

شماره ۳

جلد ۱۸

سال ۱۳۹۹

(شماره پیاپی: ۵۹)

نشریه علمی

پژوهشهای زراعی ایران

شاپا: ۱۴۷۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

مقالات علمی-پژوهشی

ارزیابی تأثیر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) و کدو پوست‌کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) بر عملکرد و اجزای عملکرد ۲۵۱
علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی، مینا هوشمند، سرور خرم دل

اثر محلول‌پاشی نانو کلات‌های آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه ۲۶۷
سیده حکیمه داودی، عباس بیابانی، علی راحمی کاریزکی، سید علی محمد مدرس ثانوی، ابراهیم غلامعلی‌پور علمداری، مهدی زارعی

ارزیابی اثر تلقیح باکتری‌های افزایشنده رشد گیاه (*PGPR*) بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کنجد ۲۷۹
سید فاضل فاضلی کاخکی، مهرنوش اسکندری، جهانفر دانشیان، صدیقه آناهید

بررسی کنترل علف‌های هرز بر صفات بیوشیمیایی، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد دانه در کشت مخلوط ارقام گندم ۲۹۷
عاطفه رضایی، احسان بیژن‌زاده، علی بهپوری

ارزیابی عملکرد زیست‌توده و شاخص‌های کارایی نیتروژن و فسفر خرفه (*Portulaca oleracea* L.) تحت تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و زیستی ۳۰۹
حامد جوادی، پرویز رضوانی مقدم، محمد حسن راشد محصل، محمد جواد ثقه الاسلامی

بررسی اثرات تاریخ کاشت بر شاخص‌های زراعی-اقلیمی در مراحل مختلف فنولوژی ارقام سیب‌زمینی ۳۲۳
عبدالستار دارابی، شهرام امیدواری

تأثیر کشت برنج (*Oriza sativa* L.) توأم با اردک بر عملکرد، بهره‌وری آب و کنترل علف‌های هرز در نظام‌های مختلف کشت ۳۴۱
اکرام منصورقناعتی پاشاکی، غلامرضا محسن‌آبادی، محمدحسن بیگلویی، محمدباقر فرهنگ

ارزیابی صفات مورفولوژی و عملکرد گیاه دارویی مرزه بختیاری تحت تأثیر تراکم و کودهای آلی در شرایط دیم ۳۵۷
احمد میرجلیلی، محمدحسین لباسچی، محمدرضا اردکانی، حسین حیدری شریف آباد، مهدی میرزا

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

"بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال ۱۳۹۸، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند."

سال ۱۳۹۹

شماره ۳

جلد ۱۸

صاحب امتیاز:

دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول:

پرویز رضوانی مقدم

سردبیر:

حمیدرضا خزاعی

استاد-اگرواکولوژی (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد-فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

اعضای هیئت تحریریه:

بحی امام

استاد-فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه شیراز)

عبدالرضا باقری

استاد-ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)

محمدعلی بهدانی

استاد-اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

محمد بنیان 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 شهریار احمدی

استاد-ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)

محمد کافی

استاد-فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

احمد نظامی

استاد-فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

ناشر: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

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)



مندرجات

مقالات علمی - پژوهشی

- 251 ارزیابی تأثیر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) و کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) بر عملکرد و اجزای عملکرد
علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی، مینا هوشمند، سرور خرم دل
- 267 اثر محلول پاشی نانو کلات‌های آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه
سیده حکیمه داودی، عباس بیابانی، علی راحمی کاریزکی، سید علی محمد مدرس ثانوی، ابراهیم غلامعلی پور علمداری، مهدی زارعی
- 279 ارزیابی اثر تلقیح باکتری‌های افزاینده رشد گیاه (PGPR) بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کنجد
سید فاضل فاضلی کاخکی، مهرنوش اسکندری، جهانفر دانشیان، صدیقه آناهید
- 297 بررسی کنترل علف‌های هرز بر صفات بیوشیمیایی، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد دانه در کشت مخلوط ارقام گندم
عاطفه رضایی، احسان بیژن‌زاده، علی بهپوری
- 309 ارزیابی عملکرد زیست‌توده و شاخص‌های کارایی نیتروژن و فسفر خرفه (*Portulaca oleracea* L.) تحت تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و زیستی
حامد جواد، پرویز رضوانی مقدم، محمد حسن راشد محصل، محمد جواد ثقه الاسلامی
- 323 بررسی اثرات تاریخ کاشت بر شاخص‌های زراعی - اقلیمی در مراحل مختلف فنولوژی ارقام سیب‌زمینی
عبدالستار دارابی، شهرام امیدواری
- 341 تأثیر کشت برنج (*Oriza sativa* L.) توأم با اردک بر عملکرد، بهره‌وری آب و کنترل علف‌های هرز در نظام‌های مختلف کشت
کامران منصورقناعتی پاشاکی، غلامرضا محسن‌آبادی، محمدحسن بیگلویی، محمدباقر فرهنگی
- 357 ارزیابی صفات مورفولوژی و عملکرد گیاه دارویی مرزه بختیاری تحت تأثیر تراکم و کودهای آلی در شرایط دیم
احمد میرجلیلی، محمدحسین لباسچی، محمدرضا اردکانی، حسین حیدری شریف آباد، مهدی میرزا



مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی تأثیر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) و کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) بر عملکرد و اجزای عملکرد

علیرضا کوچکی^{۱*}، مهدی نصیری محلاتی^۱، مینا هوشمند^۲، سرور خرم دل^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۳

چکیده

به منظور بررسی و مقایسه ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط سه گونه زراعی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) و لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) بر عملکرد و اجزای عملکرد آن‌ها، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۹۶-۱۳۹۵ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و پنج تیمار اجرا شد. تیمارها شامل ترکیب‌های مخلوط دوگانه (H:C, H:P, C:P) و سه‌گانه یک ردیفی و دو ردیفی (H:C:P, HH:CC:PP) در سری‌های جایگزینی و تک‌کشتی هر گونه (H, C, P) بود. صفات مورد مطالعه شامل اجزای عملکرد، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت سه گونه آفتابگردان، کدو پوست کاغذی و لوبیا چیتی و نسبت برابری زمین بودند. نتایج نشان داد که اثر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت آفتابگردان، کدو پوست کاغذی و لوبیا چیتی معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بود. بیشترین عملکرد دانه آفتابگردان مربوط به تیمار مخلوط سه‌گانه دو ردیفی (HH:CC:PP) (۱۰۱۵۸ کیلوگرم در هکتار)، لوبیا چیتی مربوط به کشت خالص (P) (۱۰۴۹ کیلوگرم در هکتار) و در کدو پوست کاغذی مربوط به تیمار مخلوط دوگانه لوبیا چیتی + کدو پوست کاغذی (C:P) (۲۵۰۱ کیلوگرم در هکتار) بود. بیشترین عملکرد بیولوژیک آفتابگردان، کدو پوست کاغذی و لوبیا چیتی به ترتیب برای کشت خالص (H)، مخلوط سه‌گانه دو ردیفی (HH:CC:PP) و کشت خالص (P) مشاهده شد. بالاترین نسبت برابری زمین (LER) در کشت سه‌گانه یک ردیفی (H:C:P) (۱/۶۹) و کمترین نسبت برابری زمین (LER) برای مخلوط دوگانه آفتابگردان + لوبیا چیتی (H:P) (۱/۰۶) محاسبه گردید. به طور کلی، در تمامی تیمارهای کشت مخلوط در سیستم‌های دوگانه و سه‌گانه نسبت برابری زمین بیشتر از یک و در مخلوط‌های سه‌گانه بالاتر از مخلوط‌های دوگانه بود.

واژه‌های کلیدی: سری جایگزینی، عملکرد دانه، کارایی مصرف منابع، نسبت برابری زمین

مقدمه

توجه چشمگیری قرار گرفته است (Koocheki et al., 2012). در تولید مواد غذایی باید بتوان به‌طور هم‌زمان چندین جنبه از جمله تضمین امنیت غذایی برای جمعیت رو به رشد از طریق افزایش بهره‌وری و درآمد، کاهش خطرات زیست‌محیطی و کاهش تغییرات اقلیمی را مورد نظر قرار داد.

در حال حاضر تولید مواد غذایی با چالش‌های زیادی مواجه شده است؛ پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۵۰ میلادی بیش از دو میلیارد نفر از ناامنی غذایی رنج می‌برند. یکی از دلایل ناامنی غذایی در کشورهای در حال توسعه بی‌ثباتی عملکرد در سیستم‌های زراعی به دلیل انعطاف‌پذیری کمتری است که نسبت به اختلالات زیست‌محیطی و تنش‌های زیستی دارند (Raseduzzaman and Jensen, 2017).

کشت مخلوط به‌عنوان راهکاری پایدار برای افزایش بهره‌وری کشاورزی و کاهش نوسانات عملکرد در طی سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است (Raseduzzaman and Jensen, 2017; IPES-).

توسعه کشاورزی صنعتی، گسترش نظام‌های تک‌کشتی و گرایش به استفاده از ارقام پرمحصول با حداقل تنوع ژنتیکی در مقایسه با ژنوتیپ‌های بومی، پایداری درازمدت بوم‌نظام‌های زراعی را به مخاطره انداخته است. در دهه‌های اخیر، با آشکار شدن خطرات زیست‌محیطی کاهش تنوع زیستی در مزارع تحت مدیریت رایج، ایجاد تنوع در نظام‌های زراعی، گونه‌های زراعی و عملیات مدیریتی، به‌عنوان روش‌هایی برای حفظ امنیت غذایی و کاهش ریسک، مورد

۱- استاد، عضو هیئت علمی گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی دکتری آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار، عضو هیئت علمی گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

DOI: 10.22067/gsc.v18i3.76748

فیزیولوژیکی متفاوت حائز اهمیت می‌باشد (Koocheki et al., 2016; Moradi et al., 2017). از این رو در پژوهشی روی کشت مخلوط تأخیری گیاهان نخود (*Cicer arietinum* L.) و عدس (*Lens culinaris* L.) با کدو مشخص شد که این ترکیب گونه‌ای به واسطه داشتن اختلاف مورفولوژیکی کارایی مصرف منابع به‌طور معنی‌داری بهبود یافت (Khoramivafa et al., 2011). بر این اساس، با توجه به اهمیت انتخاب گونه‌های همراه دارای اختلافات مورفولوژیکی، در این مطالعه سه گونه آفتابگردان، لوبیا چیتی و کدو پوست کاغذی مورد مطالعه قرار گرفتند. آفتابگردان با داشتن ارتفاع بلندتر نسبت به دو گونه دیگر، لوبیا چیتی به‌عنوان گیاه بالارونده و تثبیت‌کننده نیتروژن و کدو پوست کاغذی به دلیل فرم رشدی خزنده و قابلیت پوشش سریع سطح زمین و رشد در سایه، ساختار مورفولوژیکی متفاوتی را دارا می‌باشند. از این رو این ترکیب به‌عنوان یکی از الگوهای کشت مخلوط کلاسیک جهت ارزیابی سودمندی‌های زراعی از نظر عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط آب و هوایی مشهد مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی فردوسی مشهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از کشت خالص آفتابگردان (H)، کدو پوست کاغذی (C) و لوبیا چیتی (P) و کشت مخلوط جایگزینی دوگانه و سه‌گانه آن‌ها شامل کشت مخلوط آفتابگردان و کدو پوست کاغذی (H:C)، آفتابگردان و لوبیا چیتی (H:P)، کدو پوست کاغذی و لوبیا چیتی (C:P)، آفتابگردان و کدو پوست کاغذی و لوبیا (H:C:P) به‌صورت یک ردیف در میان و آفتابگردان و کدو پوست کاغذی و لوبیا (HH:CC:PP) به‌صورت نوباری (دو ردیف در میان).

زمین مورد استفاده در دو سال قبل از اجرای آزمایش تحت آیش قرار داشت. به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای آزمایش در سال‌های اول و دوم، نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک انجام شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

یکی از مکانیسم‌های ثبات عملکرد در کشت مخلوط این است که اگر یک محصول از بین برود یا رشد محدودی داشته باشد محصول دیگر می‌تواند کمبود عملکرد را تا حدودی جبران کند. ویژگی دیگر کشت‌های مخلوط این است که به‌عنوان بافری در برابر آفات و بیماری‌ها عمل می‌کند (Raseduzzaman and Jensen, 2017). همچنین کشت مخلوط سبب افزایش تنوع گونه‌ای شده که این امر مقاومت گیاهان در برابر عوامل زیست‌محیطی را موجب خواهد شد. در بررسی بر روی کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و سویا (*Glycine max* L.) گزارش شد که مجموع عملکردی نسبی در سال‌های مختلف برابر ۱/۴ و ۱/۲۹ تن در هکتار بود (Ijoyah et al., 2013). نتایج تحقیقات کشت مخلوط آفتابگردان و باقلا (*Vicia faba* L.) نشان داد که افزون بر ایجاد تنوع در اکوسیستم‌های زراعی و ایجاد پایداری و ثبات تولید، بهره‌گیری از این نظام کشت می‌تواند به‌طور چشمگیری سبب افزایش درآمد اقتصادی و بهره‌وری استفاده از زمین شود (Rezaei-Chiyaneh et al., 2015). نتایج پژوهشی در زمینه ارزیابی کشت مخلوط ارزن دم روباهی (*Panicum miliaceum* L.) و ماش (*Vigna radita* L.) مشخص نمود که تیمارهای مخلوط نسبت به خالص از نسبت برابری زمین بالاتری برخوردار بودند (Khatamipour et al., 2014). پژوهشگران در آزمایشی بر روی آفتابگردان، ذرت و سویا بیان کردند که کاشت این سه گیاه زراعی در کشت مخلوط باعث افزایش عملکرد و نسبت برابری زمین شد که این امر می‌تواند سبب پایداری اکوسیستم‌های زراعی شود (Amini et al., 2014). در پژوهشی، کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2013) بر روی کشت مخلوط کتان (*Linum usitatissimum* L.) و کنجد (*Sesamum indicum* L.) بیان کردند که نسبت برابری زمین در الگوهای کشت دو ردیفی و سه ردیفی بالاتر از یک بود که این امر نشان‌دهنده برتری نسبی کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی می‌باشد.

یکی از شرط‌های موفقیت در کشت مخلوط این است که گونه‌های همراه دارای اختلافات مورفولوژیکی و به‌عبارت‌دیگر آشیان‌های بوم‌شناختی متفاوتی باشند، در این حالت گونه‌ها به‌صورت مکمل عمل می‌نمایند و حداکثر استفاده از منابع محیطی را دارند؛ بنابراین انتخاب گونه‌های گیاهی با خصوصیات مورفولوژیکی و

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری)

Table 1- Soil physical and chemical characteristics of the experiment field (0-30 cm depth)

بافت Texture	سال Year	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل‌دسترس Available P (ppm)	پتاسیم قابل‌دسترس Available K (ppm)
لوم سیلتی Silty loam	2015-2016	1.70	7.65	0.65	0.068	47.1	356
	2016-2017	1.71	7.68	0.68	0.066	46.50	355

جزئی برای هر گونه (نسبت عملکرد هر گونه در مخلوط به خالص) محاسبه شد.

ارزیابی یکنواختی واریانس داده‌های دو سال با استفاده از آزمون بارتلت انجام شد و با توجه به نتیجه آزمون، داده‌ها به صورت مرکب مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم شکل‌ها از نرم‌افزارهای SAS ver.9.2 و MS Excel و برای مقایسات میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ترکیب‌های مختلف کاشت بر صفات ارتفاع بوته، وزن صد دانه، تعداد دانه در طبق، قطر طبق، وزن دانه در طبق، وزن صد دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت معنی‌دار بود. در حالی که اثر سال در تمامی صفات در سطح احتمال ۱ درصد ($p \leq 0.01$) و تنها در صفت ارتفاع در سطح احتمال ۵ درصد ($p \leq 0.05$) معنی‌دار بود.

نتایج مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان تحت تأثیر ترکیب‌های کشت مخلوط با دو گونه کدو پوست‌کاغذی و لوبیا چیتی در سال‌های اول و دوم آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است.

نتایج نشان داد که اثر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط با دو گونه کدو پوست‌کاغذی و لوبیا چیتی بر ارتفاع بوته، وزن صد دانه، تعداد دانه در هر طبق، قطر طبق، وزن دانه در طبق، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت آفتابگردان معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۲).

ارتفاع بوته، وزن صد دانه، تعداد دانه در هر طبق و قطر طبق

بیشترین و کمترین ارتفاع بوته آفتابگردان در سال‌های اول و دوم به ترتیب برای الگوی مخلوط دوگانه آفتابگردان+کدو پوست‌کاغذی (H:C) (به ترتیب ۲۰۱/۵ و ۱۷۴ سانتی‌متر) و مخلوط سه‌گانه دو ردیفه (HH:CC:PP) (به ترتیب ۱۶۰/۹ و ۱۶۲ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ۲). با توجه به این که گیاه کدو پوست‌کاغذی سطح زمین را کامل می‌پوشاند و این امر باعث کاهش تبخیر از سطح خاک و جلوگیری از تأثیر علف‌های هرز شده که این عوامل سبب شده تا بیشترین ارتفاع آفتابگردان در این تیمار مشاهده شود همچنین به دلیل این که گیاه آفتابگردان با توجه به آرایش بوته‌ای که نسبت به دو گیاه دیگر دارد در جذب نور می‌تواند موفق بوده باشد.

عملیات آماده‌سازی زمین و تهیه بستر کاشت با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار و دو بار دیسک عمود بر هم در هر دو سال، در اردیبهشت انجام شد. سپس با استفاده از فاروئر، ردیف‌های کشت با فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و طول سه متر ایجاد شد، بدین ترتیب ابعاد کرت‌ها ۳×۲/۲۵ مترمربع در نظر گرفته شد. بذور مورد استفاده از مزرعه دانشکده تهیه گردید. ارقام کشت شده برای آفتابگردان آلتار، برای لوبیا صدری و برای کدو *Cucurbita pepo* L. var. *styriac* بودند. هر کرت شامل شش ردیف کاشت بود. کاشت دستی در هر دو سال در نیمه دوم اردیبهشت ماه در دو طرف پشته با فاصله کاشت روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر برای آفتابگردان و کدو پوست‌کاغذی و ۱۰ سانتی‌متر برای لوبیا چیتی انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و با هدف تسهیل در خروج گیاهچه‌ها از خاک و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر هفت روز یک‌بار تا پایان فصل رشد به صورت نشتی انجام شد. وچین در سه مرحله قبل از بسته‌شدن کانوبی، هم‌زمان با بسته‌شدن کانوبی و در انتهای فصل رشد گیاهان به صورت دستی انجام گردید و در طول فصل رشد گیاه از هیچ‌گونه ماده شیمیایی اعم از کود شیمیایی، علف‌کش و سموم دیگری استفاده نشد. در پایان فصل رشد، در شهریور ماه هم‌زمان با زرد شدن و خشک شدن هر سه گیاه خصوصیات رشدی و اجزای عملکرد (برای گیاه آفتابگردان شامل ارتفاع بوته، وزن صد دانه، تعداد دانه در هر طبق، قطر طبق و وزن دانه در هر طبق، برای گیاه کدو پوست‌کاغذی شامل وزن دانه در هر میوه، وزن صد دانه، وزن تر میوه، وزن خشک بوته در واحد سطح، تعداد دانه در میوه و وزن خشک میوه و برای لوبیا چیتی شامل ارتفاع بوته، تعداد نیام در هر بوته، تعداد دانه در هر نیام، تعداد شاخه جانبی، وزن خشک بوته در واحد سطح، وزن نیام در هر بوته، وزن دانه در هر بوته و وزن صد دانه) از سطح پنج بوته به صورت تصادفی اندازه‌گیری و تعیین شد.

به منظور تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک مساحت یک مترمربع از هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای و برداشت از نزدیکی سطح زمین انجام و پس از خشک شدن اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک تعیین شد.

برای ارزیابی کشت مخلوط کدو پوست‌کاغذی با آفتابگردان و لوبیا در مقایسه با کشت خالص شاخص نسبت برابری زمین (LER) جزئی و کل محاسبه شد (Gliessman, 1998).

$$LER = (Y_1/B_1) + (Y_2/B_2) + (Y_3/B_3) \quad (1)$$

که در این معادله Y_1 ، Y_2 و Y_3 : به ترتیب عملکرد گونه‌های کدو پوست‌کاغذی، آفتابگردان و لوبیا در کشت مخلوط B_1 ، B_2 و B_3 : نیز عملکرد گونه‌های کدو، آفتابگردان و لوبیا در کشت خالص است. بر این اساس نسبت برابری زمین کل از مجموع نسبت برابری زمین

جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان تحت تأثیر ترکیبهای کشت مخلوط با کدو پوست کاغذی و لوبیا چیتی در دو سال زراعی

Table 2- Mean comparisons for the yield and yield components of sunflower affected by different intercropping arrangements with common bean and pumpkin in two grown

سال Year	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد دانه در طبق No. of seeds per head	قطر طبق Head diameter (cm)	وزن دانه در طبق Seed weight per head (g)	وزن صد دانه 100-seed weight (g)	شاخص برداشت Harvest index (%)
2015-16	185.52a*	1060.47a	21.99a	109.69a	16.29a	34.25a
2016-17	168.82b	945.95b	20.11 b	55.82b	11.20 b	36.16a
ترکیبهای کشت مخلوط Intercropping arrangement	H	176.835a	22.36a	87.96b	12.69c	28.37b
	H:C	188.112a	1023.90b	79.56bc	15.23a	32.30ab
	H:P	179.000a	907.93c	75.10bc	15.26a	33.70ab
	H:C:P	180.477a	1121.64a	63.85 c	11.12 d	44.78a
2015-16	HH:CC:PP	161.445a	917.07c	107.28a	14.62b	36.87ab
	H	189.88b	999.53 bc	60.98 e	14.97b	31.63bc
	H:C	201.55 a	1171.68 a	58.89e	18.72 a	25.59cd
	H:P	187.00 b	1027.23 bc	55.77 e	19.84 a	35.76b
2016-17	H:C:P	188.28 b	1156.42 a	48.89e	11.99 cd	45.78a
	HH:CC:PP	160.88 e	947.49 cd	54.52 e	15.96 b	29.49cd
	H	163.77 de	1092.56 ab	114.93b	10.41 e	25.10d
	H:C	174.66 c	876.11 de	100.22c	11.75 de	36.01 b
سال Year	H:P	171 cde	787.55 e	94.43 c	10.69 de	31.65 c
	H:C:P	172.66 cd	1086.87 ab	78.81 d	10.25 e	42.17 a
	HH:CC:PP	162 e	886.64 de	160.05a	13.28 c	44.25 a

H: کشت خالص آفتابگردان، (H:C): آفتابگردان + کدو پوست کاغذی، (H:P): آفتابگردان + لوبیا چیتی، (H:C:P): آفتابگردان + کدو پوست کاغذی + لوبیا چیتی (دو ردیفی)
 HH:CC:PP: sunflower, (H:C): sunflower+ pumpkin, (H:P): sunflower+ pumpkin+ common bean (one row) and (HH:CC:PP): sunflower+ pumpkin+ common bean (two rows)

*میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر جزء، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

*Means with the same letter(s) in each column and each component have no significant difference at 5% probability level based on Duncan's test.

دانست. همچنین باید متذکر شد که خسارت آفات در سال دوم به بوته‌های لوبیا، علت کمتر بودن تعداد دانه در طبق را می‌توان به این موضوع نسبت داد که پوشش گیاهی کمتر شده و نسبت به تیمار خالص فضای خالی بین ردیف‌ها ایجاد شده که افزایش دمای خاک را به دنبال داشته است. در بررسی نصراله‌زاده و همکاران (Nasrulazadeh Asl et al., 2012) مشاهده شد که بیشترین تعداد دانه در طبق آفتابگردان در تیمار خالص مشاهده شد. همچنین نتایج پژوهش کشت مخلوط آفتابگردان و لوبیا توسط مورالس و همکاران (Morales et al., 2009) نشان داد که در کشت مخلوط تشدید رقابت برون گونه‌ای موجب کاهش تعداد دانه در طبق شد. نتایج این مطالعه نشان داد که در مورد صفت وزن دانه در طبق آفتابگردان در سال اول بین هیچ کدام از تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، ولی در سال دوم بین تیمارهای مختلف از نظر وزن دانه در هر طبق اختلاف معنی‌داری مشاهده شد؛ به‌حوی که بیشترین وزن دانه در هر طبق مربوط به تیمار مخلوط سه‌گانه دو ردیفه (E) (۱۶۰/۱ گرم در طبق) بود و کمترین آن در تیمار مخلوط سه‌گانه یک ردیفه (H:C:P) (۷۸/۸ گرم در طبق) مشاهده شد. با بررسی شاخص قطر طبق الگوهای مختلف کشت مخلوط مشاهده شد که بیشترین قطر طبق آفتابگردان در سال اول مربوط به تیمار دوگانه آفتابگردان+ لوبیا چیتی (H:P) (۲۳/۴ سانتی‌متر) که به‌جز تیمار دوگانه آفتابگردان+ کدو پوست کاغذی (H:C) با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشته و کمترین قطر طبق مربوط به الگوی مخلوط سه‌گانه یک ردیفه و دو ردیفه (H:C:P, HH:CC:PP) (۲۱/۱ سانتی‌متر) بود. در سال دوم نتیجه عکس مشاهده شد؛ به‌طوری که بیشترین قطر طبق آفتابگردان مربوط به تیمار خالص (H) (۲۳/۴ سانتی‌متر) و کمترین آن مربوط به تیمار دوگانه آفتابگردان+ لوبیا چیتی (H:P) (۱۷/۹ سانتی‌متر) بود (جدول ۲). نتایج پژوهش کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) در کشت مخلوط سه‌گانه آفتابگردان، لوبیا و کنجد نشان داد که قطر طبق تحت تأثیر کشت مخلوط با دو گیاه کنجد و لوبیا قرار گرفت؛ به‌طوری که کمترین قطر طبق در تیمار خالص مشاهده شد. در این راستا امینی و همکاران (Amini et al., 2014) در پژوهشی که بر روی کشت مخلوط آفتابگردان، سویا و ذرت انجام دادند بیان کردند که تیمارهای مخلوط بالاترین قطر طبق را دارا بوده که افزایش قطر طبق در کشت مخلوط را به دلیل تأثیر مثبت نیتروژن تثبیت شده توسط ریشه سویا ناشی می‌شود که سبب افزایش رشد و قطر طبق شده است.

