using a Central Composite Design 438**
H. Latifi, S. Khorramdel, M. Nassiri Mahallati, J. Vafabakhsh, A. Mollafilabi
- Effect of Potassium and Zinc Foliar Application on Growth Physiological Indices, Chlorophyll Fluorescence Parameters and Yield of Two Bread Wheat Cultivars under Late Planting Date 454**
H. Kamaei, H. R. Eisvand, M. Daneshvar, F. Nazarian-Firouzabadi
- The Possibility of Replacing Blood Powder Instead of Fe EDDHA Consumption in *Melissa officinalis* L. 465**
V. Mohasseli, F. Farbood
- Effect of Foliar Application of Growth Regulators on Growth and Induction of Terminal Heat Tolerance in Wheat (*Triticum aestivum* L.) 476**
N. Asadi Nasab, M. Nabipour, H. Roshanfekr, A. Rahnama Ghahfarokhi
- Influence of Foliar Application of Some Chemicals on Gas Exchange, Water Relations and Photosynthetic Traits in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) under Different Irrigation Regimes 488**
M. Yazdandoost Hamedani, M. Ghobadi, M. E. Ghobadi, S. Jalali-Honarmand, M. Saeidi
- Effect of Terminal Heat Stress on Some Agronomic, Physiological and Oil Yield Traits of Safflower Cultivars (*Carthamus tinctorius* L.) under Ahvaz Conditions 501**
F. Salehi, A. Rahnama Ghahfarokhi, M. Meskarbashee, Kh. Mehdikhanlou
- Comparison of NPs Foliar Application of Silicon and Zink with Soil Application on Agronomic and Physiological Traits of Rice (*Oryza sativa* L.) 514**
N. Kheyri, H. Ajam Norouzi, H. R. Mobasser, B. Torabi