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک

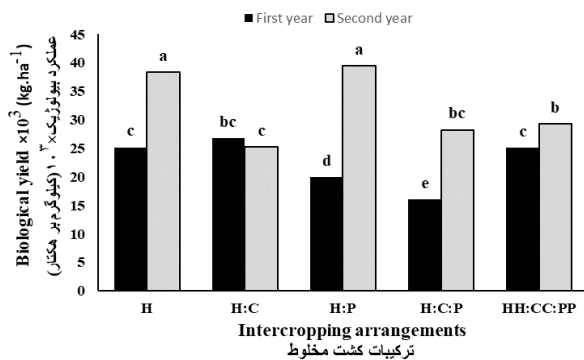
بیشترین عملکرد دانه در سال اول مربوط به کشت خالص آفتابگردان (H) با ۷۹۲۸ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن مربوط به کشت مخلوط دوگانه آفتابگردان+ لوبیا چیتی (H:P) با ۷۰۸۸

نتایج بررسی نصراله‌زاده و همکاران (Nasrulazadeh asl et al., 2012) روی ارزیابی کشت مخلوط آفتابگردان و لوبیا چیتی نشان داد که ارتفاع بوته آفتابگردان در تیمار مخلوط بیشتر از خالص بود. همچنین در بررسی کشت مخلوط آفتابگردان و گوارا (*Cyamopsis tetragonoloba* L. بیان شد که ارتفاع بوته در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود (Momene Kikha et al., 2017). اثر ترکیب‌های کشت مخلوط بر وزن صد دانه آفتابگردان نشان داد که در سال اول بیشترین وزن صد دانه مربوط به تیمار دوگانه آفتابگردان+ لوبیا چیتی (H:P) بوده که با تیمار دوگانه آفتابگردان+ کدو پوست کاغذی (H:C) اختلاف معنی‌داری نداشته ولی با سایر تیمارها اختلاف داشتند که علت این عامل را می‌توان به حضور تأثیر گونه همراه تثبیت‌کننده نیتروژن (لوبیا چیتی) نسبت داد که نیاز تغذیه‌ای آفتابگردان را فراهم کرده و همچنین حضور گیاه همراه کدو پوست‌کاغذی به دلیل این که توانسته از تنش رطوبتی برای آفتابگردان به دلیل سایه‌اندازی جلوگیری نموده سبب شده تا بیشترین وزن صد دانه مربوط به این تیمارها باشد. علاوه بر این با توجه به این که گیاه آفتابگردان نسبت به دو گیاه دیگر در به دلیل سیستم ریشه‌ای موفق‌تر بوده و توانسته در این ترکیب مخلوط بهتر عمل کرده و وزن صد دانه بالایی را به خود اختصاص دهد. کمترین وزن صد دانه مربوط به تیمار کشت مخلوط سه‌گانه یک ردیفه (H:C:P) می‌باشد که علت کاهش وزن صد دانه را می‌توان به دلیل تشدید رقابت بین گونه‌ای هر سه گونه گیاهی برای تأمین نیاز تغذیه‌ای مربوط دانست. در سال دوم بیشترین و کمترین میزان وزن صد دانه به‌ترتیب مربوط به الگوی کشت مخلوط سه‌گانه دو ردیفه (HH:CC:PP) و مخلوط سه‌گانه یک ردیفه (H:C:P) حاصل شد (جدول ۲). در تحقیقی نصراله‌زاده اصل و طالبی (Nasrulazadeh asl and Talebi, 2016) بر روی ذرت و آفتابگردان عنوان کردند که وزن صد دانه آفتابگردان در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص افزایش یافت.

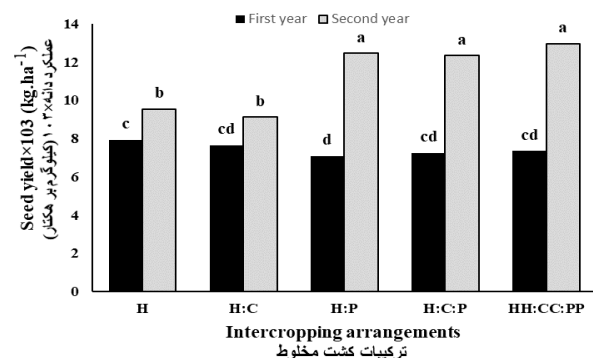
تعداد دانه در هر طبق، وزن دانه در یک طبق و قطر طبق

مقایسه میانگین صفات نشان داد که در سال اول بیشترین تعداد دانه در هر طبق آفتابگردان مربوط به تیمار دوگانه آفتابگردان+ کدو پوست کاغذی (H:C) (۱۱۷۱/۷ دانه در طبق) بود که با تیمار سه‌گانه یک ردیفه (H:C:P) (۱۱۵۶/۴ دانه در طبق) اختلاف معنی‌داری نداشت، ولی این دو تیمار با سایر تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری داشتند و کمترین آن مربوط به تیمار سه‌گانه دو ردیفه (E) (۹۴۷/۵ دانه در طبق) بود. در سال دوم بیشترین و کمترین تعداد دانه در هر طبق به‌ترتیب در تیمار کشت خالص آفتابگردان (H) (۱۰۹۲/۶ دانه در طبق) و کشت دوگانه آفتابگردان+ لوبیا چیتی (H:P) (۷۸۷/۶ دانه در طبق) حاصل گردید (جدول ۲). علت این تفاوت در دو سال را می‌توان به شرایط آب و هوایی متفاوت در دو سال مطالعه مرتبط

کردند که بالاترین عملکرد دانه در کشت خالص مشاهده شد. در سال دوم بیشترین عملکرد دانه در تیمار مخلوط سه‌گانه دو ردیفی (HH:CC:PP) به میزان ۱۲۹۶۲ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که با تیمار مخلوط سه‌گانه یک ردیفه (H:C:P) و مخلوط دوگانه آفتابگردان + لوبیا چیتی (H:P) اختلاف معنی‌داری نداشتند، ولی با تیمار آفتابگردان خالص (H) و مخلوط دوگانه آفتابگردان + کدو پوست کاغذی (H:C) اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۱).



کیلوگرم در هکتار بود. با این‌حال، اگرچه از نظر عملکرد دانه آفتابگردان بین تیمار خالص و بقیه تیمارهای کشت مخلوط اختلاف معنی‌داری مشاهده شد، ولی سایر تیمارها با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۱). نتایج پژوهشی بر روی کشت مخلوط آفتابگردان و لوبیا نشان داد که بیشترین عملکرد دانه آفتابگردان از تیمار خالص به‌دست آمد (Nasrulazadeh *et al.*, 2012). هبت و همکاران (Habte *et al.*, 2016) در بررسی کشت مخلوط ذرت و لوبیا بیان



شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک و دانه آفتابگردان تحت تأثیر ترکیب‌های کشت مخلوط با لوبیا چیتی و کدو پوست‌کاغذی در سال‌های اول و دوم

H: کشت خالص آفتابگردان، (H:C): آفتابگردان + کدو پوست کاغذی، (H:P): آفتابگردان + لوبیا چیتی، (H:C:P): آفتابگردان + کدو پوست کاغذی + لوبیا چیتی (یک ردیفی) و (HH:CC:PP): آفتابگردان + کدو پوست کاغذی + لوبیا چیتی (دو ردیفی)

Figure 1- Mean comparisons for biological yield and seed yield of sunflower affected as intercropping arrangements with common bean and pumpkin in the first and second years

H: Sole cropping of sunflower, (H:C): sunflower+ pumpkin, (H:P): sunflower+ common bean, (H:C:P): sunflower+ pumpkin+ common bean (one row) and (HH:CC:PP): sunflower+ pumpkin+ common bean (two rows)

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter(s) in each figure have not significant difference at 5% probability level based on Duncan's test.

محاسبه شد. در همین راستا مومن کیخا و همکاران (Momen Keykhah *et al.*, 2017) در مطالعه روی کشت مخلوط آفتابگردان با گوار بیان کردند که شاخص برداشت در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی افزایش یافت؛ به‌طوری‌که بیشترین شاخص برداشت در تیمار مخلوط ۷۵ درصد گوار + ۲۵ درصد آفتابگردان به میزان ۲۴/۸۷ درصد و کمترین آن در تیمار خالص آفتابگردان مشاهده شد. محققین دلیل این افزایش را به دلیل تخصیص بیشتر مواد به اندام‌های زایشی در کشت مخلوط نسبت دادند. حمزه‌ئی و بابایی (Hamzei and Babaei, 2016) در کشت مخلوط آفتابگردان با لوبیا نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند.

عملکرد و اجزای عملکرد کدو پوست‌کاغذی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ترکیب‌های مختلف کاشت بر وزن دانه، وزن صد دانه، وزن خشک بوته، تعداد دانه در میوه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت کدو پوست‌کاغذی معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود. درحالی‌که اثر سال در تمامی صفات به‌جز وزن خشک میوه و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$).

در این راستا نتایج مشابهی در بررسی کشت مخلوط آفتابگردان، کدو و لوبیا روی عملکرد گونه‌های همراه گزارش شد (Koocheki *et al.*, 2012). محققین در کشت مخلوط آفتابگردان و گوار بیان کردند که بالاترین عملکرد دانه در کشت مخلوط مشاهده شد (Momen Keykhah *et al.*, 2018) که علت این عامل را می‌توان به همجواری گیاهان در مخلوط نسبت داد که سبب افزایش محصول نسبت به تک‌کشتی شد. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک در سال اول به‌ترتیب مربوط به تیمار مخلوط دوگانه آفتابگردان + کدو پوست کاغذی (H:C) و مخلوط سه‌گانه یک ردیفه (H:C:P) به میزان ۲۶۷۷۲ و ۱۶۰۱۷ کیلوگرم در هکتار بود و در سال دوم بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار آفتابگردان + لوبیا چیتی (H:P) مشاهده شد (شکل ۱).

با بررسی شاخص برداشت آفتابگردان مشاهده شد که این شاخص تحت تأثیر الگوی کشت مخلوط با دو گونه همراه لوبیا چیتی و کدو پوست کاغذی قرار گرفت؛ به‌طوری‌که در هر سال اول و دوم بیشترین شاخص در تیمار سه‌گانه یک ردیفه (H:C:P) و تیمار سه‌گانه دو ردیفه (HH:CC:PP) به‌ترتیب با ۴۵/۷۸ و ۴۴/۲۵ درصد

همچنین نتایج تجزیه واریانس بیانگر این موضوع بود که اثر متقابل سال بر ترکیب کشت مخلوط بر صفات وزن دانه، وزن میوه، وزن خشک بوته، تعداد دانه در میوه، وزن خشک میوه و شاخص برداشت معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود و صفات وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه تحت تأثیر قرار نگرفتند.

وزن دانه، وزن‌تر میوه، وزن خشک بوته، تعداد دانه در میوه، وزن خشک میوه

نتایج مقایسه میانگین اثر ترکیب‌های کشت مخلوط دو گیاه آفتابگردان و لوبیا چیتی بر عملکرد و اجزای عملکرد کدو پوست کاغذی نشان داد که در سال اول بالاترین وزن دانه در میوه مربوط به تیمار مخلوط سه‌گانه دو ردیفه (HH:CC:PP) بود که تنها با تیمار مخلوط دوگانه لوبیا چیتی + کدو پوست کاغذی (H:C) اختلاف معنی‌داری داشت و با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد که علت این اختلاف را می‌توان به سایه‌اندازی آفتابگردان و رقابت با کدو پوست کاغذی و تأثیر منفی این رقابت بر وزن دانه کدو به‌عنوان گیاه همراه مغلوب نسبت داد. در سال دوم بیشترین وزن دانه در میوه کدو پوست کاغذی مربوط به تیمار دوگانه لوبیا چیتی + کدو پوست کاغذی (C:P) به میزان $156/03$ دانه در میوه و کمترین آن مربوط به تیمار سه‌گانه دو ردیفه (HH:CC:PP) با $88/56$ دانه در میوه بود (جدول ۳). علت افزایش وزن دانه در تیمار دوگانه لوبیا چیتی + کدو پوست کاغذی را این‌گونه بیان کرد که حضور این دو گونه در کنار هم به دلیل اثر تسهیلی، ایجاد رابطه همیاری مفید و همچنین سایه‌اندازی بوته‌های لوبیا بر کدو پوست کاغذی به دلیل ساختار رویشی کوچک، سایه‌اندازی بر کدو نداشته و کدو توانسته نور بیشتری را جذب کند. از طرف دیگر، تشدید رقابت بین گونه‌ای سه‌گانه در کشت مخلوط سه‌گونه به‌صورت همراه باعث کاهش وزن دانه در میوه کدو شده است.

نتایج مقایسه میانگین از نظر وزن‌تر میوه کدو پوست کاغذی تحت تأثیر تیمارهای کشت مخلوط با آفتابگردان و لوبیا چشم بلبلی نشان داد در سال اول بیشترین وزن‌تر میوه مربوط به تیمار کدو خالص (C) و تیمار سه‌گانه دو ردیفه (HH:CC:PP) به‌ترتیب با $3/57$ و $3/54$ کیلوگرم در بوته بوده و کمترین وزن میوه در تیمار سه‌گانه یک ردیفه (H:C:P) به میزان $1/59$ کیلوگرم در بوته ثبت شد. در سال دوم نیز مشابه سال اول بیشترین وزن‌تر میوه مربوط به کشت خالص (C) به میزان $2/18$ کیلوگرم در بوته و کمترین میزان را تیمارهای مخلوط دوگانه کدو پوست کاغذی + آفتابگردان (H:C) و دو مخلوط سه‌گانه (H:C:P, HH:CC:PP) به خود اختصاص دادند (جدول ۳). تقریباً نتایج مشابهی در مورد وزن خشک میوه نیز به‌دست آمد. به طوری که بالاترین وزن خشک میوه کدو پوست کاغذی در سال اول در تیمار سه‌گانه دو ردیفه (HH:CC:PP) با $288/9$ گرم در

بوته به‌دست آمد که با سایر تیمارهای اختلاف معنی‌داری داشت و کمترین آن در تیمارهای دوگانه مخلوط کدو پوست کاغذی + لوبیا چیتی و کدو پوست کاغذی + آفتابگردان (C:P, H:C) و کشت خالص (C) مشاهده شد. همچنین در سال دوم بالاترین میزان این صفت مربوط به کشت خالص بود که با تیمار سه‌گانه دو ردیفه (HH:CC:PP) اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین میزان وزن خشک مربوط به تیمار سه‌گانه یک ردیفه (H:C:P) بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد علت بالاتر بودن وزن خشک میوه در این تیمارها به خاطر این مسئله است که در تیمار سه‌گانه دو ردیفه (HH:CC:PP) و خالص (C) رقابت نسبت به سایر تیمارهای دوگانه تخفیف یافته و همچنین به دلیل افزایش فراهمی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و فراهمی رطوبت به‌واسطه سایه‌اندازی بوته‌های کدو بر روی خاک، در نهایت، بوته‌ها انرژی بیشتری را صرف تولید میوه کرده‌اند. از طرف دیگر، علت کاهش وزن خشک در تیمار سه‌گانه یک ردیفه (H:C:P) را می‌توان به بالاتر بودن رقابت بین گونه‌ای مرتبط دانست. از نظر وزن خشک تک بوته در سال اول بیشترین وزن خشک بوته به تیمار کشت خالص (C) (با $231/39$ گرم) اختصاص داشت و کمترین آن در تیمار سه‌گانه یک ردیفه (H:C:P) (با $92/72$ گرم) مشاهده شد. نتایج نشان داد که در سال دوم نیز روندی تقریباً مشابه سال اول به‌دست آمد؛ به طوری که بیشترین وزن خشک مربوط به تیمار دوگانه کدو پوست کاغذی + لوبیا چیتی (C:P) و خالص (C) (به‌ترتیب با $156/66$ و 145 گرم) و کمترین میزان وزن خشک در تیمار سه‌گانه یک ردیفه (H:C:P) (با $72/77$ گرم) حاصل گردید (جدول ۳). علت افزایش وزن خشک بوته در تیمار خالص را می‌توان تأثیر کمتر رقابت درون‌گونه‌ای بر وزن خشک بوته دانست که در این شرایط گیاه به‌راحتی توانسته از شرایط محیطی استفاده بهینه را داشته باشد که در نتیجه موجب افزایش وزن خشک بوته شده است. لازم به ذکر است که در کشت خالص (C) و کشت دوگانه کدو پوست کاغذی + لوبیا چیتی (C:P) به دلیل این‌که گیاه کدو دارای فرم رویشی خزنده بوده و سطح زمین را به‌طور کامل پوشانده است، توانسته تقریباً تمام نور رسیده به سطح زمین را جذب نموده و به تبع آن فتوسنتز بالایی داشته باشد. همچنین تبخیر از سطح زمین به‌واسطه ایجاد پوشش گیاه کدو پوست کاغذی بر سطح خاک به میزان زیادی کاهش یافته و به تبع آن رطوبت مورد نیاز برای جذب عناصر غذایی توسط گیاه فراهم شده و این امر سبب افزایش زیست‌توده در این تیمارها شده است. لذا با توجه به این‌که در ترکیب مخلوط کدو پوست کاغذی با لوبیا چیتی نیتروژن مورد نیاز برای تحریک رشد اندام‌های فتوسنتزکننده به‌طور مناسب‌تری تأمین و در نتیجه فتوسنتز افزایش یافته که در نتیجه افزایش تولید زیست‌توده را موجب شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد کدو پوست کاغذی تحت تأثیر ترکیب‌های کشت مخلوط با آفتابگردان و لوبیا چیتی در دو سال زراعی
Table 3- Mean comparisons for the yield and yield components of pumpkin affected by different intercropping arrangements with common bean and sunflower in two growing

سال Year	وزن دانه در میوه Seed weight per fruit (g)	تعداد دانه در میوه Number of seeds per fruit	وزن تر میوه در بوته Fruit weight per plant (kg)	وزن خشک میوه در بوته Dry weight of fruit per plant (g)	وزن خشک بوته Dry weight of plant (g)	وزن صد دانه 100-seed weight (g)	شاخص برداشت Harvest index (%)
2015-16	111.50 a*	451.07 a	2.66 a	125.22 a	171.38 a	15.10 a	31.29 a
2016-17	50.53 b	318.10 b	1.87 b	119.50 a	113 b	12.59 b	21.96 b
ترکیب‌های کشت مخلوط Intercropping arrangement	C	87.34ab	2.07 a	125.9b	188.2 a	14.40 b	27.47 a
	C:P	107.18a	2.28 abc	96.2 cd	155.02 b	14.55 b	31.95 a
	H:C	68.45b	355.91 c	80.16 d	134.03 b	11.62 c	27.37 a
	H:C:P	67.08 b	346.69 c	1.68 c	106.8 bc	12.25 c	28.17 a
2015-16	HH:CC:PP	75.03 b	335.83 c	2.64 ab	202.69 a	16.40 a	18.17 b
	C	56.76 e	348.41cd	3.57 a	76.90d	15.61 b	26.310 cde
	C:P	58.33e	354.13 cd	2.66 b	98.82d	15.76 b	27.75 cd
	H:C	32.37 g	234.4 e	1.92 cd	65.95 d	13.56 c	20.742 def
سال Year	H:C:P	43.71 e	290.50 de	1.59 d	139.54 c	13.14 c	19.033 ef
	HH:CC:PP	61.50 e	363.06 cd	3.54 a	244.89a	17.45 a	15.999 f
	C	117.93b	471.70b	2.18 bc	174.91 b	13.19 c	28.641 bc
	C:P	156.03a	594.74 a	1.90 cd	93.69 d	13.34 c	36.148 ab
2016-17	H:C	104.53c	477.43b	1.75 cd	94.36 d	9.68 e	34.012 abc
	H:C:P	90.44d	402.89bc	1.76 cd	74.05 d	11.36 d	37.312a
	HH:CC:PP	88.56d	308.59 cde	1.72 cd	160.49 bc	15.36 b	20.339 def

لو): کشت خلص کدو پوست کاغذی، (C:P): لوبیا چیتی + کدو پوست کاغذی، (H:C): کدو پوست کاغذی + آفتابگردان، (H:C:P): آفتابگردان + کدو پوست کاغذی + لوبیا چیتی (یک ردیفی) و (HH:CC:PP): آفتابگردان + کدو پوست کاغذی + لوبیا چیتی (دو ردیفی)

C: Sole cropping of pumpkin, (C:P): common bean + pumpkin, (H:C): sunflower, (H:C:P): sunflower+ pumpkin+ common bean (one row) and (HH:CC:PP): sunflower+ pumpkin+ common bean (two rows)

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر جزء، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means with the same letter(s) in each column and each component have no significant difference at 5% probability level based on Duncan's test.

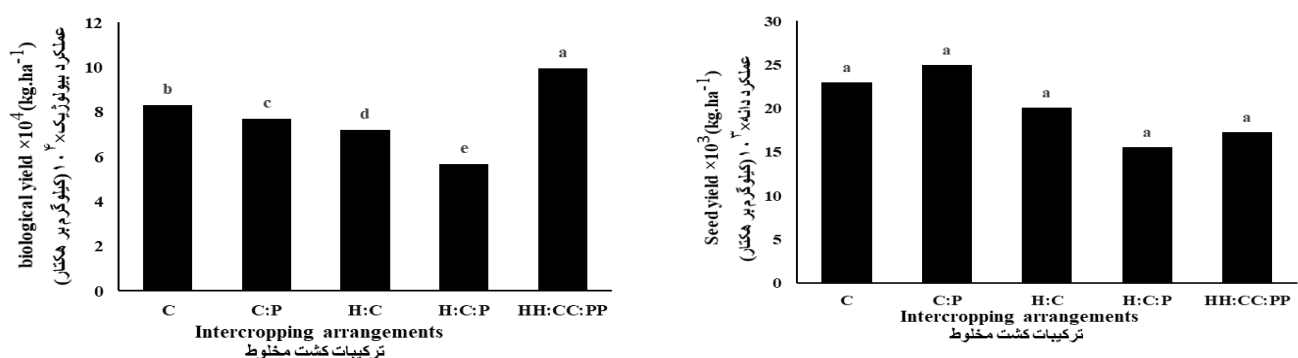
تیمارهای مختلف خاک‌ورزی با گیاه پوششی گزارش شد که بیشترین تعداد دانه در میوه کدو پوست کاغذی با ۳۴۸ دانه مشاهده شد که علت این تعداد بالای دانه به تأمین نیاز تغذیه‌ای گیاه نسبت داده شده که از طریق افزایش رشد گیاه باعث افزایش تعداد دانه در میوه شده است (Esfandiyari Ekhlas *et al.*, 2018).

در سال‌های اول و دوم بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط با لوبیا چیتی و آفتابگردان از لحاظ شاخص برداشت کدو پوست کاغذی اختلاف معنی‌داری مشاهده شد؛ به‌این‌ترتیب بالاترین میزان شاخص برداشت به تیمار دوگانه کدو پوست کاغذی+ لوبیا چیتی (C:P) و تیمار سه‌گانه یک ردیفه (HH:CC:PP) اختصاص داشت (جدول ۳). نتایج بررسی بر روی کشت مخلوط لوبیا چیتی و کدو پوست کاغذی حاکی از برتری کشت مخلوط نسبت به خالص بود (Rushdi *et al.*, 2012).

عملکرد دانه و بیولوژیک

بیشترین عملکرد بیولوژیک و دانه کدو پوست کاغذی به‌ترتیب برای تیمارهای سه‌گانه دو ردیفه (HH:CC:PP) و دوگانه (C:P) (به‌ترتیب با ۹۹۵۴/۶۴ و ۲۵۰۱/۴ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار برای هر دو صفت، برای تیمار سه‌گانه یک ردیفه (H:C:P) (به‌ترتیب با ۵۶۶۰۵ و ۱۵۵۶ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (شکل ۲). از نظر عملکرد دانه بین تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، درحالی‌که در عملکرد بیولوژیک بین تمام تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۲).

در سال اول بالاترین تعداد دانه در میوه کدو پوست کاغذی مربوط به تیمار سه‌گانه دو ردیفه (HH:CC:PP) (با ۳۶۳/۰۶ دانه در میوه) حاصل گردید که با تیمارهای مخلوط سه‌گانه یک ردیفه (H:C:P)، دوگانه کدو پوست کاغذی+ لوبیا چیتی (C:P) و خالص کدو پوست کاغذی (C) اختلاف معنی‌دار نداشت و کمترین آن مربوط به تیمار دوگانه کدو پوست کاغذی+ آفتابگردان (H:C) (به میزان ۲۳۴/۴ دانه در میوه) بود. در سال دوم بالاترین تعداد دانه در تیمار دوگانه کدو پوست کاغذی+ لوبیا چیتی (C:P) (به میزان ۵۹۴/۷۴ دانه در میوه) به‌دست آمد که با تمام تیمارهای مخلوط اختلاف معنی‌داری داشته و کمترین آن مربوط به تیمار سه‌گانه دو ردیفه (HH:CC:PP) (به میزان ۳۰۸/۵۹ دانه در میوه) بود (جدول ۳). با توجه به یافته‌های پژوهش می‌توان گفت که بالاترین تعداد دانه در تیمارهایی به‌دست آمد که لوبیا چیتی در آن به‌عنوان گیاه همراه حضور داشته است که در نتیجه دلیل آن را می‌توان این‌گونه بیان کرد که همراهی سه‌گونه کدو و آفتابگردان علاوه بر برداشت نیتروژن خاک، موجب تحریک تثبیت بیولوژیکی نیتروژن شده است که این امر می‌تواند علاوه بر بهبود کارایی مصرف نیتروژن، موجب بهبود بهره‌وری مصرف افزایش کارایی مصرف سایر منابع از جمله آب و نور را به دنبال داشته باشد. نتایج آزمایش مرادی مرجانه و همکاران (Moradi Marjaneh *et al.*, 2014) نیز نشان داد که بیشترین تعداد دانه در میوه در شرایط مصرف ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۴۶۶ دانه در میوه به‌دست آمد. در نتیجه به نظر می‌رسد علت این امر مربوط به نیاز این گیاه به فراهمی نیتروژن باشد که در شرایط مصرف این عنصر پرمصرف، رشد و به تبع آن تعداد دانه افزایش یافته است. در مطالعه‌ای تحت



شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک و دانه کدو پوست کاغذی تحت تأثیر ترکیب‌های کشت مخلوط با لوبیا چیتی و آفتابگردان

C: کشت خالص کدو پوست کاغذی، (C:P): لوبیا چیتی+ کدو پوست کاغذی، (H:C): کدو پوست کاغذی+ آفتابگردان، (H:C:P): آفتابگردان+ کدو پوست کاغذی+ لوبیا چیتی (یک ردیفی) و (HH:CC:PP): آفتابگردان+ کدو پوست کاغذی+ لوبیا چیتی (دو ردیفی)

Figure 2- Mean comparisons for biological yield and seed yield of pumpkin affected by intercropping arrangements with common bean and sunflower

C: Sole cropping of pumpkin, (C:P): common bean + pumpkin, (H:C): pumpkin+ sunflower, (H:C:P): sunflower+ pumpkin+ common bean (one row) and (HH:CC:PP): sunflower+ pumpkin+ common bean (two rows)

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر جزء، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter(s) in each column and each component have not significant difference at 5% probability level based on Duncan's test

عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چیتی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط با دو گونه آفتابگردان و کدو پوست کاغذی بر صفات ارتفاع بوته، تعداد نیام در هر بوته، تعداد دانه در نیام، تعداد شاخه جانبی در بوته، وزن خشک بوته، وزن نیام در بوته، وزن دانه در بوته، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت لوبیا چیتی معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود. همچنین نتایج نشان داد که اثر سال در تیمار کشت مخلوط فقط بر صفت وزن نیام در بوته، وزن دانه در بوته، عملکرد دانه و شاخص برداشت لوبیا چیتی معنی‌دار ($p \leq 0.05$) شد.

با توجه به این که تعداد دانه در میوه، وزن دانه در میوه و وزن میوه کدو پوست کاغذی در تیمارهای فوق بالاترین میزان را به خود اختصاص داده بودند و با در نظر گرفتن این مطلب که عملکرد دانه با این صفات همبستگی مثبتی دارد؛ بنابراین بالا بودن مقدار این صفات در تمام تیمارهای کشت مخلوط کدو پوست کاغذی در مورد عملکرد دانه نیز صدق می‌کند. نتایج یافته‌های محققین نشان داد که بین تیمارهای کشت خالص و مخلوط ارقام لوبیا با ذرت از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری که در تیمارهای خالص عملکرد دانه بیشتر از مخلوط بود که علت این امر را رقابت درون‌گونه‌ای ذکر شده است (Dabbagh Mohammadi Nasab et al., 2015).

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چیتی تحت تأثیر ترکیب‌های کشت مخلوط با آفتابگردان و کدو پوست کاغذی در دو سال زراعی

Table 4- Mean comparisons for the yield and yield components of common bean affected by different intercropping arrangements with pumpkin and sunflower in two grow											
سال	Year	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد نیام Number of pods per plant	نیام Number of seeds per pod	تعداد شاخه جانبی Number of branches per plant	تعداد خشک Dry weight of plant (g)	وزن نیام در بوته Pod weight per plant (g)	وزن دانه در بوته Seed weight per plant (g)	وزن صد دانه 100- seed weight (g)	شاخص برداشت Harvest index (%)	
تجزیه‌های کشت مخلوط	2015-16	104.86a*	16.81a	4.013a	3.72a	23.44a	40.26a	31.13a	35.35a	63.70a	
	2016-17	97.73a	16.50a	3.82a	3.64	14.40b	31.5b	24.84b	31.06b	55.84b	
	P	122.66a	38.03a	4 ab	4.9a	37.72a	86.24a	70.64a	41.06a	64.19a	
	H.P	91.50bc	17.06b	4.7 a	4.06b	17.48b	33.22b	35.50b	35.91b	74.16a	
Intercropping arrangement	C.P	85.83c	8.43d	3.06c	2.7c	14.27bc	19.88c	16.66c	35.15b	65.96a	
	H.C.P	93.33bc	7.4d	4.06ab	2.8c	11.36c	15.94c	9.19d	32.07b	58.94ab	
	HH.CC.PP	113.16ab	12.30c	3.7bc	3.8b	13.79bc	24.29b	8.03d	21.83c	35.59b	
	P	120 ab	37.73 a	4.1 bc	4.7 ab	33.08 b	71.29 b	80.52 a	43.16 a	67.41 abc	
2015-16	H.P	93 bcd	17.80 b	4.8 a	4.1 bc	10.96efg	30.90 c	35.12 c	36.53 bcd	65.87 abcd	
	C.P	88.67 cd	9.20 fe	3.2 de	2.6 d	7.50 g	19.65 d	20.72 d	36.93 bc	55.45ab	
	H.C.P	105.67 abcd	8.40 fe	4.2 bc	2.8 d	8.38 fg	17.87 d	10.50e	39.67 b	65.29 abcd	
	HH.CC.PP	117 abc	10.93de	3.6 cd	3.8 c	12.09efg	18.13 d	8.80e	20.45 f	47.32 d	
سال	Year	125.33 a	38.33a	3.8 c	5.06 a	42.37 a	101.19 a	60.77 b	38.96 b	60.98 bcd	
	H.P	90 bcd	16.33 bc	4.6 ab	4 bc	24 b	35.54 c	35.89 c	35.30cd	62.45 a	
	C.P	83 d	7.66 fe	2.8 e	2.8 d	21.03 cd	20.11 d	12.60e	32.37 d	59.31 bcd	
	H.C.P	81 d	6.5 f	3.9 c	2.8 d	14.33 ef	14.02 d	7.89e	24.46 e	52.59 cd	
		109.33 abcd	13.66 cd	3.8 c	3.8 c	15.49 de	30.46 c	7.25e	23.20 ef	23.87e	

P: Sole cropping of common bean, (H.P): sunflower+ common bean, (C.P): pumpkin+ common bean, (H.C.P): sunflower+ pumpkin+ common bean (one row) and (HH.CC.PP): sunflower+ pumpkin+ common bean (two rows)

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر جزء بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means with the same letter(s) in each column and each component have not significant difference at 5% probability level based on Duncan's test.

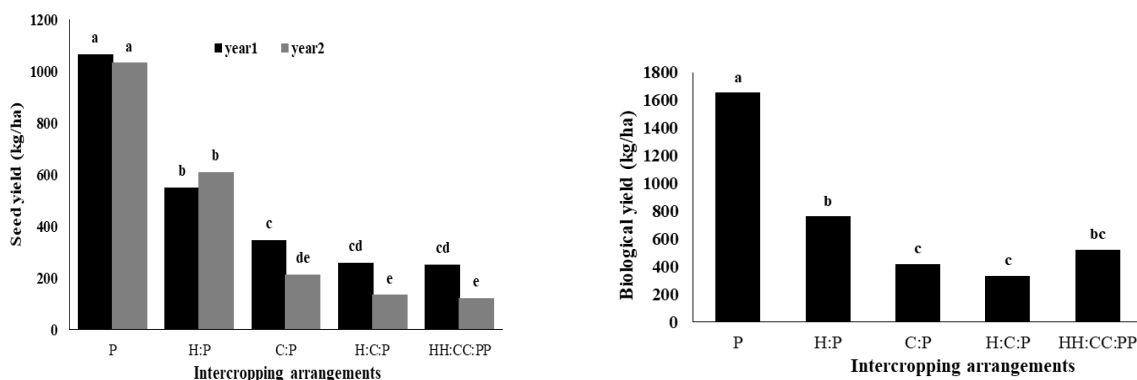
وزن نیام در بوته، وزن دانه در بوته و وزن صد دانه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که از نظر وزن نیام در بوته و وزن دانه در بوته لوبیا چیتی در سال اول بین تیمارهای کشت مخلوط با آفتابگردان و کدو پوست کاغذی اختلاف معنی‌دار وجود داشت، به‌طوری‌که بیشترین وزن نیام در بوته را تیمار خالص (P) (۷۱/۲۹ گرم در بوته) و پس از آن تیمار دوگانه لوبیا چیتی + آفتابگردان (H:P) (۳۰/۹ گرم در بوته) به خود اختصاص دادند و بین تیمارهای دوگانه لوبیا چیتی + کدو پوست کاغذی (C:P) و سه‌گانه یک ردیفه و دو ردیفه (H:C:P, HH:CC:PP) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، ولی این تیمارها با کشت خالص (P) اختلاف داشتند. در سال دوم نیز مشابه سال اول بیشترین وزن نیام مربوط به تیمار خالص (P) به میزان ۱۰۱/۱۹ گرم در بوته به‌دست آمد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشتند. همچنین نتایج مشابهی برای وزن دانه در بوته و وزن صد دانه مشاهده شد. به‌گونه‌ای که در سال‌های اول و دوم مطالعه بیشترین وزن دانه در بوته (به‌ترتیب با ۸۰/۵۲ و ۶۰/۷۷ گرم در بوته) و وزن صد دانه (به‌ترتیب با ۴۳/۱۶ و ۳۸/۹۶ گرم) نیز در کشت خالص (P) مشاهده شد (جدول ۴). در تحقیقی بر روی کشت مخلوط ذرت و لوبیا مشاهده شد که بالاترین وزن ۱۰۰۰ دانه لوبیا مربوط به تیمار خالص بود (Habte et al., 2016). محققین دلیل کاهش وزن نیام در بوته، وزن دانه در بوته و وزن صد دانه در کشت مخلوط نسبت به خالص را به بالاتر بودن رقابت برون گونه‌ای بین گیاهان ذرت و لوبیا با یکدیگر نسبت دادند. همچنین در تیمار مخلوط دو گانه لوبیا چیتی و آفتابگردان به‌این‌علت که آفتابگردان با سایه‌اندازی بر لوبیا چیتی غلبه کرده و از رشد آن می‌کاهد موجب

کاهش اجزای عملکرد در مقایسه با سایر تیمارهای مخلوط شده است. از سوی دیگر، وجود کدو پوست کاغذی با فرم رویشی خزنده در ترکیب‌های مخلوط باعث شده سطح خاک به‌طور کامل پوشش داده شده که این امر به دلیل سایه‌اندازی سبب جلوگیری از رشد مطلوب بوته‌های لوبیا چیتی و احتمالاً تا حدودی ایجاد خفگی شده و در نهایت، کاهش اجزای عملکرد لوبیا چیتی در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به خالص را به دنبال داشته است. با این‌وجود، محققان بر این باورند که کشت مخلوط با ایجاد تعادل اکولوژیک موجب پوشش مناسب‌تر زمین در مقایسه با تک‌کشتی شده و می‌تواند علاوه بر کنترل علف‌های هرز، حفظ بهتر رطوبت و کاهش دمای کانوبی و خاک را ایجاد کرده و همچنین از تنش‌های محیطی بر گونه‌های مخلوط بکاهد و یا از تأثیر آن جلوگیری کند (Nakhzari et al., 2016; Lamei Harvani, 2013; Eskandari and Alizadeh-Amraei, 2015).

عملکرد دانه، بیولوژیک و شاخص برداشت

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد دانه لوبیا چیتی در سال‌های اول و دوم به‌ترتیب مربوط به تیمار خالص (P) (با ۱۰۶۵ و ۱۰۳۳ کیلوگرم در هکتار) و مخلوط سه‌گانه (HH:CC:PP) (با ۲۵۱ و ۱۲۳ کیلوگرم در هکتار) بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشتند (شکل ۳). بالاترین عملکرد بیولوژیک لوبیا چیتی مربوط به تیمار کشت خالص (P) (۱۶۵۴ کیلوگرم در هکتار) بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک (میانگین دو سال) و دانه (در سال‌های اول و دوم) لوبیا چیتی تحت تأثیر ترکیب‌های کشت مخلوط با کدو پوست کاغذی و آفتابگردان

P: کشت خالص لوبیا چیتی، (H:P) آفتابگردان + لوبیا چیتی، (C:P) کدو پوست کاغذی + لوبیا چیتی، (H:C:P) آفتابگردان + کدو پوست کاغذی + لوبیا چیتی (یک ردیفی) و (HH:CC:PP) آفتابگردان + کدو پوست کاغذی + لوبیا چیتی (دو ردیفی)

Figure 3- Mean comparisons for biological yield (mean of two years) and seed yield (for the first and second years) of common bean affected as intercropping arrangements with pumpkin and sunflower

P: Sole cropping of common bean, (H:P): sunflower+ common bean, (C:P): pumpkin+ common bean, (H:C:P): sunflower+ pumpkin+ common bean (one row) and (HH:CC:PP): sunflower+ pumpkin+ common bean (two rows)

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

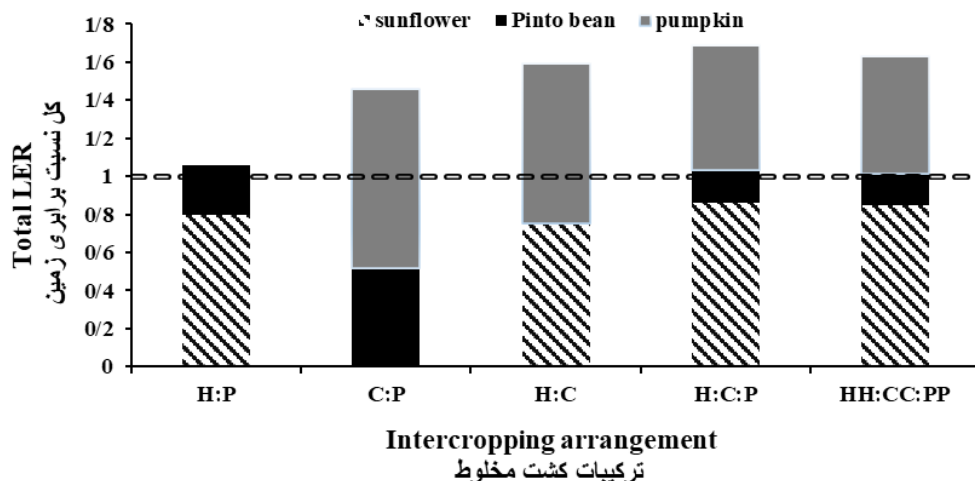
Means with the same letter(s) in each figure have not significant difference at 5% probability level based on Duncan's test.

بررسی شاخص برداشت لوبیا چیتی نشان داد که بیشترین میزان این صفت در سال اول در تیمار دوگانه آفتابگردان+ لوبیا چیتی (H:P) به دست آمد که با تیمارهای دوگانه لوبیا چیتی+ کدو پوست کاغذی (C:P)، خالص (P) و سه گانه یک ردیفه (H:C:P) اختلاف معنی داری مشاهده نشد و کمترین آن در تیمار سه گانه دو ردیفه (HH:CC:PP) به دست آمد. در سال دوم نیز بیشترین مقدار این شاخص مربوط به تیمار دوگانه آفتابگردان+ لوبیا چیتی (H:P) و کمترین آن مربوط به تیمار سه گانه دو ردیفه (HH:CC:PP) بود (جدول ۴). نتیجه تأثیرپذیری شاخص برداشت لوبیا نسبت به نسبت های مختلف کشت مخلوط جایگزینی با کجند با یافته های این پژوهش همخوانی دارد.

نسبت برابری زمین

در شکل ۴ نسبت برابری زمین جزئی و کل سه گونه آفتابگردان، کدو پوست کاغذی و لوبیا چیتی در ترکیب های دوگانه و سه گانه کشت مخلوط ارائه شده است.

نتایج یافته های کوچکی و همکاران (Koocheki *et al.*, 2014) نشان داد که در کشت مخلوط سه گیاه سیاهدانه، نخود و لوبیا عملکرد دانه هر سه گیاه تحت تأثیر کشت مخلوط قرار گرفت و بالاترین عملکرد دانه در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط مشاهده شد. همچنین در پژوهشی دیگر، هیت و همکاران (Habte *et al.*, 2016) بیان کردند که بالاترین عملکرد دانه ذرت را تیمار خالص دارا بود. گبرو (Gebbru, 2015) اعلام نمود که بالاتر بودن عملکرد در تیمار خالص می تواند مربوط به این واقعیت باشد که گیاه در تک کشتی به دلیل انتخاب تراکم مناسب و کاهش سهم رقابت بین گونه ای در دریافت منابع آب و نور و عناصر غذایی موفق تر بوده و همچنین به دلیل تراکم بالاتر در تک کشتی در نهایت، عملکرد بالاتری را در مقایسه با ترکیب های کشت مخلوط به خود اختصاص داده است. نتایج پژوهشی در کشت مخلوط آفتابگردان و لوبیا، نیز نشان داد که بالاترین عملکرد بیولوژیک را تیمار خالص لوبیا دارا بود (Hamzeh and Babaei, 2016).



شکل ۴- نسبت برابری زمین جزئی و کل در ترکیب های کشت مخلوط آفتابگردان، کدو پوست کاغذی و لوبیا چیتی

H:P: آفتابگردان+لوبیا چیتی، C:P: لوبیا چیتی+ کدو پوست کاغذی، H:C: آفتابگردان+کدو پوست کاغذی، H:C:P: آفتابگردان+ کدو پوست کاغذی+ لوبیا چیتی (یک ردیفی) و HH:CC:PP: آفتابگردان+ کدو پوست کاغذی+ لوبیا چیتی (دو ردیفی)
(خط نقطه چین نشان دهنده نسبت برابری زمین یک است.)

Figure 4- Partial and total land equivalent ratio for different arrangements of intercropped sunflower with pumpkin and common bean

H:P: sunflower+ common bean, C:P: common bean + pumpkin, H:C: sunflower+ pumpkin, H:C:P: sunflower+ pumpkin+ common bean (one row) and HH:CC:PP: sunflower+ pumpkin+ common bean (two rows)
(Dotted line indicates LER=one.)

دوگانه آفتابگردان+ کدو پوست کاغذی (۱/۵۹)، آفتابگردان+ لوبیا چیتی (۱/۰۵) و کدو پوست کاغذی+ لوبیا چیتی (۱/۴۶) محاسبه گردید. در بین کشت های دوگانه، نسبت برابری زمین در مخلوط آفتابگردان+ کدو بالاتر از دو مخلوط دوگانه دیگر بود و کمترین

نتایج آزمایش نشان داد که نسبت برابری زمین در تمامی تیمارهای کشت مخلوط دوگانه و سه گانه یک ردیفه و دو ردیفه سه گونه آفتابگردان، کدو پوست کاغذی و لوبیا چیتی بیشتر از ۱ به دست آمد و در مخلوط های سه گانه یک ردیفه (H:C:P) و دو ردیفه (HH:CC:PP) (به ترتیب با ۱/۶۹ و ۱/۶۲) بالاتر از مخلوط های

(Moradi et al., 2016). به‌طور کلی، محققان (Nakhzari Moghadam et al., 2016; Lamei Harvani, 2013; Amraei, et al., 2014; Koocheki et al., 2016; Koocheki et al., 2014) تأکید دارند که کشت مخلوط با ایجاد تعادل اکولوژیک موجب پوشش مناسب‌تر زمین در مقایسه با تک‌کشتی شده که علاوه بر بهبود کارایی مصرف منابع، کنترل علف‌های هرز، حفظ بهتر رطوبت و کاهش دمای کانوپی و دمای سطح خاک و همچنین از بروز تنش‌های محیطی جلوگیری می‌کند و در نهایت، از طریق تأثیر مثبت بر رشد و عملکرد بهبود نسبت برابری زمین را به دنبال دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در کدو (۲۵۰۱ کیلوگرم در هکتار) و آفتابگردان (۱۰۱۵۸ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب مربوط به تیمارهای مخلوط دوگانه لوبیا چیتی + کدو پوست کاغذی (C:P) و سه‌گانه دو ردیفه (HH:CC:PP) و تنها بالاترین عملکرد لوبیا بود که مربوط به تیمار خالص (P) به‌دست آمد. بر اساس یافته‌های پژوهش برتری کشت مخلوط را نسبت به تک‌کشتی نشان داد. در تیمارهای مختلف سه‌گانه زراعی آفتابگردان، کدو پوست کاغذی و لوبیا چیتی، کانوپی غالب را آفتابگردان و پس از آن کدو به خود اختصاص داد و این عامل به‌واسطه ارتفاع بلندتر آفتابگردان و فرم رویشی خوابیده و گسترش افقی گیاه کدو پوست کاغذی بر سطح خاک سبب استفاده بهتر از منابع به‌ویژه نور شد که موجب گردید کدو نور عبوری از بالای کانوپی آفتابگردان را جذب کند و تأثیر مثبتی در جلوگیری از تلفات نور داشته باشد. حضور گیاه کدو در کف کانوپی این سه‌گونه همراه همچنین موجب حفظ رطوبت و کاهش رشد علف‌های هرز گردید. نتایج آزمایش حاکی از آن است که نسبت برابری زمین در کشت‌های سه‌گانه بالاتر از کشت‌های دوگانه و در کل برتری ترکیب‌های کشت مخلوط این سه‌گونه در مقایسه با تک‌کشتی می‌باشد که این اثر مثبت و برتری کشت مخلوط را نسبت به تک‌کشتی اعلام می‌نماید.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهش طرح شماره ۴۰۹۸۲ مصوب ۱۳۹۵/۰۳/۰۹ معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

نسبت برابری زمین را تیمار مخلوط آفتابگردان + لوبیا چیتی به خود اختصاص داد (شکل ۴).

با مقایسه نسبت برابری زمین جزئی گونه‌های همراه در ترکیب‌های دوگانه و سه‌گانه در کشت مخلوط نتیجه گرفته شد که در ترکیب‌های دوگانه آفتابگردان + لوبیا چیتی، گونه آفتابگردان، در تیمار کدو پوست کاغذی + لوبیا چیتی، گونه کدو پوست کاغذی، در ترکیب آفتابگردان + کدو پوست کاغذی، گونه کدو پوست کاغذی، در ترکیب‌های سه‌گانه یک ردیفی و دو ردیفی، گونه آفتابگردان تأثیر مثبت‌تری از حضور گونه(های) همراه پذیرفته است (شکل ۴). از آنجا که نسبت برابری زمین جزئی بیانگر اثر متقابل گیاهان همراه بر یکدیگر و تأثیرپذیری هر یک از آن‌ها در مخلوط می‌باشد، به نظر می‌رسد حضور لوبیا چیتی در کشت مخلوط از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و فراهمی این عنصر ضروری برای رشد بوته تأثیر مثبتی بر حضور گونه‌های همراه در ترکیب‌های مختلف داشته است. بالاترین نسبت برابری زمین جزئی در تمامی ترکیب‌های کشت مخلوط برای آفتابگردان محاسبه گردید که دلیل این امر احتمالاً مربوط به غالب بودن کانوپی این گیاه و بهره‌گیری بهتر این‌گونه نسبت به دو گونه دیگر در ترکیب‌های کشت مخلوط می‌باشد. بالاتر بودن نسبت برابری زمین در تمامی ترکیب‌های دوگانه و سه‌گانه کشت مخلوط بیانگر اثر مثبت همراهی این گونه‌ها در کشت مخلوط می‌باشد.

در مطالعه‌ای کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2013) با بررسی چهار ترکیب کشت مخلوط تأخیری گندم و ذرت اعلام نمودند که نسبت برابری زمین برای کارایی جذب نیتروژن در تمام کشت‌های مخلوط تأخیری بالاتر از یک (۱/۴۹-۲) بود. در پژوهشی دیگر روی کشت مخلوط ذرت و لوبیا مشخص شد که بالاترین نسبت برابری زمین مربوط به تیمار مخلوط ذرت + ۷۵٪ لوبیا با ۱/۴۲ بود (Habte et al., 2016). نتایج مطالعه‌ای دیگر نشان داد که نسبت برابری زمین بیشتر از یک بوده و بالاترین نسبت برابری زمین در تیمار مخلوط یک ردیف گیاه زراعی + یک ردیف سیاهدانه با ۱/۵۲ مشاهده شده است (Koocheki et al., 2014). نتایج پژوهش کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2016) نشان داد که بالاترین نسبت برابری زمین بر اساس عملکرد دانه در کشت مخلوط آفتابگردان، کدو و لوبیا مربوط به تیمار مخلوط ردیفی سه‌گونه با ۱/۳۴ بود. همچنین در پژوهشی دیگر، گزارش شد که بیشترین نسبت برابری زمین در کشت سه‌گانه ذرت، لوبیا چیتی و کدو پوست کاغذی با ۲/۱ مشاهده شد.

References

1. Amini, R., Dabbag Mohammadi Nassab, A., and Shamayeli, M. 2014. The relative yield and relative benefits of sunflower intercropping in different patterns with soybeans and corn. *Agricultural Ecology* 6 (3): 529-541. (in Persian with English abstract).
2. Dabagh Mohammadi Nasab, A., Amini, R., and Tamri, E. 2015. Evaluation of intercropping of maize (*Zea mays* L.) and three varieties of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) with the use of biological and chemical fertilizers. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 25 (1): 99-113. (in Persian with English abstract).

3. Esfandiary Ekhlas, E., Nael, M., and Hamzei, J. 2018. The effect of integrated management of conservation tillage and *Lathyrus sativus* cover cropping on *Cucurbita pepo* yield and selected soil quality indicators. Iranian Journal of Field Crops Research 16 (2): 421-434. (in Persian with English abstract).
4. Gebru, H. 2015. A review on the comparative advantage of intercropping systems. International Knowledge sharing Platform 5 (7): 1-14.
5. Gliessman, S. R. 1998. Agroecology: Ecological Process in Sustainable Agriculture. Ann Arbor Press Michigan. 252 pp.
6. Habte, A., Kassa, M., and Sisay, A. 2016. Maize (*Zea mays* L.)- common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping response to population density of component crop in Wolaita Zone Southern Ethiopia. Journal of Natural Sciences Research 6 (15): 69-74.
7. Hamzei, J., and Babai, M. 2016. Study of qualitative and quantitative performance and LER sunflower (*Helianthus annuus* L.) the series intercropping beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agroecology Research 8 (4): 490-504. (in Persian with English abstract).
8. Ijoyah, M. O., Ogar, A. O., and Ojo, G. O. S. 2013. Soybean-maize intercropping on yield and system productivity in Makurdi, Central Nigeria. Scientific Journal of Science 2: 49-55.
9. IPES-Food. 2016. From Uniformity to Diversity: A Paradigm Shift from Industrial Agriculture to Diversified Agroecological Systems. International Panel of Experts on Sustainable Food Systems (IPES-Food), Brussels.
10. Keykha, M. M., Khammari, I., Dahmardeh, M., and Forouzandeh, M. 2018. Assessing yield and physiological aspects of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) intercropping under different levels of nitrogen. Journal of Agroecology 9 (4): 1050-1069. (in Persian with English abstract).
11. Khatamipour, M., Asgharipour, M. R., and Sirousmehr, A. 2014. Intercropping benefits of foxtail millet (*Setaria italica*) with mungbean (*Vignaradiata*) as influenced by application of different manure levels. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 24 (3): 75-86. (in Persian with English abstract).
12. Khoramivafa, M., Eftekharinasab, N., Nemati, A., Sayadian, K., and Najafi, A. 2011. Economic evaluation of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. var. Styriac)/ chickpea-lentil intercropping system associated with several nitrogen levels. Journal of Daneshvar 3 (5): 53-62. (in Persian with English abstract).
13. Momen Keykha, M., Khammari, I., Dahmardeh, M., and Forouzandeh, M. 2018. Assessing yield and physiological aspects of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) intercropping under different levels of nitrogen. Agroecology 9 (4): 1050-1069. (in Persian with English abstract).
14. Koocheki, A., Fallahpoor, F., and Amin Ghafori, A. 2013. Determining the best width of strip in row intercropping of sesame and linen and its effect on yield, yield components and weed density. Journal of Agroecology. (in Persian with English abstract).
15. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Borumand Rezazadeh, Z., Jahani, M., and Jafari, L. 2014. Yield responses of black cumin (*Nigella sativa* L.) to intercropping with chickpea (*Cicer arietinum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 12 (1): 1-8. (in Persian with English abstract).
16. Koocheki, A., Nassiri, M., and Jahan, M. 2010. Radiation absorption and use efficiency in relay intercropping and double cropping of winter wheat and maize. Iranian Journal of Field Crops Research 6 (1): 127-137. (in Persian with English abstract).
17. Koocheki, A., Norbakhsh, F., and Cheshmi, M. 2017. Assessment of yield and use efficiency of nitrogen and phosphorus in row intercropping of wheat and canola. Iranian Journal of Field Crops Research 15 (3): 559-574. (in Persian with English abstract).
18. Koocheki, A., Zarghani, H., and Norooziyan, A. 2016. Comparison of yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.), sesame (*Sesamum indicum* L.) and red bean (*Phaseolus calcaratus*) under different intercropping arrangements. Iranian Journal of Field Crops Research 14 (2): 226-243. (in Persian with English abstract).
19. Lamei Harvani, J. 2013. Assessment of dry forage and crude protein yields, competition and advantage indices in mixed cropping of annual forage legume crops and barley in rainfed conditions of Zanjan province in Iran. Seed and Plant Production 29: 169-183. (in Persian with English abstract).
20. Moradi, P., Asghari, J., Mohsen Abadi, G. R., and Samiezadeh, H. A. 2015. The role of triple cultures in weed control and yield of pumpkin seeds (*Cucurbita pepo* L.). Knowledge of Sustainable Agricultural Production 24 (4): 17-31. (in Persian with English abstract).
21. Morales, R. E. J., Escalante, E. J. A., Sosa, C. L., and Volke, H. V. H. 2009. Biomass, yield and land equivalent ratio of *Helianthus annuus* L. in sole crop and intercropped with *Phaseolus vulgaris* L. in high valleys of Mexico. Tropical and Subtropical Agroecosystems 10: 431-439.
22. Nakhzari Moghaddam, A., Dehghanpoor Incheboroon, O., and Rahemi Karizaki, A. 2016. The effect of nitrogen levels and different ratios of replacement intercropping series on forage yield and competition indices of barley and green pea. Electronical Journal of Crop Production 1: 199-214. (in Persian with English abstract).

23. Nasrollahzadeh Asl, A., and Talebi, M. 2017. Evaluation of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) and maize (*Zea mays* L.) cultivars by replacement method in Khoy area. Plant Ecophysiology 8 (27): 204-215. (in Persian with English abstract).
24. Nasrollahzadeh Asl, A., Chavoshgoli, A., Valizadegan, E., Valiloo, R., and Nasrollahzadeh Asl, V. 2012. Evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping based on additive method. Agricultural Science and Sustainable Production 22 (2): 79-90. (in Persian with English abstract).
25. Nurbakhsh, F., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2015. Evaluation of yield, yield components and different intercropping indices in mixed and row intercropping of sesame (*Sesamum indicum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Iranian Journal of Pulses Research 6 (2): 73-86. (in Persian with English abstract).
26. Raseduzzaman, M., and Jensen, E. S. 2017. Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis. European Journal of Agronomy 91: 25-33.
27. Rezaei-Chiyaneh, E., Khorramdel, S., and Garachali, P. 2015. Evaluation of relay intercropping of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) on their yield and land use efficiency. Journal of Agricultural Crops Production 17 (1): 183-196. (in Persian with English abstract).
28. Rushdi, M., Reza dost, S., and Khalili Mohaleh, J. 2012. Effect of nitrogen fertilizer on yield and yield components of pumpkin in intercropping with pinto bean. Journal of Agricultural Research 4 (3): 279-292. (in Persian with English abstract).
29. Tajebe, L., Anjulo, A., and Ewnetu, Z. 2013. Apple based agroforestry in Dendi Woreda, Oromiya Region: Income contribution and determinants for adoption. Ethiopian Journal of Agricultural Sciences 23 (1-2): 61-73.



Effect of Different Arrangements of Intercropping for Sunflower (*Helianthus annus* L.), Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) on Yield and Yield Components

A. Koocheki^{1*}, M. Nassiri Mahallati¹, M. Hooshmand², S. Khorramdel³

Received: 22-11-2018

Accepted: 23-01-2019

Introduction

Intercropping is an old agricultural practice which is growing of multiple crop species at the same time in the same place. Traditionally, intercropping has been used to increase crop production and the efficiency of the resource as well mitigate any possible risk. Intercropping has been shown to decrease the risk of crop failure by increasing the crop yield stability over time. Intercropping creates biodiversity in the cropping systems, and it is considered to make the systems more resilient against environmental perturbations, thus enhancing food security. Land equivalent ratio (LER) is often conceded as an indicator to determine the efficacy of intercropping that measure the land productivity. LER may be interpreted as the relative area required by sole crops to produce the same yields as achieved in a unit area of intercrop. The objective of the present work was to evaluate the effect of row intercropping of three plant species such as sunflower, pumpkin and common bean on the yield, yield components and land equivalent ratio under climatic conditions of Mashhad.

Materials and Methods

This experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station, Ferdowsi University of Mashhad, Iran during two growing seasons of 2015-2016 and 2016-2016. The treatments were double (H:C, H:P, C:P) and triple (H:C:P and HH:CC:PP including one row and two rows of each species) arrangements of sunflower, pumpkin and common bean as replacement series and their sole cropping. Investigated traits were plant height, 100-seed weight, number of seeds per head, head diameter, seed weight per plant, biological yield, seed yield and harvest index of sunflower, seed weight per fruit, 100-seed weight, fresh weight of fruit, dry weight of fruit, number of seeds per fruit, dry weight of plant, biological yield, seed yield and harvest index of pumpkin and plant height, number of pods per plant, number of seeds per pods, number of branches per plant, dry weight of plant, pod weight per plant, seed weight per plant and 100-seed weight, biological yield, seed yield and harvest index of common bean. The LER was calculated as the sum of relative yields of component crops in an intercrop versus sole crops. For analysis of variance SAS ver 9.2 was used. All the means were compared according to Duncan multiple range test ($p \leq 0.05$).

Results and Discussion

The results showed that the effect of different intercropping arrangements of sunflower, pumpkin and common bean was significant ($p \leq 0.05$) on their yield components, seed yield, biological yield and harvest index. The highest seed yield of sunflower, common bean and pumpkin were observed in triple cropping as two rows (10158 kg.ha^{-1}), sole cropping (10493 kg.ha^{-1}) and common bean+ pumpkin (25014 kg.ha^{-1}), respectively. The maximum biological yield of sunflower, pumpkin and common bean were observed in it sole cropping, triple cropping as one row and sole cropping. The highest and the lowest land equivalent ratio were calculated with triple cropping as one row (1.69) and sunflower+ common bean (1.06), respectively.

Conclusions

Results revealed that growth, yield components and yield of sunflower, pumpkin and common bean were significantly affected by intercropping arrangements. However due to different criteria of these species associated with better use of water, radiation and nutrient resources when they are intercropped, land use efficiency was increased.

Acknowledgement

This research (40982) was funded by the Vice Chancellor for Research of Ferdowsi University of Mashhad, which is hereby acknowledged.

Keywords: Land equivalent ratio, Replacement series, Resource use efficiency, Seed yield

1- Professor, Department of Agroecotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2- PhD student in Agroecology, Department of Agroecotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- Associate Professor, Department of Agroecotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

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



مقاله علمی-پژوهشی

اثر محلول پاشی نانو کلات های آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه دانه

سیده حکیمه داودی^{۱*}، عباس بیابانی^۲، علی راحمی کاریزکی^۳، سید علی محمد مدرس ثانوی^۴، ابراهیم غلامعلی پور علمداری^۵، مهدی زارعی^۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۷

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی کلات های آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی سیاه دانه آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۸-۹۷ و دو مکان (مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبد کاووس و مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران) انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل محلول پاشی دو شکل آهن (نانو کلات آهن ۱/۵ در هزار، نانو کلات آهن ۴ در هزار و کلات آهن ۳ در هزار) و روی (نانو کلات روی در دو سطح ۱/۵ و ۳ در هزار و کلات روی ۳ در هزار) بودند. تیمارها در دو مرحله ۱۰-۸ برگی و در زمان پر شدن کپسول ها به کار برده شد. نتایج نشان داد که ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، قطر کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت برای هر دو منطقه به طور معنی داری تحت تاثیر نانو کلات ها قرار گرفت. غلظت ۴ در هزار نانو کلات آهن و ۳ در هزار نانو کلات روی باعث بیشترین افزایش در عملکرد دانه (۲۱۷/۴۴ گرم در متر مربع در منطقه گنبد و ۲۸۸/۶۶ گرم در متر مربع در منطقه تهران)، عملکرد بیولوژیک (۵۸۲ گرم در متر مربع در گنبد و ۳۵۲/۹۳ گرم در متر مربع در تهران) و شاخص برداشت (۳۷/۴۳ درصد در گنبد و ۷۶/۴۶ درصد در منطقه تهران) شد. بر اساس نتایج حاصل و با توجه به ویژگی های مختلف اندازه گیری شده، کاربرد آهن و روی به فرم نانو حتی در غلظت های پایین اثر مثبتی بر عملکرد کمی سیاه دانه خواهد داشت.

واژه های کلیدی: اجزای عملکرد، عناصر ریز مغذی، گیاه دارویی، نانو کلات

مقدمه

نمی پسندد (Davazdah Emami and Majnoon Hoseini, 2003). علاوه بر خاصیت ضدباکتریایی روغن دانه های سیاه دانه، از این گیاه در درمان سرطان، فشارخون، بیماری های قلبی-عروقی و غیره استفاده می شود (Khoramdel et al., 2009). یکی از نیازهای مهم در برنامه ریزی زراعی به منظور حصول عملکرد بالا و با کیفیت مطلوب، ارزیابی سیستم های مختلف تغذیه گیاه است (Seyed Jamali et al., 2014). آهن، یکی از عناصر غذایی کم مصرف است که در تشکیل سبزینه گیاهان زراعی و باغی نقش ارزنده ای (Rout and Sahoo, 2015). روی یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاه است و آثار عمیقی در متابولیسم عادی گیاه دارد و به طور کلی متابولیسم کربوهیدرات ها، پروتئین، اکسین و فرآیندهای زایشی تحت تاثیر شدید کمبود روی قرار می گیرند (Hafez et al., 2015). آن جایی که بسیاری از خاک ها به خصوص در ایران دارای pH قلیایی می باشند و نمی توانند عناصر مهم کم مصرف را در خود به صورت محلول نگهداری کنند، استفاده از ساختارهایی که بتواند این مشکل را حل کند بسیار ضروری است. فرم کلات یک عنصر فرمی حفاظت شده است و سایر عناصر نمی توانند مزاحمتی در جذب یک عنصر کلات شده ایجاد کنند. فرآورده های نانو شامل مخلوطی از ذره های با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که می توانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه خود را تغییر دهند (Monica and Cremonini,

سیاه دانه یا شونیز با نام علمی (*Nigella sativa* L.) از خانواده آلاله یا Ranunculaceae می باشد. این گیاهی دارویی، یک ساله، دو لپه، علفی با ساقه های ایستاده به ارتفاع ۶۰ تا ۷۰ سانتی متر است (Yarnell and Abascal, 2011). سیاه دانه به کمبود عناصر کم مصرف از جمله آهن و خاک های ضعیف حساس است و به سرعت زرد می شود، همچنین به شوری خاک حساس بوده و گرمای شدید را

- ۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس
- ۲- دانشیار، دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس
- ۳- استادیار، دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس
- ۴- دانشیار، دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
- ۵- استادیار، دکتری علوم گیاهی اکوفیزیولوژی علف های هرز، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس
- ۶- استادیار، دکتری باغبانی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس

(Email: davoodi.f@yahoo.com

DOI: 10.22067/gsc.v18i3.85072

2009). استفاده از نانو کود کم‌مصرف موجب افزایش صفات کمی و کیفی در رازیانه (*Foeniculum vulgare*) شده است (Abdelkader et al., 2019). بیشترین خصوصیات عملکردی در گیاهان تیمار شده با نانو کودهای آهن، روی و منگنز مشاهده گردیده است (El-Metwally et al., 2018). افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم (*Triticum*) با استفاده از نانو کودهای کم‌مصرف گزارش شده است (Al-Juthery et al., 2018). ترکیب سه‌گانه نانو کلات‌های آهن، روی و مس بر ارتفاع گیاه گندم، طول سنبله و عملکرد آن اثر مثبت و معنی‌داری داشته است (Hayyawi et al., 2018). اهمیت استفاده از نانو کودها در جهت افزایش عملکرد کمی و روغن در گیاه رازیانه گزارش شده است (Abdelkader et al., 2019). استفاده از نانو کودهای آهن، روی و منگنز عملکرد و اجزای عملکرد در ذرت (*Zea mays*) را افزایش داده است (Gomaa et al., 2020). اقدسی و همکاران (Aghdasi et al., 2018) تعداد شاخه فرعی بیشتری در گیاهان تیمار شده با نانو کلات آهن و روی نسبت به شاهد گزارش دادند.

استفاده مطلوب، منطقی و بهینه از منابع گیاهان دارویی که به لحاظ فناوری بسیار کم هزینه‌تر و ساده‌تر از صنایع دارویی شیمیایی است، می‌تواند ضمن تأمین بخشی از نیازهای عمده بهداشتی و درمانی جامعه از خروج مقادیر متناهی ارز جلوگیری نموده و مانع گسترش وابستگی به بیگانگان شود. تأمین آهن و روی به‌عنوان ریز مغذی‌های مورد نیاز سیاه‌دانه، نقش مهمی در بهبود کمی و کیفی محصول این گیاه دارد. گزارش‌های پراکنده‌ای در مورد اثر عناصر آهن و روی در افزایش عملکرد سیاه‌دانه وجود دارد، اما مطالعه‌ای در مورد اثر این دو عنصر به‌صورت همزمان و فرم‌های متفاوت در این دو منطقه با توجه به کمبود این عناصر در این مناطق صورت نگرفته است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی اثر کلات‌های آهن و روی به فرم‌های نانو و معمول بر عملکرد و برخی خصوصیات کمی گیاه دارویی سیاه‌دانه در دو مکان بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس با متوسط بارندگی سالیانه ۴۲۸ میلی‌متر و ارتفاع ۴۵ متر از سطح دریا و مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران با متوسط بارندگی سالیانه ۲۴۲ میلی‌متر و ۱۲۱۵ متر ارتفاع از سطح دریا انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل شاهد (محل‌پاشی با آب خالص)، محل‌پاشی عنصر غذایی آهن (نانو کلات‌های آهن در دو سطح ۱/۵ و ۴ در هزار و کلات آهن ۳ در هزار) و محل‌پاشی عنصر غذایی

روی (نانو کلات روی در دو سطح ۱/۵ و ۳ در هزار و کلات روی ۳ در هزار) که به‌صورت محل‌پاشی به تفکیک اعمال شدند. محل‌پاشی در دو مرحله ۸-۱۰ برگی و در زمان پر شدن کپسول‌ها صورت گرفت. بذر سیاه‌دانه توده بومی و از شرکت پاکان بذر اصفهان و کودهای کلات و نانو کلات از شرکت خضرا خریداری شد. نانو کودهای کلاته مورد استفاده در این تحقیق از شرکت دانش بنیان صدور احرار شرق (خضرا) تهیه شدند. این نانو کودها بر اساس فناوری کلات‌های پیشرفته که به‌عنوان یک اختراع جدید در اداره ثبت اختراعات ایران، آمریکا و اتحادیه اروپا به ثبت رسیده است تولید می‌شوند. روش به‌کار رفته در سنتز این کودها در واقع مبتنی بر روش خودچینی (self-assemble) است که بهترین روش تولید انبوه در محصولات نانویی می‌باشد. این نانو کودهای کلاته فاقد بنیان‌های هورمونی بوده و بر اساس تمایل عنصری به گروه‌های عاملی ارگانیک اسید خودچینی می‌شوند و به همین دلیل ساختارهایی بسیار کارا شکل می‌دهند. اما کودهای کلات آهن و روی که به‌عنوان کنترل مثبت در این بررسی استفاده شده‌اند دارای بنیان ایتیلنی (EDTA) هستند که بیش از ۳۰ سال از مصرف آن‌ها در صنعت کشاورزی می‌گذرد و محدودیت‌های آن‌ها آلودگی‌های زیست‌محیطی، جذب محدود و غیره) در متون مختلف بررسی شده است؛ اطلاعات از شرکت خضرا می‌باشد. قبل از آزمایش خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه‌های آزمایشی بررسی گردید (جدول ۱). آماده‌سازی زمین در دی ماه انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا زمین مورد نظر را شخم عمیق و سپس دیسک زده، سپس با استفاده از لولر تسطیح شد. کرت‌های آزمایشی دارای دو متر عرض شامل چهار ردیف ۵۰ سانتی‌متری و طول هر کرت ۶ متر و فاصله بین بوته‌ها از هم ۵ سانتی‌متر بود. عملیات کاشت در گنبد کاووس در ۱۵ بهمن ماه و در تهران در ۱۵ اسفند ماه صورت گرفت. پس از جوانه زدن و سبز شدن در مرحله ۴ تا ۶ برگی تنک کردن نهایی تا حد رسیدن به فاصله مورد نظر بین بوته‌ها (۵ سانتی‌متر) انجام شد. عملیات مبارزه با آفات و بیماری‌ها و کنترل علف‌های هرز نیز هم‌زمان در تمام کرت‌های آزمایشی در طی مرحله رشد و نمو گیاه انجام شد و آبیاری نیز به‌صورت سطحی انجام شد. جهت ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ابتدا رهاسازی خطوط حاشیه صورت گرفت. در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی از هر واحد آزمایشی ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و ارتفاع هر بوته از پایین‌ترین قسمت (سطح خاک) تا بالاترین قسمت رشد گیاه با استفاده از یک خط‌کش بلند به‌دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به‌عنوان ارتفاع تیمار منظور گردید. شاخه‌های فرعی ۲۰ بوته شمارش و میانگین آن‌ها محاسبه شد. برای اندازه‌گیری تعداد کپسول در بوته، ۲۰ بوته شمارش و میانگین آن‌ها محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در کپسول، از هر بوته به‌طور تصادفی ۵ کپسول برداشت شد (در مجموع ۵۰ عدد کپسول) و از این تعداد ۲۰ کپسول به‌طور تصادفی انتخاب و میانگین

شد و دانه های به دست آمده با ترازوی دقیق توزین و عملکرد دانه در متر مربع ثبت گردید. شاخص برداشت محصول نیز با استفاده از رابطه (۱) مورد اندازه گیری قرار گرفت، که در آن: HI: شاخص برداشت، EY: عملکرد اقتصادی، BY: عملکرد بیولوژیک است.

$$HI = (EY/BY) \cdot 100 \quad (1)$$

تجزیه داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS Ver 9.3 و مقایسه میانگین داده ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. نمودارها با کمک نرم افزار Excel رسم شد.

۲۰ کپسول به عنوان تعداد دانه در کپسول منظور گردید. برای اندازه گیری قطر از هر بوته ۱۰ کپسول جدا شد سپس با استفاده از کولیس دیجیتالی قطر اندازه گیری و میانگین آن ها به عنوان صفت قطر بر حسب میلی متر برای هر واحد آزمایشی محاسبه شد. پس از رسیدگی فیزیولوژیک بوته ها، دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان اثر حاشیه ای حذف و مابقی بوته ها برداشت شد. پس از خشک شدن در مقابل آفتاب، با ترازوی دقیق وزن کل بوته ها هر کرت در متر مربع و به عنوان عملکرد بیولوژیک منظور گردید. سپس کپسول های بوته ها مورد نظر در سطح برداشتی کوبیده

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک مزرعه های آزمایشی (عمق ۳۰-۰ سانتی متر)

Table 1- Physical-chemical properties of soil of experimental farms (0-30 cm)

مکان Location	اسیدیته کل اشباع pH	درصد لای Silt %	درصد رس Clay %	بافت خاک Text ure	درصد کربن آلی OC %	درصد نیترژن کل N %	فسفر (P) mg.kg ⁻¹	پتاسیم (K) mg.kg ⁻¹	آهن (Fe) mg.kg ⁻¹	منگنز (Mn) mg.kg ⁻¹	روی (Zn) mg.kg ⁻¹
تهران Tehran	7.7	30	9	لومی شنی Sandy loam	1.34	0.134	18	341	3.67	6.9	1.06
گنبد کاووس Goonbad- kavous	7.6	56	31	لوم رسی- سیلتی Clay loam- Sity	0.78	0.08	13	340	2.80	16.0	0.60

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثرات اصلی محلول پاشی آهن و روی و اثر متقابل این فاکتورها برای هر دو مزرعه تحقیقاتی معنی دار شد (جدول ۲). برش دهی برهم کنش سطوح روی در هر سطح نانو کلات آهن ۱/۵ و ۴ در هزار در هر دو مزرعه و کلات آهن ۳ در هزار تنها برای مزرعه تهران بیان گر تاثیر معنی دار بر ارتفاع بوته بوده است (جدول ۴). ارتفاع بوته در هر دو سطوح نانو کلات آهن نسبت به کلات آهن در هر دو منطقه افزایش نشان داد و بیش ترین ارتفاع در تیمار نانو کلات آهن ۴ و نانو کلات روی ۳ در هزار (۷۹/۴۰ سانتی متر در گنبد کاووس و ۶۸ سانتی متر در تهران) مشاهده گردید (جدول ۶). این نتایج را می توان به سهولت در استفاده از مواد مغذی به شکل نانو و همچنین سرعت فتوسنتز اشاره کرد (Abdelkader et al., 2019). استفاده از کودهای نانو بیشترین ارتفاع را در گندم نسبت به گیاه بدون تیمار ثبت کرده است (Al-Juthery et al., 2018). علت افزایش ارتفاع گیاه را می توان به فراهمی بیش تر عناصر غذایی، نفوذ بیش تر و موثرتر این ذرات به شکل نانو در مقایسه با شکل معمول آن ها نسبت داد (Al-Juthery et al., 2018). استفاده از کود به فرم نانو موجب افزایش ارتفاع بوته ذرت شده است که این افزایش می تواند به دلیل نقش موثرتر محلول پاشی نانوذرات ریزمغذی بر رشد و تقسیم سلولی باشد

(Gomaa et al., 2020). محققان با بررسی اثرات محلول پاشی نانو ذرات ریزمغذی بر گیاه رازیانه نتیجه گرفتند که محلول پاشی عناصر ریزمغذی به شکل نانو ارتفاع بوته را افزایش داد (Abdelkader et al., 2019). بین تمام ترکیبات تیماری با شاهد به جز شاهد با کلات های آهن و روی اختلاف معنی دار وجود دارد (جدول ۷).

تعداد شاخه جانبی

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده ها نشان داد اثرات اصلی و متقابل محلول پاشی در هر دو مزرعه تهران و مزرعه گنبد کاووس بر صفت تعداد شاخه جانبی معنی دار بود (جدول ۲). برش دهی اثر متقابل سطوح روی در هر سطح نانو کلات آهن ۱/۵ در هزار و ۴ در هزار بر این صفت معنی دار بود در صورتی که در سطح کلات آهن ۳ در هزار مزرعه تهران ارتباط معنی داری مشاهده نگردید (جدول ۴). با توجه به جدول ۶ بیش ترین تعداد شاخه فرعی در سطوح نانو کلات آهن و نانو کلات روی مشاهده گردید و در تیمار کلات آهن ۳ در هزار بین سطوح روی و تعداد شاخه فرعی اختلاف معنی داری مشاهده نشد. بین دو مزرعه بیش ترین تعداد شاخه جانبی در گیاهان مزرعه گنبد کاووس (۱۲ شاخه جانبی) مشاهده گردید که با بیش تر بودن ارتفاع گیاهان در این مزرعه ارتباط دارد. در مزرعه گنبد کاووس بین شاهد با تمام ترکیبات تیماری اختلاف معنی داری مشاهده گردید در صورتی که در مزرعه تهران بین شاهد با ترکیبات تیماری که شامل کلات های آهن بود تفاوت معنی داری مشاهده نگردید (جدول ۷).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر نانو کلات‌های آهن و روی بر برخی صفات عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه سیاه‌دانه

Table 2- Analysis of variance of the effect of iron and zinc nano chelates on some yield traits and yield components in black seed

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f		میانگین مربعات MS				
			ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branch	تعداد کپسول در بوته Number of pod per plant	تعداد دانه در کپسول Number of seed per pod	وزن دانه در کپسول Seed weight per pod
R بلوک	1	Tehran تهران	1.61 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.50 ^{ns}	22.49 ^{ns}	.000022 ^{ns}
		گنبد Goonbad	10.58 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.50 ^{ns}	8.00 ^{ns}	.00005 ^{ns}
Fe آهن	2	Tehran تهران	1606.37 ^{**}	26.70 ^{**}	56.48 ^{**}	341.63 ^{**}	0.101 ^{**}
		گنبد Goonbad	1546.60 ^{**}	52.48 ^{**}	70.03 ^{**}	4250.81 ^{**}	0.054 ^{**}
Zn روی	2	Tehran تهران	602.03 ^{**}	12.26 ^{**}	30.48 ^{**}	952.88 ^{**}	0.0414 ^{**}
		گنبد Goonbad	742.01 ^{**}	23.37 ^{**}	34.04 ^{**}	1586.93 ^{**}	0.0165 ^{**}
Fe×Zn آهن×روی	4	Tehran تهران	76.88 ^{**}	2.26 ^{**}	1.70 ^{**}	225.99 ^{**}	0.015 ^{**}
		گنبد Goonbad	84.36 ^{**}	5.81 ^{**}	3.48 [*]	200.37 ^{**}	0.004 ^{**}
E خطا	17	Tehran تهران	10.23	0.41	0.363	17.42	0.00016
		گنبد Goonbad	8.07	0.13	0.794	8.03	0.00007
CV (%) ضریب تغییرات	-	Tehran تهران	7.4	12.0	4.9	6.6	7.4
		گنبد Goonbad	5.3	5.6	6.9	4.1	4.7

ns و ** به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

** and ns are significant at 1% probability levels and non-significant, respectively

در بوته معنی‌دار بود (جدول ۲) و اثر متقابل بین تمام سطوح روی در هر سطح آهن مشاهده گردید (جدول ۴). بیش‌ترین تعداد کپسول (۱۸/۶۶) در تیمار نانو کلات آهن ۴ در هزار و نانو کلات روی ۳ در هزار در گیاهان مزرعه گنبد مشاهده شد (جدول ۶). محلول‌پاشی آهن و روی به دلیل افزایش ماندگاری گل و تبدیل آن به کپسول، از طریق افزایش آسمیلات‌ها، به واسطه نقشی که این عناصر در فتوسنتز دارند، موجب افزایش تعداد کپسول در بوته می‌گردد. نتایج حاصل از بررسی‌های دیگر نشان می‌دهد که تیمارهای محلول‌پاشی نانو کود کلاته آهن و روی بر تعداد غلاف در بوته اثر معنی‌داری داشته است (Baghae et al., 2011). حداکثر تعداد غلاف در تیمارهای کودهای نانو مشاهده گردید که محلول‌پاشی نانو ریز مغذی‌ها به دلیل افزایش ماندگاری گل و تبدیل آن به غلاف، از طریق افزایش آسمیلات‌ها، به واسطه نقشی که این عناصر در فتوسنتز دارند، موجب افزایش تعداد غلاف در بوته می‌گردد (Morovat et al., 2019). بین تمام ترکیبات تیماری با شاهد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۷).

استفاده از نانو کودهای ریز مغذی بر تعداد شاخه‌های اولیه و فرعی نخود فرنگی اثر معنی‌داری نشان داد و تعداد شاخه‌ها توسط کود نانو تقویت شدند (Morovat et al., 2019). نتایج مشابهی دیگری (افزایش شاخه جانبی در رازیانه) نیز گزارش شده است و علت این افزایش را سهولت دسترسی به مواد غذایی به شکل نانو توسط گیاه بیان کردند (Abdelkader et al., 2019). به نظر می‌رسد با مصرف کود به صورت نانو کلات، جذب و انتقال مواد فتوسنتزی و هورمون‌های تحریک‌کننده رشد به مریستم‌های جانبی افزایش می‌یابد و مجموعه این عوامل سبب افزایش تحریک مریستم‌های جانبی و افزایش تعداد ساقه‌های جانبی می‌گردد (Rameshraddy et al., 2019). محلول‌پاشی آهن و روی در نعنای شیرین (*Mentha spicata* L.) تحت تنش شوری موجب افزایش تعداد شاخه‌ها گردید (Aghdasi et al., 2018).

تعداد کپسول در بوته

طبق نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها اثرات اصلی محلول‌پاشی آهن و روی و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر تعداد کپسول

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر نانو کلات‌های آهن و روی بر برخی صفات عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه سیاه‌دانه

Table 3- Analysis of variance of the effect of iron and zinc nano chelates on some yield traits and yield components in black seed

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات MS	قطر کپسول Capsule diameter	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه در متر مربع Seed yield	عملکرد بیولوژیک در متر مربع Biological yeild	شاخص برداشت Harvest index
R بلوک	1	تهران	0.1609 ^{ns}	0.010 ^{ns}	0.076 ^{ns}	191.29 ^{ns}	2.57 ^{ns}	61.34 ^{ns}
		گنبد Goonbad	0.0027 ^{ns}	.046 ^{ns}	0.08 ^{ns}	159.61 ^{ns}	128.00 ^{ns}	11.36 ^{ns}
Fe آهن	2	تهران	23.97 ^{**}	5.45 ^{**}	28.92 ^{**}	49915.14 ^{**}	43430.94 ^{**}	2776.20 ^{**}
		گنبد Goonbad	35.76 ^{**}	1.81 ^{**}	54.29 ^{**}	30712.86 ^{**}	86899.49 ^{**}	839.41 ^{**}
Zn روی	2	تهران	3.27 ^{**}	3.18 ^{**}	13.83 ^{**}	2404.45 ^{**}	20553.87 ^{**}	1457.43 ^{**}
		گنبد Goonbad	9.06 ^{**}	0.19 [*]	14.27 ^{**}	13356.33 ^{**}	22839.86 ^{**}	340.37 ^{**}
Fe*Zn آهن*روی	4	تهران	0.321 [*]	0.599 ^{**}	3.33 ^{**}	9102.71 ^{**}	3684.45 ^{**}	307.81 ^{**}
		گنبد Goonbad	2.426 ^{**}	0.183 [*]	9.65 ^{**}	3442.65 ^{**}	15441.64 ^{**}	23.44 [*]
E خطا	17	تهران	0.102	0.054	0.223	188.57	261.84	40.48
		گنبد Goonbad	0.146	0.032	0.282	172.76	452.53	7.12
CV (%) ضریب تغییرات	-	تهران	6.4	9.4	8.1	14.6	7.0	18.5
		گنبد Goonbad	6.1	6.9	5.5	13.1	5.5	11.1

ns و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

** and ns are significant at 1% probability levels and non-significant, respectively

تعداد دانه در کپسول

جدول تجزیه واریانس نشان داد که تعداد دانه در کپسول هر دو مزرعه تحت تأثیر اثرات اصلی و اثرات متقابل ترکیبات تیماری قرار گرفته است (جدول ۲). در مزرعه گنبد بین تمام سطوح روی در هر سطح آهن و در مزرعه تهران نیز بین تمام سطوح روی در سطح آهن به‌جز سطح ۳ آهن اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴). بیش‌ترین مقدار عددی تعداد دانه در کپسول (۱۰۴/۳۳) در گنبد و ۹۷/۶۶ در تهران) در گیاهانی دیده شد که با نانو کلات‌های آهن و نانو کلات‌های روی تیمار گردیده بودند (جدول ۶). تغذیه گیاه با روی و آهن به شکل نانو سبب ذخیره کربوهیدرات‌های دانه‌گرده و افزایش طول عمر آن و در نتیجه، موجب افزایش گرده‌افشانی و در نهایت باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود (Baghae et al., 2014). همچنین نتایج پژوهشی نشان داد کاربرد نانو کود آهن سبب افزایش تعداد دانه در ردیف ذرت گردید (Mohammad Khani and Roozbahani, 2015). نانو مواد در شرایط مورد نیاز گیاه به‌عنوان منبع آزادکننده عمل می‌کند که باعث بهبود راندمان استفاده از مواد

مغذی می‌شود (Kopittke et al., 2019). بین تمام ترکیبات تیماری با شاهد در هر دو مزرعه تحقیقاتی اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۷).

وزن دانه در کپسول و وزن هزار دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی محلول‌پاشی آهن و روی و اثر متقابل این فاکتورها در سطح احتمال ۵ درصد برای وزن دانه در کپسول (جدول ۲) و وزن هزار دانه (جدول ۳) معنی‌دار شد. برش‌دهی اثر متقابل سطوح روی در هر سطح آهن برای صفت وزن دانه اختلاف معنی‌دار نشان داد (جدول ۵). با توجه به جدول مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح روی در هر سطح آهن بیش‌ترین وزن دانه در کپسول و وزن هزار دانه مربوط به نانو کلات آهن ۴ در هزار و کمترین آن مربوط به کلات آهن ۳ در هزار بود (جدول ۶). وزن دانه در بوته نشان داد بین تمام ترکیبات تیماری با شاهد به‌جز شاهد با نانو کلات‌های آهن و روی در مزرعه تهران، اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۷) و برای وزن هزار دانه بین ترکیب نانو کلات‌های آهن و روی با شاهد در دو مزرعه اختلاف

سنتز تثبیت کسری از ریبوزوم و سیتوکروم باعث افزایش انتقال ماده خشک گیاه به دانه‌ها و از این رو افزایش وزن دانه‌ها شود (Sher et al., 2020). همچنین استفاده از نانو ریز مغذی‌ها باعث افزایش وزن ۱۰۰ دانه در ذرت شد (Gomaa et al., 2020).

معنی‌دار مشاهده نگردید (جدول ۸). در یک بررسی مشخص شد که محلول‌پاشی با عناصر غذایی کم‌مصرف آهن، روی و منگنز سبب افزایش وزن هزار دانه در مقایسه با تیمار شاهد شد (Baghaee et al., 2011). روی نقش مهمی در متابولیسم گیاهان دارد که ممکن است با تاثیر بر عملکرد آنزیمی مانند آنهیدراز هیدروژناز و در نتیجه

جدول ۴- تجزیه واریانس برش‌دهی اثر متقابل سطوح روی در سطوح مختلف آهن برای برخی صفات عملکرد و اجزای عملکرد
Table 4- Analysis of shear variance interaction of zinc surfaces at different iron levels for some yield traits and yield components

آهن Fe	روی Zn	درجه آزادی DF	مکان Location	ارتفاع Plant height	مجموع مربعات MS			
					تعداد شاخه جانبی Number of lateral branche	تعداد کیسول در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در کیسول Number of seed per pods	وزن دانه در کیسول Seed weight per pods
Fe1 نانو کلات آهن ۱/۵ در هزار	Zn روی	2	تهران Tehran	90.22**	4.33**	12.00**	294.42**	0.0052**
			گنبد Goonbad	214.81**	4.12**	4.10**	648.11**	0.0046**
Fe2 نانو کلات آهن ۴ در هزار	Zn روی	2	تهران Tehran	577.83**	12.11**	16.44**	1094.15**	0.0654**
			گنبد Goonbad	625.99**	30.11**	30.09**	1258.16**	0.0199**
Fe3 کلات آهن ۳ در هزار	Zn روی	2	تهران Tehran	87.73**	0.03 ^{ns}	14.69**	16.33 ^{ns}	0.0554**
			گنبد Goonbad	70.63 ^{ns}	0.77*	29.11**	81.44**	0.0195**

^{ns} و ^{**} به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

^{**} and ^{ns} are significant at 1% probability levels and non-significant, respectively

Fe1= nano chelated iron 1.5 per thousand, Fe2= nano chelated iron 4 per thousand, Fe3= chelated iron 3 per thousand

جدول ۵- تجزیه واریانس برش‌دهی اثر متقابل سطوح روی در سطوح مختلف آهن برای برخی صفات عملکرد و اجزای عملکرد
Table 5- Analysis of shear variance interaction of zinc surfaces at different iron levels for some yield traits and yield components

آهن Fe	Zn روی	درجه آزادی DF	مکان Location	مجموع مربعات MS					
				قطر کیسول Capsule diameter	وزن هزار دانه 1000- seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه در متر مربع Seed yield	عملکرد بیولوژیک در متر مربع Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
Fe1 نانو کلات آهن ۱/۵ در هزار	Zn روی	2	تهران Tehran	1.805**	0.771**	4.361**	3498.62**	3977.14**	358.097**
			گنبد Goonbad	3.810**	0.013*	0.715**	2894.95**	1144.76**	134.110**
Fe2 نانو کلات آهن ۴ در هزار	Zn روی	2	تهران Tehran	1.905**	3.213**	12.673**	38537.91**	18606.19*	1657.028**
			گنبد Goonbad	10.086**	0.519**	32.49**	16996.82**	51979.75**	210.267*
Fe3 کلات آهن ۳ در هزار	Zn روی	2	تهران Tehran	0.203 ^{ns}	0.368 ^{ns}	1.44**	213.96**	2316.44*	57.09 ^{ns}
			گنبد Goonbad	0.0174 ^{ns}	0.018 ^{ns}	0.38 ^{ns}	349.92**	598.63 ^{ns}	33.87**

^{ns} و ^{**} به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

^{**} and ^{ns} are significant at 1% probability levels and non-significant, respectively

Fe1= nano chelated iron 1.5 per thousand, Fe2= nano chelated iron 4 per thousand, Fe3= chelated iron 3 per thousand

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح روی در هر سطح آهن بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد مورد بررسی
Table 6- Comparison of the average interaction effect of zinc levels on yield traits and yield components studied

مکان Location	ارتفاع Plant Height (cm)	تعداد شاخه Number of lateral branche	تعداد کپسول در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در کپسول Number of offseed per pods	وزن دانه در کپسول Seed weight per pods (g)	قطر کپسول Capsule diameter (mm)	وزن هزار دانه 1000- seed weight (g)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g.m ⁻²)	عملکرد دانه Seed yield (g.m ⁻²)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g.m ⁻²)	شاخص برداشت Harvest index (%)
کلات آهن ۱/۵ در هزار nano chelated iron 1.5 per thousand	Zn1 تلو کلات روی ۱/۵ در هزار Tehran	5 ^b	12.33 ^b	64.37 ^b	0.14 ^b	5.7 ^b	2.15 ^b	5.42	68.74 ^b	216.67 ^b	31.09 ^b
		6 ^b	13.00 ^b	70.33 ^b	0.20 ^b	6.8 ^a	2.89 ^b	9.27 ^c	105.73 ^b	370.93 ^c	28.47 ^b
	Zn2 تلو کلات روی ۲ در هزار Tehran	6.66 ^a	14.33 ^b	77.66 ^a	0.20 ^a	6.37 ^a	2.93 ^a	7.11 ^a	114.8 ^a	284.4 ^a	46.4 ^a
		7.00 ^a	14.33 ^a	89.00 ^a	0.26 ^a	7.42 ^a	2.88 ^b	20.25 ^a	147.2 ^a	410.0 ^a	35.9 ^a
	Zn3 تلو کلات روی ۳ در هزار Tehran	4.33 ^b	10.33 ^a	58.29 ^b	0.12 ^b	4.82 ^c	2 ^c	4.78 ^b	48.09 ^c	191.07 ^b	25.16 ^c
کلات آهن ۲ در هزار nano chelated iron 4 per thousand	Zn1 تلو کلات روی ۱/۵ در هزار Tehran	7.23 ^a	14.33 ^b	82.00 ^b	0.31 ^b	6.31 ^a	3.74 ^a	8.82 ^a	175.53 ^b	352.93 ^a	49.85 ^b
		9.00 ^b	10.33 ^b	90.33 ^b	0.27 ^a	8.09 ^b	2.98 ^a	12.73 ^b	165.00 ^a	509.33 ^b	32.00 ^a
	Zn2 تلو کلات روی ۲ در هزار Tehran	9 ^b	17.00 ^a	97.66 ^a	0.43 ^a	6.8 ^a	4.0 ^a	8.86 ^a	288.67 ^a	337.2 ^a	76.47 ^a
		12 ^a	17.67 ^a	104.33 ^a	0.29 ^a	9.9 ^a	2.8 ^a	14.55 ^a	217.44 ^a	582.0 ^a	37.43 ^a
	Zn3 تلو کلات روی ۳ در هزار Tehran	5.00 ^b	12.3 ^c	59.67 ^c	0.13 ^c	5.2 ^b	2.10 ^b	5.23 ^b	61.99 ^c	209.30 ^b	20.60 ^b
کلات آهن ۳ در هزار chelated iron 3 per thousand	Zn1 تلو کلات روی ۱/۵ در هزار Tehran	5.76 ^c	12.3 ^b	64.00 ^c	0.14 ^b	6.2 ^c	2.19 ^b	8.16 ^c	69.07 ^b	326.53 ^c	21.13 ^b
	Zn2 تلو کلات روی ۲ در هزار Tehran	3.67 ^a	10.34 ^a	40.33 ^{ab}	0.08 ^b	4.24 ^a	1.89 ^{ab}	4.16 ^{ab}	31.27 ^b	166.7 ^{ab}	18.81 ^{ab}
		4.00 ^{ab}	10.00 ^a	43.00 ^b	0.09 ^{ab}	4.13 ^a	2.09 ^a	7.13 ^a	36.00 ^b	285.2 ^a	12.63 ^b
	Zn3 تلو کلات روی ۳ در هزار Tehran	4.00 ^a	10.3 ^a	44.00 ^a	0.093 ^a	3.22 ^a	2.01 ^a	4.63 ^a	36.6 ^a	185.33 ^a	19.92 ^a
کلات آهن ۴ در هزار chelated iron 4 per thousand	Zn2 تلو کلات روی ۲ در هزار Tehran	4.65 ^a	11.3 ^{ab}	49.33 ^b	0.103 ^a	4.13 ^a	2.09 ^a	7.12 ^a	46.8 ^a	285.07 ^a	16.43 ^a
کلات آهن ۵ در هزار chelated iron 5 per thousand	Zn3 تلو کلات روی ۳ در هزار Tehran	3.3 ^a	8.0 ^b	39.67 ^b	0.06 ^c	2.77 ^a	1.35 ^b	3.26 ^b	20.0 ^c	130.67 ^b	11.81 ^b
		3.7 ^b	8.3 ^b	39.00 ^c	0.08 ^b	4.01 ^b	1.96 ^a	6.51 ^a	25.2 ^c	260.67 ^a	9.73 ^c

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر جزء اختلاف معنی داری بر اساس آزمون تلکین در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Means with different letters in a column and for each component are not significantly different based on Duncan's test p≤0.05

قطر کپسول

نتایج نشان داد فاکتور آهن، روی و اثر متقابل آن‌ها به‌طور بسیار معنی‌داری قطر کپسول در بوته را تحت تاثیر قرار داد (جدول ۳). اثر متقابل سطوح روی در هر سطح نانو کلات آهن ۱/۵ و ۴ در هزار برای هر دو مزرعه اثر معنی‌داری داشتند در صورتی که بین سطوح مختلف روی در سطح کلات آهن (سطح ۳ آهن) در مزرعه گنبد کاووس و تهران اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۵). بیش‌ترین قطر کپسول در گیاهان تیمار شده با نانو کلات آهن ۴ در هزار و در مزرعه گنبد مشاهده گردید (جدول ۶). مقایسات اورتوگونال در مزرعه گنبد نشان داد بین تمام ترکیبات تیماری با شاهد اختلاف معنی‌دار وجود دارد و در مزرعه تهران بین تمام ترکیبات تیماری با شاهد به‌جز شاهد با ترکیات حاوی کلات آهن اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۸). افزایش قطر کپسول در برخی تیمارها بیانگر استفاده بهتر از شرایط محیطی ناشی از تغذیه مناسب می‌باشد. افزایش قطر کپسول طی محلول‌پاشی آهن، روی و کلسیم در سویا نیز گزارش شده است (Ahmadi et al., 2016).

عملکرد دانه

فاکتور آهن و روی و برهمکنش آن‌ها اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه در هر دو مزرعه تحقیقاتی داشتند (جدول ۳). برش‌دهی اثر متقابل سطوح روی در سطوح مختلف آهن اثر معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۵). بیش‌ترین عملکرد دانه ۲۱۷/۴۷ گرم در متر مربع در گنبد و ۲۸۸/۶۷ گرم در متر مربع در تهران (در تیمار نانو کلات آهن ۴ در هزار مشاهده گردید (جدول ۶). نتایج مقایسات اورتوگونال اختلاف معنی‌دار بین شاهد با ترکیبات تیماری به‌جز ترکیب کلات آهن ۳ در هزار و کلات روی ۳ در هزار در هر دو مزرعه تحقیقاتی را نشان داد (جدول ۸). روی و آهن نقش مهمی در بیوسنتز IAA و به‌ویژه با توجه به نقش آن در شروع بخش تولید مثل اولیه و تقسیم فتوسنتزی نسبت به آن‌ها که باعث افزایش عملکرد می‌شود (Barua and Saikia, 2018). انجام محلول‌پاشی نانو کلات آهن و منگنز می‌تواند با تحریک رشد و تقسیم سلولی، دانه را به یک مخزن قوی مبدل ساخته و در نتیجه با پذیرفتن مواد فتوسنتزی بیشتر مقادیر ماده خشک بیشتری در دانه ماش ذخیره گردد (Izadi and Modares Sanavi, 2018).

جدول ۷- تجزیه واریانس مقایسات اورتوگونال تیمارهای آزمایش بر برخی صفات عملکرد و اجزای عملکرد
Table 7- Analysis of variance of orthogonal comparisons of experimental treatments on some yield traits and yield components

منابع تغییر S.O.V	مکان Location	درجه آزادی d.f	ارتفاع Plant height (cm)	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branche	تعداد کپسول در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در کپسول Number of seed per pods	وزن دانه در کپسول Seed weight per pods (g)
شاهد-fe1zn1	Tehran تهران	1	819.47**	6.00**	80.67**	1738.08**	0.014**
	Goonbad گنبد	1	636.54**	16.67**	96.00**	3128.17**	0.037**
شاهد-fe1zn2	Tehran تهران	1	1387.76**	20.16**	130.67**	3360.66**	0.037**
	Goonbad گنبد	1	16650.04**	28.16**	130.66**	6208.16**	0.066**
شاهد-fe1zn3	Tehran تهران	1	557.02**	2.67*	42.66**	1172.92*	0.0089**
	Goonbad گنبد	1	436.91**	6.00**	73.50**	1872.66**	0.0267**
شاهد-fe2zn1	Tehran تهران	1	2242.66**	28.16**	130.66**	4004.16**	0.104**
	Goonbad گنبد	1	1998.37**	60.17**	160.17**	6468.16**	0.075**
شاهد-fe2zn2	Tehran تهران	1	3504.16**	54.00**	216.00**	6800.66**	0.2169**
	Goonbad گنبد	1	3513.84**	130.66**	280.17**	9520.17**	0.0888**
شاهد-fe2zn3	Tehran تهران	1	659.40**	6.0**	80.66**	1290.67**	0.011**
	Goonbad گنبد	1	580.17**	13.5**	80.67**	2320.65**	0.013**
شاهد-fe3zn1	Tehran تهران	1	153.52**	0.67 ^{ns}	42.66**	150.00*	0.002**
	Goonbad گنبد	1	132.54**	2.66**	37.50**	504.16**	0.003**
شاهد-fe3zn2	Tehran تهران	1	308.16**	1.5 ^{ns}	42.67**	280.17**	0.0038**
	Goonbad گنبد	1	261.36**	6.0**	60.17**	912.67**	0.0049**
شاهد-fe3zn3	Tehran تهران	1	19.44 ^{ns}	0.17 ^{ns}	13.50**	130.66*	0.0004 ^{ns}
	Goonbad گنبد	1	19.08 ^{ns}	1.5**	16.67**	308.17**	0.0013**
شاهد-ترکیبات تیماری	Tehran تهران	1	1461.89**	15.17**	137.95**	2816.30**	0.0453**
	Goonbad گنبد	1	1354.30**	35.57**	164.89**	5000.90**	0.0474**

عملکرد بیولوژیک

تیمارهای آهن و روی و برهمکنش آن ها اثر معنی داری بر عملکرد بیولوژیک در هر دو مزرعه تحقیقاتی داشتند (جدول ۳). برش دهی اثر متقابل سطوح روی در سطوح مختلف آهن اثر معنی داری را به جز برای کلات آهن در مزرعه گنبد نشان دادند (جدول ۵). بیشترین عملکرد بیولوژیک (۵۸۲ گرم در متر مربع) در تیمار نانو کلات آهن ۴ و نانو کلات روی ۳ در هزار در مزرعه گنبد مشاهده گردید (جدول ۶). افزایش ماده خشک تولیدی در گیاهان تحت شرایط تغذیه مطلوب به صورت نانو کلات ها می تواند به دلیل

گسترش بیشتر سطح برگ و نیز دوام سطح برگ آن باشد که با ایجاد منبع فیزیولوژیکی کارآمد جهت استفاده هرچه بیشتر از نور دریافتی باعث افزایش تولید ماده خشک شده است (Izadi and Modares, 2018). در یک تحقیق مشخص گردید که تیمارهای محلول پاشی با عناصر ریزمغذی به شکل نانو در مقایسه با شاهد به طور معنی دار عملکرد بیولوژیکی اسفرزه را افزایش یافت (Ramroudi et al., 2011). اختلاف معنی دار بین شاهد با ترکیبات تیماری (به غیر از شاهد با ترکیب کلات آهن ۳ در هزار و کلات روی ۳ در هزار) در هر دو مزرعه تحقیقاتی مشاهده گردید (جدول ۸).

جدول ۸- تجزیه واریانس مقایسات اورتوگونال تیمارهای آزمایش بر برخی صفات عملکرد و اجزای عملکرد
Table 8- Analysis of variance of orthogonal comparisons of experimental treatments on some yield traits and yield components

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	قطر کیسول Capsule diameter (mm)	وزن هزار دانه 1000-seed weigh (g)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g)	عملکرد دانه در متر مربع Seed yield (g.m ⁻²)	عملکرد بیولوژیک در متر مربع Biological yield (g.m ⁻²)	شاخص برداشت Harvest index (%)
شاهد-fe1zn1	Tehran تهران	1	9.70**	0.99**	11.34**	5426.43**	795.57**
	Goonbad گنبد	1	20.83**	1.49**	16.40**	13939.14**	905.28**
شاهد-fe1zn2	Tehran تهران	1	15.94**	3.96**	29.61**	16917.66**	2197.27**
	Goonbad گنبد	1	28.34**	1.47**	27.52**	28510.83**	1536.00**
شاهد-fe1zn3	Tehran تهران	1	4.39**	0.714**	6.68**	2339.59**	438.27**
	Goonbad گنبد	1	6.99**	1.833**	21.69**	8908.91**	496.86**
شاهد-fe2zn1	Tehran تهران	1	15.32**	8.906**	56.86**	41800.11**	2619.61**
	Goonbad گنبد	1	37.80**	1.773**	68.68**	36429.16**	1235.63**
شاهد-fe2zn2	Tehran تهران	1	20.46**	11.02**	55.57**	117656.007**	7018.52**
	Goonbad گنبد	1	69.22**	1.23**	110.51**	64979.226**	1686.73**
شاهد-fe2zn3	Tehran تهران	1	6.82**	0.952**	9.88**	4275.204**	696.17**
	Goonbad گنبد	1	14.66**	0.128 ^{ns}	7.24**	5352.106**	445.48**
شاهد-fe3zn1	Tehran تهران	1	0.020 ^{ns}	0.482**	3.37**	770.67*	173.34*
	Goonbad گنبد	1	1.717**	0.059 ^{ns}	2.03**	1066.67*	114.41**
شاهد-fe3zn2	Tehran تهران	1	0.018 ^{ns}	0.742**	5.80**	1176.00**	210.87*
	Goonbad گنبد	1	1.685**	0.096 ^{ns}	2.02**	2105.63**	235.62**
شاهد-fe3zn3	Tehran تهران	1	0.170 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.54 ^{ns}	196.77 ^{ns}	21.13 ^{ns}
	Goonbad گنبد	1	1.306**	0.006 ^{ns}	0.45 ^{ns}	377.62 ^{ns}	51.04*
شاهد-ترکیبات تیماری	Tehran تهران	1	8.99**	3.59**	26.48**	19678.55**	1864.3**
	Goonbad گنبد	1	25.58**	1.14**	33.74**	22143.01**	1096.1**

شاخص برداشت

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی و اثر متقابل محلول پاشی آهن و روی تأثیر معنی داری بر صفت شاخص برداشت داشتند (جدول ۳). برش دهی نشان داد که در مزرعه گنبد کاووس سطوح مختلف آهن و روی تأثیر معنی داری بر این صفت داشتند و در تهران تنها برای نانو کلات آهن ۱/۵ و ۴ بین سطوح مختلف روی اختلاف معنی دار مشاهده گردید (جدول ۵). در تیمار نانو

کلات آهن ۴ در هزار بیشترین مقدار شاخص برداشت نسبت به سطوح دیگر مشاهده شد و بین سطوح روی در این سطح آهن بیشترین شاخص برداشت به ترتیب مربوط به نانو کلات روی ۳ در هزار، نانو کلات روی ۱/۵ در هزار و کلات روی ۳ در هزار بود. به نظر می رسد که محلول پاشی نانو کلات آهن به میزان ۴ در هزار در مراحل رشد رویشی و زایشی سبب افزایش تولید ماده خشک در گیاه شده و به سبب آن میزان شاخص سطح برگ نیز از طریق انتقال مجدد

دارویی سیاه‌دانه داشتند و در بین غلظت‌های مورد بررسی نانو کلات آهن ۴ در هزار و نانو کلات روی ۳ در هزار بیش‌ترین مقدار عددی را در این صفات نشان دادند. به‌نظر می‌رسد با مصرف کود به‌صورت نانو کلات، جذب و انتقال مواد فتوسنتزی و هورمون‌های تحریک‌کننده رشد افزایش می‌یابد و مجموعه این عوامل سبب افزایش تعداد ساقه‌های جانبی و عملکرد می‌گردد. به‌طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد سیاه‌دانه گیاهی است که به کمبود آهن و روی حساس بوده و کاربرد آهن و روی به‌صورت فرم نانو اثر بسیار مثبتی بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد دارد.

این مواد به اندام‌های رویشی و تولید سطح فتوسنتزکننده افزایش یافته است. مقایسات گروهی نشان داد از نظر صفت شاخص برداشت بین تمام ترکیبات تیماری با شاهد (به‌جز شاهد با ترکیب کلات آهن همراه کلات روی در مزرعه تهران) اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۸). اردشیری و همکاران (Ardeshiri et al., 2017) افزایش شاخص برداشت در کلزا را طی کاربرد عناصر آهن و روی به‌صورت نانو نسبت به فرم معمول گزارش کردند.

نتیجه‌گیری

استفاده از کلات‌های آهن و روی به‌صورت نانو کلات نسبت به فرم معمول بیش‌ترین تاثیر را بر عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه

References

1. Abdelkader, M. A., Fatma, R. I., and Metwaly, E. E. 2019. Growth and productivity of fennel (*Foeniculum vulgare*) Plants as Affected by Phosphorus Rate and Nano-Micronutrients Concentration. Journal of Plant Production 10 (7): 483-488.
2. Aghdasi, S., Modarres-Sanavy, S. A., Agha Alikhani, M., and Keshavarz, H. 2018. The effect of dehydration and foliar application of Fe and Mn on some physiological and quantitative and qualitative traits of green mungbean forage (*Vigna radiata* L.). Journal of Plant Process and Function 7: 101-115. (in Persian).
3. Al-Juthery, H. W. A., Habeeb, K. H., Altaee, F. J. K., AL-Taey, D., and Al-Tawaha, M. 2018. Effect of foliar application of different sources of nanofertilizers on growth and yield of wheat. Bioscience Research 15 (4): 3988-3997.
4. Barua, D., and Saikia, M. 2018. Agronomic biofortification in rice varieties through zinc fertilization under aerobic condition. Indian Journal of Agricultural Research 52 (1): 89-92.
5. Davazdah Emami, S., and Majnoon Hoseini, N. 2003. Agriculture and production of some herbs and spices. University of Tehran Publications: 300.
6. El-Metwally, I. M., Doaa, M., Abo-Basha, R., and Abd El-Aziz, M. 2018. Response of peanut plants to different foliar applications of nano iron, manganese and zinc under sandy soil conditions. Middle East Journal of Applied Sciences 8 (2): 474-482.
7. Gomaa, M. A., Kandil, E. E., Amera, M., and Ibrahim, M. 2020. Response of maize to organic fertilization and some nano-micronutrients. Egyptian Academic Journal of Biological Sciences 11 (1): 13-20.
8. Hafez, B., Khanif, Y. M., and Saleem, M. 2013. Role of zinc in plant nutrition. American Journal of Experimental Agriculture 3: 374-391.
9. Hayyawi, W., Al-juthery, A., Abdulkareem, H., Fadhil, K., Radhi, F., Hussein, M., and Khaeim, M. 2019. The response of wheat to foliar application of nano micro nutrients. Plant Archives 19: 827-831.
10. Izadi, Y., and Modares-sanavi, S. A. M. 2018. Effect of nano iron and manganese fertilizers on mung bean growth and yield in water deficit stress condition. Iranian Journal of Field Crops Research 16 (3): 651-664. (in Persian).
11. Jam, A., Ebadi, A., and Parmon, G. 2015. The role of iron and zinc on tuber yield and yield components of potato. Journal of Crop Ecophysiology 7: 177-190. (in Persian).
12. Kopittke, P. M., Lombi, E., Wang, P., Schjoerring, J., and Husted, S. 2019. Nanomaterials as fertilizers for improving plant mineral nutrition and environmental outcomes. Environmental Science 6: 3513-3524.
13. Monica, R. C., and Cremonini, R. 2009. Nanoparticles and Higher Plants. International Journal of Cytology, Cytosystematics and Cytogenetics 62: 161-65.
14. Morovat, G., Pasari, B., and Rokhzadi, A. 2019. Effect of Pluramin and iron and zinc nano-fertilizer on rainfed chickpea (*Cicer arietinum* L.) at on-farm conditions 20 (2): 647-656.
15. Rameshraddy, P. G. J., Mahesh, S., Geetha, K. N., and Shankar, A. G. 2019. Seed priming and foliar spray with nano zinc improves stress adaptability and seed zinc content without compromising seed yield in ragi (Finger millet). International Journal of Pure Applied Bioscience 5 (3): 251-258.
16. Ramroudi, M., Keikhajaleh, M., Golvi, M., Seghateslami, M. J., and Baradaran, R. 2011. Effect of micronutrient soluble irrigation and irrigation regimes on quantitative and qualitative yield of psyllium. Journal of Agricultural Ecology 3: 226-219.
17. Rezaee chapane, A., Salmasi, S., Pirzad, A. R., and Rahimi, A. 2015. Effect of foliar application of iron, zinc and mn on nutrients, yield components and seed oil *calendula officinalis* L. Journal of Horticultural Science 102: 29-52. (in Persian).

18. Seyed Jamal, Z. A., Astaraei, R., and Emami, H. 2014. The effect of humic acid and compost on the absorption of some micronutrients in basil (*Ocimum basilicum* L.). First National Conference on Sustainable Farming of Medicinal Plants: 1-8.
19. Sher, A., Naveed, Kh., Ahmad, G., and Khan, A. 2020. Grain zinc and iron enrichment through foliar application augments wheat yield under varying nitrogen regimes. Pakistan Journal of Botany 52 (1): 85-94.
20. Sudhagar, G. B., Immanuel, R., Ramesh, S., Baradhan, G., and Sureshkumar, S. M. 2019. Effect of zinc and iron fertilization on growth and development of rice. Plant Archives 19: 1877-1880.
21. Yarnell, E., and Abascal, K. 2011. *Nigella sativa* holy herb of the middle east. Alternative and Complementary Therapy 17: 99-105.



Effect of Iron and Zinc Nano Chelates on Yield and Yield Components of Black Cumin Medicinal Plant (*Nigella sativa* L.)

S. H. Davoodi^{1*}, A. Biyabani², A. Rahemi karizaki³, S. A. M. Modares sanavi⁴, E. Gholamalipour Alamdari⁵, M. Zaree⁶

Received: 13-01-2020

Accepted: 06-06-2020

Introduction

The black seed is scientifically known as *Nigella sativa* L. from the family Ranunculaceae, which is susceptible to deficiencies in micro elements, including iron and poor soils. The concentration of Fe and Zn in soil solution is usually very low and is mostly mixed with organic matter. The solubility of Zn and Fe is strongly dependent on soil acidity. Managing nutrient intake can improve plant growth and product quality. Inappropriate nutrient management in today's common practice results in degraded agricultural ecosystems and endangered human health, and these problems have necessitated rethinking ways to increase crop production. Rezaei *et al.* (2016) reported increasing yield traits in stevia plant through using nano iron and zinc and manganese solution. Foliar application of micronutrients can improve grain and oil yield by improving yield components. In the present study, the effect of iron and zinc nanoparticle foliar application on morphophysiological and phytochemical changes of black seed has been evaluated.

Materials and Methods

The experiment was carried out as a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications in the research field of Gonbad-Kavous University of Agriculture and Natural Resources University of Tarbiat Modares University in 2018-2019. Experimental treatments included control (no foliar application), iron nutrient (iron nano chelates at 1.5 and 4 in a thousand + 3 iron per thousand chelate) and zinc nutrient (zinc nano chelate at 1.5 and 3 in a thousand) and chelate (3 in a thousand) which was used as foliar application. Treatments were applied at 8-10 leaf stage and at the time of capsule filling. The experimental plots were two meters wide with four rows of 50 cm and the length of each plot was 6 m. There was a distance of one meter between each trial unit and a distance of 2 meters between each block. Midlines were used for sampling. Data were analyzed using SAS ver 9.3 statistical software and LSD test was performed at 5% level.

Results and Discussion

The results showed that the studied traits such as plant height, number of lateral branch, number of pods per plant, number of seed per pods, seed weight per pods, capsule diameter, 1000-seedweight, yield seed, biological yield and harvest index were affected by main effects and interactions of the treatment compounds in Tehran and Goonbade-Kavus fields. Application of iron and zinc chelates in the form of nano-chelates had the highest effect on yield and yield components of the black-seeded medicinal plant in comparison to the chelate form. Maximum grain yield (217.44 g.m^{-2} in Goonbade-kavus and 288.66 g.m^{-2} in Tehran), biological yield (582 g.m^{-2} in Goonbade-kavus and 352.93 g.m^{-2} in Tehran) and harvest index (37.43% in Goonbade-kavus and 76.467% in Tehran) were observed in the nano-treatment of iron chelate 4 per thousand and the lowest value of seed yield (25.2 g.m^{-2} in Goonbade-kavus and 20.05 g.m^{-2} in Tehran), biological yield (260.67 g.m^{-2} in Goonbade-kavus and 130.67 g.m^{-2} in Tehran) and harvest index (25.2% in Goonbade-kavus and 11.81% in Tehran) were observed in iron and zinc chelates.

Conclusions

Based on the results obtained and considering the different measured properties, the application of iron and zinc in the form of nano will have a positive effect on the quantitative performance of black seed. given the role of micronutrients in some enzymes and their effective role in protein synthesis, this increase in yield can be justified compared to control.

Keywords: Micro element, Medicinal Plant, Nano chelate, Yield components

1- Ph.D Student of Plant Physiology, Gonbad University

2- Associate Professor, Department of Plant Production, Gonbad University

3- Assistant Professor, Department of Plant Production, Gonbad University

4- Associate Professor, Department of Plant Production, Tarbiat Modares University, Tehran

5- Assistant Professor, Department of Plant Production, Gonbad University

6- Assistant Professor, Department of Plant Production, Gonbad University

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



مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی اثر تلقیح باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه (PGPR) بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کنجد

سید فاضل فاضلی کاخکی^{۱*}، مهنوش اسکندری^۲، جهانفر دانشیان^۳، صدیقه آناهید^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰۳

چکیده

به منظور بررسی تاثیر کودهای زیستی بر زادآوری تعداد گره و کپسول در هر گره برگ کنجد، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی ۹۶-۹۷ و ۹۷-۹۸ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی انجام شد. فاکتور اول شامل دو نوع بذر تک کپسول و چند کپسول و فاکتور دوم کودهای زیستی شامل: نیتروکسین (حاوی باکتری‌های *Azotobacter* sp. و *Azospirillum* sp.)، بیوفسفر (حاوی باکتری‌های *Pseudomonas* sp. و *Bacillus* sp.)، ترکیب مساوی از هر دو نوع کود زیستی (نیتروکسین و بیوفسفر) و شاهد بود. صفات مورفولوژیکی شامل: ارتفاع، تعداد گره در گیاه، تعداد گره تک و چند کپسول، تعداد و طول شاخه جانبی، تعداد و وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه در گیاه، تعداد کپسول در گیاه و عملکرد اندازه‌گیری شد. طبق نتایج، بیشترین ارتفاع بوته (۱۰۹ سانتی‌متر) و تعداد گره (۴۶/۷ عدد) از تیمار کود ترکیبی نیتروکسین و بیوفسفر به دست آمد. بوته‌های حاصل از بذر چند کپسول حدود ۲۹ درصد تعداد برگ بیشتری را تولید کردند. بیشترین تعداد گره چند کپسول در سال دوم از بذر چند کپسولی و استفاده از کودهای تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر و به مقدار ۲۳/۹ عدد حاصل شد. در بذر چند کپسول تعداد گره چند کپسولی حدود ۱۵ درصد بیشتر از تعداد گره چند کپسولی در بذر تک کپسول بود. در هر دو سال بیشترین تعداد گره تک کپسول در استفاده از کود زیستی تلفیقی در بذر تک کپسول به دست آمد. بیشترین تعداد گره چند کپسول در سال دوم از بذر چند کپسولی و استفاده از کودهای تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر و به تعداد ۲۳/۹ عدد حاصل شد. به طور کلی برای افزایش تعداد کپسول در هر گره برگ استفاده از تلقیح بذر کنجد با باکتری‌های (PGPR) به همراه محلول‌پاشی در مرحله ۵۰ درصد گلدهی گیاه توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: بیوفسفر، تعداد گره برگ، زیست‌توده، عملکرد دانه، نیتروکسین

مقدمه

افزایش مصرف نهاده‌های کشاورزی به‌ویژه کودهای شیمیایی شده است که بحران آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز به دنبال داشته است (Alami-Milani et al., 2014). نیتروژن یکی از عناصر غذایی پر مصرف در تولید محصولات زراعی است که مصرف زیاد آن سبب آلودگی در چرخه طبیعی آب شده، ضمن آن‌که راندمان مصرف پایین و هزینه تولید بسیار بالایی نیز دارد (Makvandi et al., 2015). استفاده بیش از حد فسفر در خاک‌ها سبب تجمع آن‌ها در لایه سطحی خاک شده که کاهش عملکرد ناشی از نسبت بالای فسفر به روی و یا آهن، تجمع بور، مولیبدن و کادمیوم در بافت گیاهی، مسمومیت فسفوری گیاه و کاهش پروتئین دانه و کاهش بازارپسندی محصولات کشاورزی را به دنبال داشته است (Malakoti et al., 2001). در حال حاضر استفاده از کودهای بیولوژیک به عنوان گزینه جایگزین برای کودهای شیمیایی، به منظور افزایش باروری خاک در تولید پایدار محصولات زراعی و باغی بسیار پراهمیت گردیده است. کودهای بیولوژیک ریزجاندانان مفید خاک‌زی بوده که توانایی تجزیه سریع بازمانده‌های گیاهی در جهت تبدیل عناصر غذایی از فرم غیر قابل جذب به فرم قابل جذب و بهبود باروری خاک را دارند. باکتری‌ها

باکتری‌های خاک نقش مهمی در چرخه‌های زیست-زمین-شیمیایی دارند که باعث پویایی اکوسیستم خاک در جهت بازگشت مواد غذایی در چرخه‌های حیاتی می‌شوند (Kumar Jha and Saraf, 2015). این موجودات می‌توانند به عنوان مکمل کودهای شیمیایی و یا در برخی موارد جایگزین آن‌ها به منظور حفظ پایداری اکوسیستم زراعی عمل نمایند که در دهه‌های اخیر برای تولید محصول بسیار مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از طرفی تولید ارقام پر محصول، سبب

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۲- محقق بخش خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۳- استاد پژوهشی بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۴- کارشناس فیزیولوژی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

(Email: sf_fazeli@yahoo.com)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v18i3.85275

ترکیب NPK معمول منطقه با ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست به همراه آزوسپیریلیوم، بیشترین افزایش را در خصوصیات رشدی و عملکرد کنگد مشاهده کردند.

کنجد (*Sesamum indicum* L.) از قدیمی‌ترین گیاهان روغنی و به‌عنوان ملکه گیاهان روغنی نامیده شده است. این گیاه سازگار نواحی خشک و نیمه‌خشک است. ارقام مختلف آن در شرایط آب و هوایی متفاوت کشت می‌شوند. بالا بودن درصد پروتئین (۱۹ تا ۲۵ درصد)، روغن (تا ۴۵ درصد) و فراوانی بالای اسیدهای چرب غیر اشباع به‌ویژه اسیدلینولئیک از جمله مواردی است که سبب افزایش کیفیت تغذیه‌ای روغن کنگد شده است (Babaei Abarghoei, 2004). با وجود آن‌که پتانسیل عملکرد کنگد بیش از ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد، میانگین عملکرد این گیاه در ایران حدود ۹۰۱ کیلوگرم در هکتار تعیین شده است (FAO, 2017). پایین بودن عملکرد کنگد در واحد سطح، ضرورت انجام عملیات به‌زراعی و به‌نژادی بر اساس شرایط محیطی هر منطقه را مورد تأکید قرار می‌دهد. تعداد کپسول از اجزای اصلی عملکرد بوده و با آن همبستگی زیادی دارد. تحقیقات اندکی درخصوص بررسی عوامل موثر بر افزایش تولید در تعداد کپسول در هر گره برگ کنگد صورت گرفته است. صفت چند کپسولی توسط یک ژن منفرد کنترل می‌شود و آلل‌های تولید سه کپسولی مغلوب هستند و تحت تأثیر محیط قرار دارد. با این حال نتایج مطالعه لانگهام (Langham, 2007) نشان داد که ارقامی که توانایی تولید کپسول بیشتر در هر گره برگ را دارند اگر در شرایط آبیاری و تغذیه مناسب قرار گیرند توان تولید سه کپسول در هر گره برگ را دارند. در مطالعه دیگری محققین اظهار داشتند که گره‌های ابتدایی و انتهایی در کنگد نیز در صورت مهیا بودن شرایط از جمله تغذیه مناسب توانایی تولید بیش از یک کپسول را در هر گره برگ را دارند (Kang et al., 1985).

اگرچه پژوهش‌های نسبتاً متعددی در ارتباط با تأثیر کودهای شیمیایی بر تغذیه کنگد انجام شده است، لیکن اطلاعات در مورد امکان افزایش تعداد کپسول در هر گره برگ کنگد تحت تأثیر تغذیه با کودهای زیستی بسیار محدود می‌باشد. لذا این مطالعه با هدف بررسی تأثیر کود زیستی نیتروکسین، بیوفسفر بر صفات مورفولوژیکی، تعداد کپسول در هر گره برگ و عملکرد در شرایط مزرعه انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر کودهای زیستی بر تولید گره و تعداد کپسول گیاه کنگد، آزمایشی در طی دو سال زراعی (۹۷-۹۶ و ۹۸-۹۷) در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل: نوع بذر تک کپسولی (S_1) و بذر چند کپسولی (S_2) و فاکتور دوم شامل استفاده از کودهای زیستی

از جمله ریزجانداران خاک هستند که در چرخه عناصر غذایی خاک دخالت داشته و می‌توانند رشد گیاه را بهبود بخشیده و به نام باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد (PGPR) شناخته شده‌اند. به‌طور کلی، تقریباً دو تا پنج درصد باکتری‌های محیط ریشه در گروه باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد قرار دارند (Antoun and Prevost, 2005). این باکتری‌ها از طرق مختلفی از جمله تثبیت نیتروژن، سنتز و تولید سیدروفورهای کمپلکس‌کننده آهن، تولید هورمون‌های گیاهی، تولید آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیبات قارچ‌کش، رشد گیاهان را بهبود می‌بخشند (Saleh Rastin, 2001). در این ارتباط، نقش باکتری‌های آزادزی و هوازی در خاک همانند *ازتوباکتر*^۱، *آزوسپیریلیوم*^۲، باکتری‌های حل‌کننده فسفات (*باسیلوس*ها و *پسمودوناس*ها) در زراعت گیاهان روغنی مورد توجه ویژه قرار گرفته است. خاک دامنه وسیعی از منابع فسفات آلی دارد که می‌بایستی به‌وسیله آنزیم‌هایی مانند فسفاتاز، فیتاز و فسفوناستات تبدیل به فرم معدنی قابل جذب آن شود و باکتری‌ها در گروه‌های *باسیلوس*ها و *پسمودوناس* از طریق تولید اسیدهای آفسفاتازها می‌توانند با انحلال فسفات‌ها به جذب آن‌ها کمک نمایند (Chen et al., 2006). *ازتوباکتر*ها و *آزوسپیریلیوم*ها دارای توانایی تثبیت زیستی ازت می‌باشند، این باکتری‌ها از طریق ترشح مواد بیولوژیکی مانند اسید نیکوتینیک، بیوتین، ویتامین‌های گروه B، اکسین‌ها، جبریلین‌ها و غیره زمینه افزایش رشد گیاهان را فراهم می‌آورند (Naghdi Badi et al., 2013). نتایج مطالعه جهان و همکاران (Jahan et al., 2012) نشان داد زمانی‌که از کود زیستی بیوفسفر در کنگد استفاده شد کارایی مصرف کود نسبت به تیمار عدم مصرف بیوفسفر ۴۶ درصد بیشتر بود. مطالعه حسن پور و همکاران (Hasanpour et al., 2011) تأیید نمود که استفاده از کود نیتروژن به همراه کود سوپر نیتروپلاس سبب افزایش درصد گل‌های بارور و تعداد کپسول در گیاه کنگد رقم ورامین شد. همچنین در این مطالعه کاربرد کود بیولوژیکی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کنگد داشت؛ به‌طوری‌که در مقایسه با شاهد، کاربرد کود بیولوژیک سبب افزایش ده درصدی عملکرد شد. درخصوص تأثیر کودهای زیستی بر اجزای عملکرد کنگد نتایج (Sajadi Nick et al., 2011) نشان داد که استفاده از کود زیستی نیتروکسین سبب افزایش معنی‌دار تعداد بذر در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه کنگد شد. نتایج بررسی‌ها در تولید کنگد نشان داد که استفاده از باکتری *آزوسپیریلیوم* به همراه ۵۰٪ مقدار توصیه شده کود شیمیایی نیتروژنه، عملکرد دانه قابل قبولی را به‌همراه داشت (Paul and Savithri, 2003) و اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۰۰٪ نیتروژن توصیه شده نشان نداد. در هندوستان جاشانکار و وهاب (Jashankar and Wahab, 2004) با

1- *Azotobacter* sp.

2- *Azospirillum* sp.

نیتروکسین، بیوفسفر، ترکیب نیتروکسین ۵۰٪+ بیوفسفر ۵۰٪ و شاهد بدون اضافه کردن هیچ کودی بود. زمین آزمایش در سال قبل آیش بود. عملیات خاک‌ورزی اولیه انجام شد. هر کرت شامل چهار ردیف نیم متری و به طول پنج متر بود. قبل و بعد از اجرای آزمایش‌ها، نمونه‌برداری از خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری، انجام و جهت تجزیه و تحلیل به آزمایشگاه خاک و آب ارسال گردید (جدول ۱ و ۲).

جدول ۱- نتایج آزمایش خاک مزرعه قبل از آزمایش در سال اول
Table 1- Results of field soil testing prior to first year experiment

شن	سیلت	رس	بافت خاک	EC	pH	O.C	T.N.V	SP	NT	P _{ave}	K _{ave}
Sand	Silt	Clay	Soil texture	dS.m ⁻¹	-	%	%	%	%	ppm	ppm
31	49	20	Loam	1.08	7.6	0.61	15.5	36.4	0.067	12.8	227

تک انجام و فاصله بوته‌ها در روی هر ردیف هفت سانتی‌متر تعیین گردد. هم‌زمان با تک کردن بوته‌ها، عملیات مبارزه مکانیکی با علف‌های هرز نیز صورت پذیرفت. آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه کنگد و دمای هوای منطقه هر هفت روز یکبار انجام شد. کودهای زیستی شامل ۱) نیتروکسین (ازتوباکتر (*Azotobacter* sp.))، ۲) زیست‌پیلوم (*Azospirillum* sp.))، ۳) بیوفسفر (PSB) (حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات جنس *باسیلیوس* ها و *سودوموناس*))، ۴) ترکیب کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر (به نسبت مساوی) و شاهد (بدون اضافه کردن هیچ نوع کود) بودند.

قابل ذکر است که بسته‌بندی تجاری هریک از کودهای عنوان شده به‌صورت مایع و در بطری‌های یک لیتری بود و از شرکت فناوری زیستی مهر آسیا تهیه شد^۱ که در هر میلی‌لیتر آن ۱۰^۷ عدد باکتری زنده و فعال وجود داشت.

بذر مورد نیاز طی سه سال متوالی تهیه شد؛ به این صورت که ابتدا بذر ۱۳ اکوتیپ کنگد (جدول ۳) از بخش دانه‌های روغنی سازمان جهاد کشاورزی خراسان در سال ۱۳۸۸ تهیه و در آزمایش مقدماتی ارزیابی عملکرد مورد بررسی قرار گرفت (Nezami et al., 2014). در همان سال بوته‌هایی که تولید سه کپسول در هر محور برگ کردند انتخاب و بذری به تفکیک از گره‌های سه کپسولی و از گره‌های تک‌کپسولی جداگانه انجام شد. این دو نوع بذر تهیه شده به‌عنوان فاکتور اول در آزمایش در نظر گرفته شد. بذور مذکور با سم قارچ‌کش ویتاواکس با غلظت یک در هزار ضدعفونی و سپس در تاریخ ۳۰ اردیبهشت ماه در هر دو سال کشت شدند. فاصله بین ردیف، ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. میانگین دما و بارندگی روزانه شهر مشهد در شکل ۱ آمده است. در زمان کاشت از مقدار زیادی بذر استفاده شد تا پس از استقرار گیاهچه‌ها و در مرحله شش برگی و در ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر عملیات

جدول ۲- نتایج آزمایش خاک مزرعه بعد از اجرای آزمایش در انتهای سال دوم
Table 2- Results of field soil testing at the end of the second year experiment

شن	سیلت	رس	بافت خاک	هدایت الکتریکی	pH	کربن آلی	درصد مواد خثی شونده	درصد اشباع خاک	نیتروژن کل	فسفر قابل تبادل	پتاسیم قابل تبادل
Sand	Silt	Clay	Soil texture	EC	-	O.C ^۲	T.N.V ^۳	SP ^۴	NT ^۵	P _{ave} ^۶	K _{ave} ^۷
30	48	18	Loam	0.92	7.9	0.44	17.9	31.3	0.039	3.6	140

1- www.mabco.asia, Email: Info@mabco.asi

2- Organic Carbon

3- Total Neutralizing Value (TNV) is Percentage of neutralizing agents obtained from equivalent of calcium carbonate (lime)

4- Saturation Percent

5- Total Nitrogen

6- Available Phosphorous

7- Available Potassium

تعداد شاخه جانبی، تعداد گره در ساقه اصلی، تعداد گره چندکپسولی، تعداد گره تک کپسولی، وزن خشک اندام هوایی) و عملکرد از سطح چهار متر مربع اندازه‌گیری گردید. جهت تعیین وزن خشک اندام هوایی از آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت استفاده شد. داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار MSTAT C آنالیز و تجزیه مرکب انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

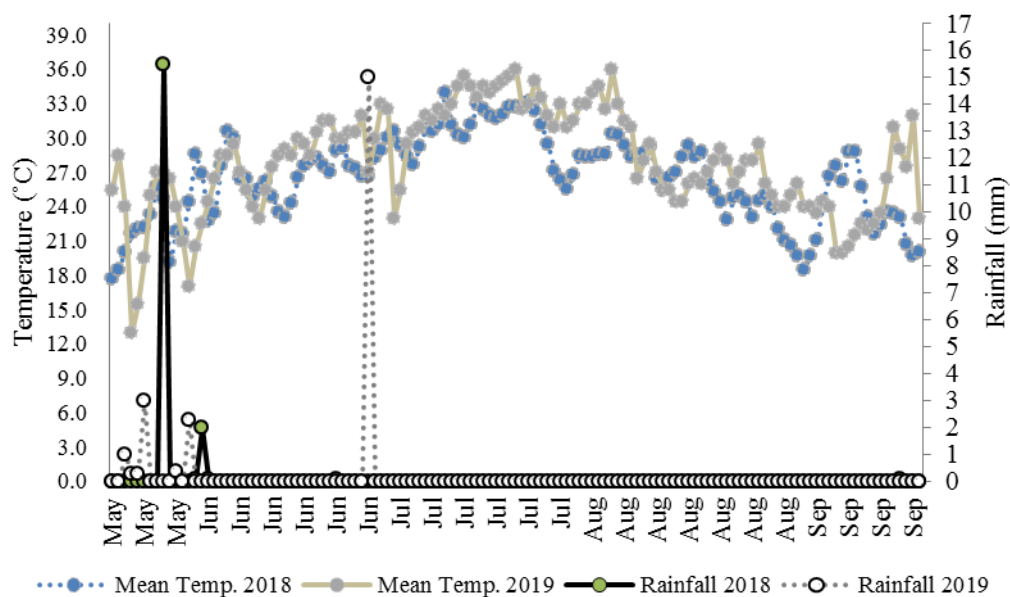
بذور، قبل از کاشت به تیمارهای ذکر شده آغشته شد. تلقیح بذور با کودهای بیولوژیک به روش استاندارد (Kennedy *et al.*, 1994) به دور از نور مستقیم و نیز رعایت توصیه‌های شرکت تولیدکننده، هم‌زمان با کاشت انجام شد و نیز در مرحله ۵۰ درصد زایشی محلول‌پاشی با غلظت پنج لیتر در هکتار با همین کودها انجام گرفت. در سال دوم نیز اجرای آزمایش به همین ترتیب تکرار شد. در هر دو سال پس از رسیدگی محصول از هر کرت آزمایشی تعداد پنج بوته پس از حذف اثرات حاشیه‌ای انتخاب و صفات مورفولوژیکی (ارتفاع،

جدول ۳- اکوتیپ‌های کنجد مورد بررسی در شرایط مشهد، ۱۳۸۸

Table 3- Evaluation Sesame ecotype in Mashhad condition

اکوتیپ	منشاء	اکوتیپ	منشاء	اکوتیپ	منشاء
MSC1*	گناباد ۱ (قوژد)	MSC6	فردوس (سه قلعه)	MSC11	اسفراین
MSC2	گناباد ۲ (قوژد)	MSC7	بشروی	MSC12	کلات
MSC3	سبزوار ۱ (داورزن)	MSC8	خواف بخش بالا خواف	MSC13	خلیل آباد
MSC4	سبزوار ۲ (داورزن)	MSC9	خواف (روستای چهارده)	MSC14	کاشمر
MSC5	درگز	MSC10	رشتخوار		

*Mashhad Sesame Collection



شکل ۱- میانگین درجه حرارت روزانه و بارندگی روزانه طی دوره کاشت تا رسیدگی گیاه کنجد طی دو سال زراعی (۹۷-۹۶ و ۹۸-۹۷) در مشهد (IRIMO, 2019)

Figure 1- Mean daily temperature and daily rainfall during of planting to ripening periods in sesame plant during two growing seasons 2017-2018 and 2018-2019

ارتفاع بوته (۱۱۷/۸ سانتی‌متر) در سال دوم حاصل شد که نسبت به سال اول حدود ۲۷ درصد افزایش داشت (جدول ۵). در سال دوم بیشترین ارتفاع بوته از بذر تک کپسول (۱۱۹ سانتی‌متر) حاصل شد که نسبت به بذر چند کپسولی در همین سال تنها ۴ سانتی‌متر ارتفاع بیشتری داشت و از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۷).

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع گیاه تحت تاثیر تمامی تیمارهای آزمایش به‌استثنای نوع بذر معنی‌دار شد (جدول ۴). بیشترین

جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) صفات رویشی و عملکرد در گیاه کنجد تحت تاثیر کودهای زیستی طی دو سال زراعی (۹۷-۹۸ و ۹۶-۹۷)
Table 4- Analysis of variation (means of squares) vegetative criteria and seed yield in sesame affected by biofertilizers during two growing seasons 2017-2018 and 2018-2019

منابع تغییر SOV	درجه ازادی d.f	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد گره در گیاه Number of node per plant	تعداد گره تک کپسول Number of one capsules node	تعداد گره چند کپسول Number of multiple capsules node	تعداد شاخه جانبی Number of branch of branch	طول شاخه جانبی Length of branch	تعداد برگ در گیاه Leaf number per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight	زیست توده Biomass	تعداد کپسول در گیاه Number capsule per plant	عملکرد دانه Seed yield
سال Year(Y)	1	12611**	39.6**	9313**	383**	30.6**	714**	33.0ns	3.45ns	4957376**	353**	1920**
بلوک Block	2	14.8 ns	26.9*	19.8ns	4.18ns	0.283**	41.9*	46.6ns	2.22ns	1333ns	19.0ns	363ns
نوع بذر Seed type (S)	1	6.47 ns	6697**	404*	53.7**	1.21*	3533**	2792**	132**	31224**	347**	138761*
نوع بذر × سال Y×S	1	30.6 **	442*	1593**	232*	0.845*	131*	391**	22.4*	1098ns	538**	6591**
کود زیستی Bio. Ferti. (BF)	3	981**	191**	449**	46.6**	2.28**	820**	288**	5.01ns	38610**	443**	60.7ns
کود زیستی × سال Y×BF	3	188**	189**	141*	26.1**	1.37**	70.0*	61.1**	17.5**	7281ns	162**	23052**
نوع بذر × کود زیستی S×BF	3	186**	107*	168**	225**	1.02**	52.3**	264**	6.23*	29693**	1314*	3344**
سال × نوع بذر × کود زیستی Y×S×BF	3	64.6**	57.6**	120**	43.0**	0.981*	196**	309*	5.46**	9909*	152*	6794**
خطا Error	30	9.33	5.15	7.8	4.5	0.019	3.71	13.7	1.33	3281	17.4	92.9
ضریب تغییرات CV (%)	-	9.5	17.4	12.4	15.6	14.3	19.1	18.4	17.3	21.4	16.4	20.8

ns, * and ** are non-significant and significant in 1 and 5 probability levels respectively.
ns, * and ** are non-significant and significant in 1 and 5 probability levels respectively.

در کودهای زیستی نیتروکسین (ازتوباکتر) در تثبیت بیولوژیکی ازت نقش دارند، از طرفی دیگر باکتری‌های موجود در کود بیوفسفر (باسیلوس و پسودوموناس) به‌طور موثری ترکیبات پیچیده و غیر قابل دسترس فسفات را به شکل یون‌های محلول قابل دسترس در اختیار گیاه قرار می‌دهند. معدنی شدن ترکیبات فسفاتی در محیط رایزوسفر همگام با ترشحات ریشه در حضور باکتری‌های همانند پسودوموناس، باسیلوس افزایش یافته لذا در دسترس قرار گرفتن عناصر غذایی سبب فعال شدن مکان‌های رشد و افزایش ارتفاع گیاه شده است (Kumar, Jha and Saraf, 2015). اثر افزایش تیمارهای به‌کار برده شده بر ارتفاع بوته را مشابه با سایر محققان (Mahmoud Zadeh et al., 2015) می‌توان به‌طور غیرمستقیم به تولید هورمون‌های گیاهی همانند اکسین و جیبرلین توسط باکتری‌ها و نیز تأمین بهینه عناصر غذایی همانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و بور (El-Yazeid et al., 2007) تعمیم داد.

کاربرد کودهای زیستی سبب افزایش ارتفاع بوته به مقدار ۱۱ تا ۱۹/۹ سانتی‌متر نسبت به تیمار عدم مصرف کود (۸۹/۱ سانتی‌متر) شد و بیشترین مقدار ارتفاع از تیمار کود ترکیبی نیتروکسین و بیوفسفر (۱۰۹ سانتی‌متر) حاصل شد (جدول ۸). نتایج برهمکنش سال در نوع کود نشان داد که در سال دوم تمامی تیمارهای کود زیستی ارتفاع بوته بیشتر از ۱۱۹ سانتی‌متر داشتند که بیشترین آن در نوع کود ترکیبی نیتروکسین و بیوفسفر (۱۲۲ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ۹). نتایج جدول ۱۰ نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته از اعمال کود ترکیبی در بذر تک کپسول (۱۱۶ سانتی‌متر) و کمترین مقدار ارتفاع بوته از شاهد و بذر تک کپسول با مقدار ۸۷/۷ سانتی‌متر حاصل شد. دامنه تغییرات ارتفاع بوته در برهمکنش سه‌گانه تیمارها (سال × نوع بذر × کود زیستی) بین ۶۷/۹ در تیمار شاهد، بذر تک کپسول و در سال اول و ۱۳۲ سانتی‌متر در تیمار بذر تک کپسول، کود ترکیبی نیتروکسین و بیوفسفر و در سال دوم حاصل شد (جدول ۱۱). این نتایج با نتایج مالیک و همکاران (Malik et al., 2003) در کنجد مطابقت داشت. به نظر می‌رسد که جمعیت زیاد ریزموجودات آزادی

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر سال بر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد در گیاه کنجد تحت تاثیر کودهای زیستی طی دو سال زراعی (۹۷-۹۶ و ۹۸-۹۷)

Table 5- Means comparisons of year effect on some morphological and seed yield of sesame affected by biofertilizers during two growing seasons 2017-2018 and 2018-2019

تیمار Treatment	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد گره در گیاه Number of node per plant	تعداد گره تک کپسول One capsule node	تعداد گره چند کپسول Multiple capsule node	تعداد شاخه جانبی Number of branch	طول شاخه جانبی Length of branch (cm)	تعداد برگ در گیاه Leaf number per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	زیست‌توده Biomass (g.m ⁻²)	تعداد کپسول در گیاه Number capsule per plant	عملکرد دانه Seed yield (g.m ⁻²)
Y1	85.4 b	28.4 b	13.3 b	15.1 a	2.10 a	18.7 a	45.8 a	5.38 a	714 b	48.8 b	316 b
Y2	117.8 a	50.5 a	41.1 a	9.40 b	0.492 b	11.1 b	44.1 a	5.84 a	858 a	51.1 a	329a

Y1: first year and Y2: second year

Y1: سال اول؛ Y2: سال دوم

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر نوع بذر بر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد در گیاه کنجد تحت تاثیر کودهای زیستی طی دو سال زراعی (۹۷-۹۶ و ۹۸-۹۷)

Table 6- Means comparisons of seed type effect on some morphological and seed yield of sesame affected by biofertilizers during two growing seasons 2017-2018 and 2018-2019

تیمار Treatment	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد گره در گیاه Number of node per plant	تعداد گره تک کپسول One capsule node	تعداد گره چند کپسول Multiple capsule node	تعداد شاخه جانبی Number of branch	طول شاخه جانبی Length of branch (cm)	تعداد برگ در گیاه Leaf number per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	زیست‌توده Biomass (g.m ⁻²)	تعداد کپسول در گیاه Number capsule per plant	عملکرد دانه Seed yield (g.m ⁻²)
بذر تک S1 کپسول	102 a	41.2 a	30.1 a	11.1 b	1.13 b	6.32 b	37.3 b	3.45 b	511 b	47.3 b	269 b
بذر چند S2 کپسول	100 a	37.5 b	24.3 b	13.2 a	1.45 a	23.5 a	52.6 a	6.77 a	562 a	52.7 a	376 a

S1: One capsule seed and S2: Multiple capsule seed.

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترکند بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با هم ندارند
Means followed by the same letter are not significantly different based on LSR test ($p \leq 0.05$)

تعداد گره در بوته

تمامی عوامل آزمایشی بر تعداد گره در بوته تاثیر معنی‌داری داشتند (جدول ۴). در سال دوم حدوداً ۴۳ درصد تعداد گره بیشتر از سال اول در بوته تولید شد (جدول ۵). تعداد گره در گیاه حاصل از بذر تک کپسولی حدوداً ۱۹ درصد بیشتر از تعداد گره حاصل از بذر چند کپسولی بود. تعداد گره در بوته حاصل از بذر چند کپسول ۳۷/۵ عدد بود (جدول ۶). نتایج حاصل از برهمکنش تیمار نوع بذر در سال نشان داد که بیشترین و کمترین تعداد گره در گیاه به‌ترتیب از بذر تک کپسول در سال دوم (۶۲/۴) و از بذر تک کپسول در سال اول به‌دست آمد (جدول ۷). استفاده از کود ترکیبی نسبت به شاهد ۳۲ درصد تعداد گره بیشتری را در بوته تولید کرد (جدول ۸). استفاده از کود ترکیبی در سال دوم بیشترین تعداد گره را داشت که نسبت به شاهد در سال دوم حدود ۲۷ درصد تعداد گره بیشتری داشت. در سال اول تعداد گره در تمام تیمارهای کود زیستی کمتر از سال دوم بود (جدول ۹). استفاده از تیمار تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر در بذر تک کپسولی بیشترین تعداد گره (۶۵/۲ عدد) را در بوته تولید کرد و کمترین مقدار آن در گیاهان حاصل از بذر چند کپسول و شاهد به‌دست آمد (جدول ۱۰). برهمکنش سه‌گانه تیمارها نشان داد که استفاده از کود تلفیقی در بذر تک کپسول و سال دوم بیشترین تعداد گره (۸۵/۷) را داشت و کمترین مقدار آن در گیاهان حاصل از بذر تک کپسول، سال اول و در شاهد (۱۵/۸) مشاهده شد. با این حال در سال اول نسبت به سال دوم در تمامی تیمارها تعداد گره کمتری در بوته به‌دست آمد. دامنه تعداد گره در بوته در سال دوم بین ۳۴/۷ تا ۸۵/۷ بود (جدول ۱۱). افزایش تعداد گره به افزایش ارتفاع گیاه منجر می‌شود (Weiss, 2000)، در این بررسی نیز مقایسه نتایج ارتفاع با تعداد گره در گیاه هم‌خوانی داشت. در همین راستا نتایج مطالعه بیژنی و همکاران (Bijani et al., 2015) در کنجد نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاه از تلقیح بذور کنجد با ۷۵ کیلوگرم کود شیمیایی به‌دست آمد که نسبت به همین سطح کود شیمیایی و عدم تلقیح بذر کنجد اختلاف معنی‌داری داشت. به‌نظر می‌رسد تثبیت نیتروژن، رهاسازی یون‌های فسفات، پتاسیم، آهن و سایر عناصر ریز مغذی دیگر در اثر فعالیت باکتری‌های محرک رشد همانند *ازتوباکتر*، *آزوسپیریلیوم*، *باسیلوس*‌ها و *سودوموناس*‌ها در محیط ریشه؛ شرایط را برای جذب بهتر عناصر غذایی فراهم نموده و با فعال شدن مکان‌های مریستمی باعث افزایش ارتفاع و تعداد گره در گیاه گردیده است. کاهش در مقادیر نیتروژن و فسفر خاک طی دو سال اجرای آزمایش (جدول ۱ و ۲) نشان‌دهنده فراهمی و برداشت بیشتر این عناصر از خاک توسط گیاه، به‌دلیل آزادسازی بیشتر این عناصر از خاک در نتیجه افزایش جمعیت ریزجانداران مفید خاک‌زی ناشی از مصرف کودهای زیستی بود؛ که خصوصاً در سال دوم با افزایش در ارتفاع و تعداد گره در گیاه مشاهده گردید. لذا افزایش تعداد

گره از طریق تاثیر بر تعداد کپسول در بوته که خود یکی از اجزای اصلی عملکرد کنجد می‌باشد سبب افزایش عملکرد کنجد شده است که با اهداف این بررسی مطابقت داشت. علت همبستگی تعداد گره با سایر صفات مورد اندازه‌گیری از جمله ارتفاع، را می‌توان این‌گونه عنوان نمود که تعداد گره در کنجد اولاً تولیدکننده یک جفت برگ در دو طرف ساقه است، دوماً در صورتی که شرایط مهیا باشد امکان دارد کپسول تولید نشده و تولید یک شاخه جانبی کند که این شاخه جانبی خود توانایی تولید گره، برگ و کپسول را خواهد داشت، ثانیاً اگر این گره شاخه جانبی تولید نکرد تولید کپسول خواهد کرد که خود از اجزای عملکرد کنجد می‌باشد. در حقیقت با ظهور هر گره می‌تواند حداقل یک جفت کپسول ظاهر شود و اگر وضعیت تغذیه‌ای مساعد باشد نیز می‌تواند شاخه جانبی از این گره‌ها تولید شود (Langham, 2007).

تعداد گره تک کپسول و چند کپسول

ظهور کپسول در گره هر برگ به‌طور مستقیم وابسته به ژنتیک گیاه و به‌طور غیر مستقیم وابسته به مدیریت مناسب زراعی همانند تغذیه گیاه است (Langham, 2007). این دو صفت تحت تاثیر تمامی تیمارهای آزمایشی معنی‌دار شدند (جدول ۴). بیشترین تعداد گره تک کپسول با مقادیر ۴۱/۱ در سال دوم و بیشترین تعداد گره چند کپسول در سال اول با مقدار ۱۵/۱ عدد به‌دست آمد (جدول ۵). با افزایش ارتفاع در یک سوم بالایی گیاه فاصله گره‌ها کمتر شده و همین گره‌ها خود حاوی تک کپسول شده‌اند (Weiss, 2000). در حقیقت افزایش ارتفاع سبب افزایش تعداد گره تک کپسول شد و تعداد گره چند کپسولی کمتری را تولید کرد. به نظر می‌رسد شاید علت کاهش تعداد گره چند کپسول در کاهش مقدار آسمیلات لازمه تولیدی توسط برگ‌های کمتر توسعه‌یافته برای صرف انرژی بیشتر گیاه در تولید گره‌های چند کپسولی به جای افزایش در ارتفاع گیاه باشد (Singh, and Ashri, 2007). لذا با افزایش در ارتفاع گیاه تعداد گره‌های تک کپسولی افزایش و چند کپسولی کاهش داشت (جدول ۶). بر اساس مقایسه میانگین نوع بذر در جدول ۶ در بذر تک کپسول، تعداد گره تک کپسول ۱۹ درصد بیشتر از تعداد گره تک کپسول در بذر چند کپسول بود و در بذر چند کپسول تعداد گره چند کپسولی حدود ۱۵ درصد بیشتر از تعداد گره چند کپسولی در بذر تک کپسول بود. نتایج برهمکنش سال در نوع بذر نشان داد که بیشترین تعداد گره تک کپسولی (۴۹/۸ عدد) در سال دوم و از بذر تک کپسول و بیشترین تعداد گره چند کپسولی در سال دوم از بذر چند کپسولی به‌دست آمد با این حال بذر چند کپسولی در سال اول ۱۴/۲ عدد گره چند کپسولی تولید کرد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار نوع بذر چند کپسولی در سال دوم نداشت (جدول ۷). تعداد گره تک کپسولی در سال اول و تعداد گره چند کپسولی در سال دوم بیشتر بود

(جدول ۶) که با نتایج رابطه انواع کپسول و ارتفاع همخوانی داشت. اعمال کود تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر بیشترین تعداد گره تک کپسول را تولید کرد به طوری که نسبت به شاهد حدود ۳۵ درصد تعداد گره تک کپسول بیشتری به وجود آمد. کمترین تعداد گره چند کپسولی (۱۰/۳ عدد) در تیمار شاهد مشاهده شد و اعمال تیمارهای کود زیستی نیتروکسین، بیوفسفر و تلفیق نیتروکسین و بیوفسفر به ترتیب ۱۴/۱، ۱۲/۷ و ۱۳/۶ عدد گره چند کپسولی در بوته را تولید کردند (جدول ۸). در سال دوم اعمال کود بیوفسفر و تلفیق نیتروکسین و بیوفسفر با مقادیر ۴۲/۷ و ۴۸/۵ بیشترین تعداد گره تک کپسول را در بوته تولید کردند و حداقل تعداد گره تک کپسول در بوته مربوط به سال اول و در دو تیمار شاهد و نیتروکسین بود. در خصوص تعداد گره چند کپسول هر چند تعداد آن‌ها در بوته از ۱۹ عدد بیشتر نبود با این حال بیشترین تعداد گره چند کپسول از تیمار نیتروکسین و در سال اول حاصل شد و کمترین تعداد گره چند کپسول در سال دوم و در تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۹). به دست آمدن بیشترین گره چند کپسولی در تیمار نیتروکسین و در سال اول می‌تواند به علت نقش نیتروکسین در طول دوره رویش گیاه باشد، یکی از دلایل تاثیر این باکتری‌ها، آزادسازی بیشتر نیتروژن برای گیاه بوده که این عنصر علاوه بر نقش مستقیمی که در تامین اسیدهای آمینه، بازهای ازته و بدین‌وسیله پروتئین‌ها و اسید نوکلئیک در گیاه دارد به‌طور غیر مستقیم از طریق راه‌اندازی بسیاری از آنزیم‌های موثر در شکستن رکود جوانه‌ها (تحریک پروتئین فسفاتاز که روی باقی‌مانده‌های دی‌فسفوریلازهای متعدد در پروتئین نترات ریدک‌تاز در اثر عوامل ذکر شده دارد سبب تحریک آنزیم‌ها میشود (Taiz and Zaiger, 2002) و سنتز سیتوکینین نقش در رشد و تولید محصول دارد (Haghparast, 1991). در واقع هر گره برگ کنگد توانایی تولید بیش از یک کپسول در صورت مهیا بودن شرایط را دارد این شرایط آنقدر پیچیده بوده که در یک گیاه حتی در مکان‌های جداگانه بذر چند کپسولی دیده می‌شود و تاییدی بر این مهم می‌باشد (Langham, 2007). علاوه بر این افزایش تعداد گره چند کپسولی در تیمار نیتروکسین می‌تواند به تعداد فیتوکروم نوری که تحریک شده نیز مرتبط باشد یعنی علاوه بر مهیا شدن شرایط تغذیه‌ای، مقدار و کیفیت تابش نوری نیز در تولید گل که منجر به تولید کپسول می‌شود نیز می‌تواند موثر باشد (Lee et al., 2002; Mockler et al., 1999). نتایج تاثیر سه‌گانه تیمارها نشان داد که کمترین تعداد گره تک کپسول (۵/۴۶ عدد) در سال اول، از تیمار شاهد و از بذر تک کپسول حاصل شد و در سال اول بیشترین مقدار تعداد گره تک کپسول در استفاده از کود زیستی تلفیقی (نیتروکسین+بیوفسفر) در بذر تک کپسول با مقدار ۲۰/۷ عدد به دست آمد. در سال دوم در همین نوع بذر تک کپسول بیشترین تعداد گره تک کپسول از تیمار تلفیقی نیتروکسین+بیوفسفر با مقدار ۶۷/۲ حاصل شد. در سال دوم تعداد گره

تک کپسول در هر دو نوع بذر بیشتر از ۲۹ عدد در بوته بود. تعداد گره‌های چند کپسول در سال دوم در گیاهان حاصل از بذور چند کپسولی کمتر از ۲۴ عدد در هر بوته بود. بیشترین تعداد گره چند کپسول از در سال دوم از بذور چند کپسولی و استفاده از کودهای تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر و به مقدار ۲۳/۹ حاصل شد (جدول ۱۱). نتایج مطالعه سجادی نیک و همکاران (Sajadi Nik et al., 2011) نشان داد هنگامی که از کود زیستی نیتروکسین در تلقیح بذور کنگد استفاده شد تعداد کپسول به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داشت. در همین ارتباط یساری و پاتوردهان (Yasari and Patwardhan, 2007) اظهار داشتند که ریز جانداران در خاک از طریق تولید و ترشح مواد تحریک‌کننده رشد، سبب بهبود رشد عملکرد گیاهان می‌شوند.

تعداد و طول شاخه جانبی در بوته

تعداد و طول شاخه جانبی در بوته تحت تاثیر تمامی تیمارهای آزمایشی معنی‌دار شدند (جدول ۴). در سال اول اجرای طرح تعداد و طول شاخه جانبی در بوته بیشتری نسبت به سال دوم حاصل شد (جدول ۵). گیاهان حاصل از بذور چند کپسولی به ترتیب حدود ۲۲ و ۷۳ درصد تعداد و طول شاخه جانبی بیشتری از گیاهان حاصل از بذور تک کپسولی تولید کردند (جدول ۶). در سال اول تعداد و طول شاخه جانبی بیشتری نسبت به سال دوم در هر دو نوع بذر تک کپسول و چند کپسول حاصل شد. با این حال طول شاخه جانبی در هر دو سال در بذر چند کپسولی بیشتر از طول ساقه جانبی در بذر تک کپسول بود (جدول ۷). کمترین تعداد شاخه جانبی از شاهد و بیشترین تعداد شاخه جانبی از تیمار کود نیتروکسین (۱/۶۴) و نیز از تیمار کود تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر (۱/۶۱) حاصل شد. بیشترین طول شاخه جانبی از تیمار کود تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر (۲۶/۹ سانتی‌متر) حاصل شد و در شاهد کمترین بود (جدول ۸). نتایج حاصل از جدول ۹ نشان داد که در سال دوم استفاده از کودهای زیستی تاثیر مشهودی در تولید شاخه جانبی در گیاه نداشت اما در سال اول تولید تعداد شاخه در بوته نسبت به سال دوم بیشتر بود. بیشترین طول شاخه جانبی از تاثیر کود تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر و در سال اول با مقدار ۳۲/۲ سانتی‌متر حاصل شد که نسبت به سال دوم از همین تیمار حدود ۱۱ سانتی‌متر طول شاخه جانبی بیشتری داشت (جدول ۹). کمترین تعداد شاخه جانبی از تیمار شاهد و در بذر تک کپسول حاصل شد (جدول ۱۰) که این تیمار نیز کمترین طول شاخه (۲/۹۴ سانتی‌متر) را داشت. کاربرد کود نیتروکسین در بذر چند کپسول بیشترین تعداد شاخه جانبی (۲/۰۱ عدد) را در گیاه تولید کرد با این حال بیشترین طول شاخه جانبی از تاثیر کود تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر در بذر چند کپسول حاصل شد که نسبت به همین تیمار کود زیستی (تلفیقی) در بذر چند کپسول حدود ۳۶ درصد طول شاخه بیشتری داشت (جدول ۱۰). در سال اول

و در هر دو نوع بذر، هم تعداد شاخه جانبی و هم طول شاخه جانبی در بوته بیشتری نسبت سایر تیمارهای مورد آزمایش به‌دست آمد. در صفت طول شاخه جانبی در تیمارهای کود زیستی و بذر چند کپسول و در سال اول دامنه طول شاخه جانبی بین ۲۵ تا ۳۵ سانتی‌متر قرار داشت در صورتی‌که در سایر تیمارها تنوع زیادی در طول شاخه جانبی مشاهده نشد و شاخه‌های جانبی تا یک سانتی‌متری هم مشاهده گردید. این طول‌ها تقریباً مربوط به بوته‌هایی بود که در آن‌ها تنها یک شاخه جانبی ظهور کرده بود. در سال دوم در هر دو نوع بذر تک کپسول و چند کپسول اعمال تیمارهای کودی زیستی سبب کاهش شدید تعداد شاخه جانبی در بوته شد (جدول ۱۱). به‌طور کلی میانگین افزایش در تعداد و طول شاخه جانبی در تیمارهای کود زیستی برای سال اول بیشتر بود که با افزایش در تعداد گره چند کپسول و عملکرد دانه نیز همراه بود (جدول ۱۱). نتایج مطالعه شاکری و همکاران (Shakeri et al., 2013) نشان داد استفاده از کودهای زیستی به‌ویژه نیتروکسین سبب افزایش معنی‌دار تعداد شاخه جانبی در بوته در گیاه کنجد شد. در مطالعه حاضر افزایش کودهای زیستی سبب افزایش تعداد شاخه و طول شاخه جانبی در گیاه شد. به نظر می‌رسد در کود نیتروکسین که حاوی باکتری‌های *ازتوباکتر* و گونه‌های متعدد *آزوسپیریلیوم* هستند مقدار نیتروژن تثبیت‌شده به‌وسیله آن‌ها تا ۴۰ کیلوگرم در هکتار در سال می‌رسد (Maleki et al., 2011). از طرفی دیگر باکتری‌های موجود در بیوفسفر می‌توانند از طریق تولید آنزیم فسفاتاز در قابل دسترس قرار دادن فسفات‌های نامحلول کمک نموده و از طریق فراهم آوردن شرایط رشدی تعداد شاخه و طول آن‌ها را در گیاه افزایش دهند.

تعداد و وزن خشک برگ در گیاه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که تنها سال تأثیری بر تعداد برگ در گیاه نداشت (جدول ۴). بوته‌های حاصل از بذر چند کپسول حدود ۲۹ درصد تعداد برگ بیشتری را تولید کردند. تعداد برگ در بوته‌های حاصل از بذور تک کپسول ۳۷/۳ عدد بود (جدول ۶). گیاهان حاصل از بذر چند کپسول تعداد برگ بیشتری تولید کردند که این روند بر وزن خشک برگ آن‌ها نیز تأثیر داشت به‌طوری‌که وزن خشک برگ در بوته آن‌ها ۶/۷۷ گرم بود و از گیاهان حاصل بذر تک کپسول ۳/۳۲ گرم وزن خشک برگ بیشتری را تولید نمودند (جدول ۶). در هر دو سال آزمایش بوته‌های بذر تک کپسول کمترین تعداد برگ را در بوته تولید کردند و در بوته‌های حاصل از بذر چند کپسول تعداد برگ در بوته بیشتر از ۵۱ عدد بود (جدول ۷). وزن خشک برگ در گیاهان حاصل از بذر چند کپسول برای هر دو سال مقدار بیشتری نسبت به تیمار بذر تک کپسول نشان دادند (جدول ۷). بیشترین و کمترین تعداد برگ در بوته به‌ترتیب ۵۲/۲ و ۳۹/۳ عدد از اعمال کود تلقیحی و تیمار شاهد به‌دست آمد. اعمال کودهای زیستی

تعداد برگ در بوته بیشتر از ۴۳ عدد در بوته را تولید کردند. برگ‌ها در کنجد به‌عنوان یکی از منابع اصلی (سینک) در پر کردن دانه‌های کنجد و یا به‌طور کلی کپسول‌های کنجد می‌باشد در واقع محل اصلی تامین اسیمیلات لازم برای پرکردن دانه‌ها همین برگ‌ها هستند (Taiz and Zaiger, 2002). درخصوص وزن خشک برگ اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کود زیستی مورد آزمایش مشاهده نشد (جدول ۸). برهمکنش سال در کود زیستی نشان داد، در هر دو سال استفاده از کود زیستی تلقیحی بیشترین تعداد برگ در بوته را تولید کرد (جدول ۹). تنها تیمار شاهد برای هر دو سال اختلاف معنی‌داری از نظر تعداد برگ در بوته با سایر تیمارها نشان داد (جدول ۹). درخصوص وزن خشک برگ در بوته کمترین آن (۳/۶۳ گرم در بوته) از تیمار شاهد و در سال اول حاصل شد و بیشترین مقدار صفت مذکور از تیمار کود تلقیحی و سال اول (۸/۵۲ گرم برگ در بوته) به‌دست آمد (جدول ۹). اعمال کود زیستی در دو نوع بذر تک کپسول و چند کپسول مقدار برگ تولیدی در بوته را به دو گروه متمایز تقسیم کرد به‌طوری‌که در گیاهان حاصل از بذر تک کپسول کاربرد کودهای زیستی حداقل برگ را در بوته تولید کرد در صورتی‌که در بوته‌های حاصل از بذور چند کپسول تعداد برگ تولیدی در بوته بیشتر از ۵۰ عدد در بوته بود و دامنه تعداد برگ تولیدی در بوته در گیاهان حاصل از بذر تک کپسول و کود زیستی بین ۳۵ تا ۴۰ برگ در بوته قرار داشت، همین روند در وزن خشک برگ نیز مشاهده شد. بیشترین وزن خشک برگ (۷/۱۷ گرم) از تیمار تلقیحی نیتروکسین و بیوفسفر در بذر چند کپسول حاصل شد و کمترین مقدار آن از شاهد و بذر تک کپسول (۲/۱۹ گرم در بوته) به‌دست آمد (جدول ۱۰). بیشترین تعداد برگ در بوته در سال اول و در گیاهان حاصل از بذر چند کپسولی و استفاده از کود تلقیحی نیتروکسین و بیوفسفر با تعداد ۵۷/۵ عدد حاصل شد در سال دوم در تیمار بذر چند کپسول اعمال تمام تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها از لحاظ تعداد برگ تولیدی نشان نداد. از لحاظ وزن خشک برگ تیماری که کمترین تعداد برگ را داشت از کمترین وزن خشک برگ را نیز برخوردار بود (جدول ۱۱). بیشترین مقدار وزن خشک برگ در بوته مشابه تعداد برگ در گیاه و به مقدار ۸/۸۶ گرم در بوته به‌دست آمد (جدول ۱۱). نتایج نشان داد که تلقیح بذور آفتابگردان با باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش ارتفاع گیاه، تعداد برگ، وزن دانه و میزان روغن دانه در آفتابگردان شد (Shaukat et al., 2006). کومار و همکاران (Kumar et al., 2009) اظهار داشتند که علت افزایش رشد بوته‌های کنجد در شرایط مزرعه با کاربرد کود زیستی حاوی *Pseudomonas aeruginosa* ناشی از تولید هورمون IAA، اسید سیانیدریک (HCN)، سیدروفور، حلالیت فسفات‌های غیر آلی و تأثیری که در کاهش جمعیت برخی آفات خاکی (نماتد) بود. به نظر می‌رسد که علت

افزایش وزن خشک برگ را می‌توان به‌ویژگی سنتز مواد تنظیم‌کننده رشد مرتبط دانست (Fathi, 2013).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در نوع بذر بر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد در گیاه کنجد تحت تاثیر کودهای زیستی طی دو سال زراعی (۹۷-۹۸ و ۹۶-۹۷)

Table 7- Means comparisons of interaction year in seed type on some morphological and seed yield of sesame affected by biofertilizers during two growing seasons 2017-2018 and 2018-2019

تیمار Treatment	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد گره در گیاه Number of node per plant	تعداد گره تک کپسول One capsule node	تعداد گره چند کپسول Multiple capsule node	تعداد شاخه جانبی Number of branch	طول شاخه جانبی Length of branch (cm)	تعداد برگ در گیاه Leaf number per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	زیست‌توده Biomass (g.m ⁻²)	تعداد کپسول در گیاه Number capsule per plant	عملکرد دانه Seed yield (g.m ⁻²)
Y1×S1	85.8 b	20.4 b	10.4 c	9.60 c	2.06 a	8.55 b	37.9 b	3.04 b	680 a	44.9 b	264 b
Y1×S2	85.1 b	30.5 b	16.1 c	14.2 a	2.11 a	29.0 a	53.7 a	7.72 a	714 a	56.9 a	395 a
Y2×S1	119 a	62.4 a	49.8 a	12.6 b	0.200 c	4.15 b	36.8 b	3.87 b	818 a	49.8 ab	274 b
Y2×S2	115 a	48.1 b	32.5 b	15.6 a	0.783 b	18.0 ab	51.5 a	5.82 ab	899 a	50.5 ab	358 a

Y1: سال اول و Y2: سال دوم؛ S1: بذر تک کپسول و S2: بذر چند کپسول

Y1: Firth year and Y2: Second year; S1: One capsule seed and S2: Multiple capsule seed.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر کود زیستی بر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد در گیاه کنجد تحت تاثیر کودهای زیستی طی دو سال زراعی (۹۷-۹۸ و ۹۶-۹۷)

Table 8- Means comparisons of biological fertilizer on some morphological and seed yield of sesame affected by biofertilizers during two growing seasons 2017-2018 and 2018-2019

تیمار Treatment	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد گره در گیاه Number of node per plant	تعداد گره تک کپسول One capsule node	تعداد گره چند کپسول Multiple capsule node	تعداد شاخه جانبی Number of branch	طول شاخه جانبی Length of branch (cm)	تعداد برگ در گیاه Leaf number per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	زیست‌توده Biomass (g.m ⁻²)	تعداد کپسول در گیاه Number capsule per plant	عملکرد دانه Seed yield (g.m ⁻²)
BF0	89.1 c	33.3 a	23.0 b	10.3 b	0.717 c	8.13 b	39.3 b	4.59 a	438 b	43.1 b	300 a
BF1	101 b	39.6 a	25.5 b	14.1 a	1.64 a	12.7 ab	43.2 ab	4.78 a	564 a	50.4 ab	333a
BF2	106 ab	40.3 a	27.6 b	12.7 b	1.18 b	11.9 ab	45.3 ab	4.57 a	550 a	48.6 ab	310 a
BF3	109 a	49.2 a	35.7 a	13.6 ab	1.61 a	26.9 a	52.2 a	6.51 a	579 a	57.8 a	349 a

BF0: شاهد، BF1: نیتروکسین، BF2: بیوفسفر، BF3: ترکیب مساوی از نیتروکسین و بیوفسفر

BF0: Control, BF1: Nitroxin, BF2: Biophosphor and BF3: Equal mixture of nitroxin+biophosphor.

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترکند بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با هم ندارند

Means followed by the same letter are not significantly different based on LSR test ($p \leq 0.05$)

زیست‌توده

وزن زیست‌توده کنجد تحت تاثیر سال، نوع بذر، کود زیستی، برهمکنش کود زیستی در نوع بذر و سال در نوع بذر در کود زیستی معنی‌دار شد (جدول ۴). سال دوم نسبت به سال اول حدود ۱۷ درصد وزن زیست‌توده در متر مربع بیشتری را تولید کرد (جدول ۵). گیاهان حاصل از بذر چند کپسولی با مقدار ۵۶۲ گرم در متر مربع حدود ۹ درصد نسبت به گیاهان حاصل از بذر تک کپسول وزن زیست‌توده بیشتری را تولید کردند (جدول ۶). هرچند سال دوم وزن زیست‌توده بیشتری را نسبت به سال اول تولید کرد اما از لحاظ آماری این اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۷). بر اساس جدول ۸ استفاده از کودهای زیستی سبب افزایش معنی‌دار وزن زیست‌توده در متر مربع شد، با این حال بین کودهای زیستی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج مقایسه میانگین‌ها در جدول ۱۰ نشان داد که از کاربرد کود

زیستی تلفیق نیتروکسین و بیوفسفر در بذر چند کپسول بیشترین وزن زیست‌توده (۶۲۷ گرم در مترمربع) به‌دست آمد که نسبت به اعمال همین تیمار در بذر تک کپسول حدود ۱۸ درصد بیشتر بود اما نسبت به شاهد در همین بذر چند کپسولی حدود ۲۲ درصد افزایش نشان داد. در بذر تک کپسول هم تیمار کود تلفیقی بیشترین مقدار وزن زیست‌توده را داشت (جدول ۱۰). نتایج برهمکنش سه‌گانه تیمارها نشان داد که کاربرد کود تلفیقی در هر دو نوع بذر تک و چند کپسولی وزن زیست‌توده تولید شده در بالاترین گروه آماری (a) قرار داشت. آنچه قابل تامل بود این است که در تمامی تیمارهای کودی در سال دوم مقادیر زیست‌توده تولیدی از ۸۶۰ گرم در متر مربع بیشتر بود و بیشترین وزن زیست‌توده در سال دوم و از گیاه حاصل از بذر چند کپسول و استفاده از کود زیستی تلفیقی به‌دست آمد و کمترین مقدار وزن خشک زیست‌توده از شاهد در سال اول و در گیاه حاصل از بذر

زیستی نیتروکسین سبب افزایش تجمع ماده خشک به میزان ۱۲۲۵/۷۷ گرم در متر مربع شد که نسبت به عدم تلقیح حدود ۱۹ درصد افزایش داشت. به نظر می‌رسد کودهای زیستی یا به‌صورت مستقیم از طریق در دسترس قرار دادن منابع غذایی (نیتروژن، پتاسیم، فسفر و عناصر ریز مغذی ضروری) و یا به‌صورت غیر مستقیم از طریق کاهش اثرات برخی آفات خاکی (Kumar et al., 2009) سبب افزایش مکان‌های رشد در گیاه شده و افزایش زیست‌توده را به دنبال داشته است (Bhardwaj et al., 2014).

تک کپسول حاصل شد در تمامی تیمارها زمانی که هیچ‌گونه کود زیستی استفاده نشد وزن خشک زیست‌توده در کمترین مقدار خود قرار داشت (جدول ۱۱). نتایج مطالعه یساری و پاتوردهان (Yasari and Patwardhan, 2007) نیز نشان داد که تلقیح بذور کلزا با باکتری‌های *ازتوباکتر* (*Azotobacter*) و *آزسپیریلیوم* (*Azospirillum*) در ۱۸۲ روز بعد از کشت، وزن خشک اندام هوایی را به ۴۹۹ گرم در متر مربع رسانید که نسبت به شاهد حدود ۱۴ درصد افزایش داشت. در تحقیقی دیگر سجادی نیک و یدوی (Sajadi Nik and Yadavi, 2013) گزارش کردند که تلقیح بذور کنجد با کود

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در کود زیستی بر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد در گیاه کنجد تحت تاثیر کودهای زیستی طی دو سال زراعی (۹۷-۹۸ و ۹۶-۹۷)

Table 9- Means comparisons of interaction year in biological fertilizer on some morphological and seed yield of sesame affected by biofertilizers during two growing seasons 2017-2018 and 2018-2019

تیمار Treatment	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد گره در گیاه Number of node per plant	تعداد گره تک کپسول One capsule node	تعداد گره چند کپسول Multiple capsule node	تعداد شاخه جانبی Number of branch	طول شاخه جانبی Length of branch (cm)	تعداد برگ در گیاه Leaf number per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	زیست‌توده Biomass (g.m ⁻²)	تعداد کپسول در گیاه Number capsule per plant	عملکرد دانه Seed yield (g.m ⁻²)
Y1×BF0	70.6 d	22.6 c	9.76 d	12.9 abc	1.03 b	13.5 ab	40.0 b	3.63 b	767a	43.6 b	281 b
Y1×BF1	80.5 d	29.1 c	10.0 d	19.1 a	2.69 a	14.6 ab	43.3 ab	4.58 ab	743 a	55.6 ab	308 ab
Y1×BF2	93.2 c	24.9 c	12.5 d	12.4 abc	2.20 a	13.6 ab	43.5 ab	4.63 ab	715 a	44.8 ab	285 b
Y1×BF3	97.2 bc	38.6 bc	22.9 c	15.7 ab	2.42 a	32.2 a	56.3 a	8.52 a	737 a	59.4 a	416 a
Y2×BF0	107 b	44.0 b	36.3 b	7.73 c	0.401 cd	10.2 b	41.9 b	4.55 ab	780 a	42.7 b	291 b
Y2×BF1	121 a	46.2 b	37.0 b	9.20 bc	0.600 bcd	10.8 ab	43.1 ab	4.97 ab	886 a	45.3 ab	360 ab
Y2×BF2	119 a	51.8 ab	42.7 ab	9.10 bc	0.166 d	12.5 b	44.9 ab	5.34 ab	885 a	52.3 ab	333 ab
Y2×BF3	122 a	60.1 a	48.5 a	11.6 abc	0.800 bc	20.6 ab	48.0 ab	4.51 ab	922 a	56.3 ab	306 ab

Y1: سال اول و Y2: سال دوم؛ BF0: شاهد، BF1: نیتروکسین، BF2: بیوفسفر، BF3: ترکیب مساوی از نیتروکسین و بیوفسفر

Y1: first year and Y2: second year; BF0: Control, BF1: Nitroxin, BF2: Biophosphor, BF3: Equal mixture of nitroxin+biophosphor.

کپسول دیده شد (جدول ۷). استفاده از تیمار کود تلفیقی با تولید ۵۷/۸ عدد کپسول در بوته بیشترین تعداد کپسول در بوته را داشت و کمترین مقدار صفت فوق از تیمار شاهد (۴۳/۱) به‌دست آمد (جدول ۸). نتایج بره‌کمنش نوع کود در سال نشان داد تیماری که در آن از کود تلفیقی استفاده شده بود برای هر دو سال بیشترین تعداد کپسول در بوته را داشت که نسبت به تیمار بدون کود در سال اول و سال دوم به‌ترتیب حدود ۲۶ و ۲۴ درصد تعداد کپسول در بوته بیشتری داشت (جدول ۹). نتایج جدول ۱۰ نشان داد که بذور چند کپسول واکنش مثبتی به تعداد کپسول در بوته نشان داده است به‌طوری‌که در نوع بذور چند کپسول در اثر کاربرد کود زیستی تعداد کپسول در بوته بیشتر از ۵۷ عدد بود حتی در شاهد تعداد کپسول در این گروه ۴۵/۷ عدد بود در صورتی‌که تعداد کپسول در بوته در نوع بذور تک کپسول و کودهای زیستی از ۴۱ کپسول در بوته بیشتر نشد (جدول ۱۰). نتایج بره‌کمنش سه‌گانه تیمارها نشان داد که در سال دوم در هر دو نوع بذور تک و چند کپسول و استفاده از تیمارهای کود زیستی تنوعی در تعداد کپسول در بوته مشاهده شد با این حال بیشترین تعداد کپسول در بوته

تعداد کپسول در گیاه

تمامی عوامل آزمایشی بر تعداد کپسول در بوته تاثیر معنی‌داری داشت (جدول ۴). در سال دوم نسبت به سال اول دو کپسول بیشتر تولید شد (جدول ۵). گیاه حاصل از بذور چند کپسولی با ۵۲/۷ عدد کپسول در بوته نسبت به گیاه حاصل از بذور تک کپسول حدود ۱۰ درصد تعداد کپسول بیشتری داشت (جدول ۶). به نظر می‌رسد در کنجد بر اساس یافته‌های تحقیقاتی وراثت‌پذیری بالایی برای جذب خالص (NAR)، شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد محصول بیشتر (CGR) ارتفاع و عملکرد دانه گزارش شده است (Singh et al., 2000) که شاید یکی از دلایل افزایش تعداد کپسول در بذور چند کپسولی تولید مواد فتوسنتزی بیشتر در برگ آن‌ها در مقایسه با گیاهان حاصل از بذور تک کپسول باشد. نتایج بره‌کمنش سال در نوع بذور نشان داد که در هر دو سال گیاهان حاصل از بذور چند کپسولی نسبت به گیاهان حاصل از بذور تک کپسول تعداد کپسول بیشتری در بوته تولید کردند. بیشترین تعداد کپسول در بوته در بذور چند کپسول و در سال اول به‌دست آمد و کمترین آن در همان سال اول از بذور تک

مربع) نسبت به گیاهان حاصل از بذر تک کپسول حدود ۲۸ درصد عملکرد دانه در متر مربع بیشتری داشتند (جدول ۶). در هر دو سال گیاهان حاصل از بذر چند کپسول به ترتیب ۳۹۵ و ۳۵۸ گرم در متر مربع عملکرد تولید کردند که نسبت به بذر تک کپسولی در هر دو سال بیشتر بود (جدول ۷). نتایج برهمکنش کود زیستی در سال (جدول ۹) نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد دانه در متر مربع به ترتیب با مقادیر ۴۱۶ و ۲۸۱ گرم در متر مربع از تاثیر کود تلفیقی در سال اول و تیمار شاهد در همان سال به دست آمد. در سال دوم تاثیر کودهای زیستی بر وزن دانه در متر مربع از نوسان کمتری در بین تیمارها برخوردار بود (جدول ۹) که نشان دهنده سازگاری زیستی بیشتر ریزجاندانان با شرایط محیطی به کندی و با گذشت زمان است (Mehdizadeh et al., 2015). تاثیر کودهای زیستی بر بذر چند کپسولی سبب افزایش عملکرد دانه در متر مربع شد (جدول ۱۰). بیشترین عملکرد دانه از تاثیر کود تلفیقی در بذر چند کپسولی حاصل شد که نسبت به تاثیر همین تیمار کودی در بذر تک کپسول حدود ۲۰ درصد افزایش داشت. کمترین عملکرد دانه در متر مربع از بذر تک کپسول و در شاهد (عدم استفاده از کود) و با مقدار ۲۴۱ گرم دانه در متر مربع به دست آمد (جدول ۱۰).

مربوط به تیمار بذر تک کپسول و استفاده از کود تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر در سال اول (۷۴/۱) و کمترین تعداد کپسول در بوته از تیمار شاهد و بذر تک کپسول در سال اول به دست آمد (جدول ۱۱). در مطالعه حسن پور و همکاران (Hasanpour et al., 2011) در بررسی واکنش عملکرد کنگد به کاربرد نیتروژن و کود زیستی سوپرنیتروپلاس نتیجه گرفتند که با مصرف کود بیولوژیک درصد باروری گل و تعداد کپسول در رقم ورامین افزایش یافت. به نظر می رسد کودهای زیستی از طریق تولید هورمون های محرک رشد سبب افزایش سطح فتوسنتزکننده در گیاه شده و در نتیجه باعث افزایش آسیمیلات لازم برای باروری گل ها فراهم شده است. در همین رابطه جهان و همکاران (Jahan et al., 2012) گزارش کردند که در کنگد کارایی مصرف نور در کاربرد کودهای زیستی بیوسولفور و نیتروکسین ۴۶٪ بیشتر از کاربرد بیوفسفر و تیمار شاهد بود و این می تواند به عنوان یکی از دلایل افزایش مواد فتوسنتزی در باروری گل ها مورد توجه قرار گیرد.

عملکرد دانه

عملکرد دانه در متر مربع در سال دوم نسبت به سال اول حدود ۴ درصد افزایش داشت، عملکرد دانه در سال اول ۳۱۶ گرم در متر مربع بود (جدول ۵). گیاهان حاصل از بذر چند کپسول (۳۷۶ گرم در متر

جدول ۱۰ - مقایسه میانگین اثر متقابل نوع بذر در کود زیستی بر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد در گیاه کنگد تحت تاثیر کودهای زیستی طی دو سال زراعی (۹۷-۹۸ و ۹۶-۹۷)

Table 10- Means comparisons of interaction seed type in biological fertilizer on some morphological and seed yield of sesame affected by biofertilizers during two growing seasons 2017-2018 and 2018-2019

تیمار Treatment	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد گره در گیاه Number of node per plant	تعداد گره تک کپسول One capsule node	تعداد گره چند کپسول Multiple capsule node	تعداد شاخه جانبی Number of branch	طول شاخه جانبی Length of branch (cm)	تعداد برگ در گیاه Leaf number per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	زیست توده Biomass (g.m ⁻²)	تعداد کپسول در گیاه Number capsule per plant	عملکرد دانه Seed yield (g.m ⁻²)
S1×BF0	87.7 d	34.9 bc	25.5 b	9.46 bc	1.11 d	2.94 c	35.2 b	2.19 c	398d	37.6 c	241 c
S1×BF1	100 bc	36.4 b	23.6 b	12.8 bc	1.27 c	3.49 bc	33.2 b	2.79 bc	529 abc	41.7 c	247 c
S1×BF2	106 ab	36.9 b	27.3 b	9.66 bc	1.12 c	5.36 bc	29.7 b	2.93 abc	510 bc	39.3 c	269 bc
S1×BF3	116 a	65.2 a	44.0 a	21.2 a	1.82 ab	20.9 ab	40.3 b	5.85 abc	532 abc	40.7 c	318 bc
S2×BF0	90.6 cd	31.6 c	20.5 b	11.1 bc	1.13 c	22.9 ab	51.4 a	6.25 abc	492 cd	45.7 bc	350 bc
S2×BF1	101 bc	36.8 b	21.3 b	15.5 ab	2.01 a	21.9 ab	53.1 a	6.76 ab	599 ab	59.2 ab	362 ab
S2×BF2	107 ab	39.7 b	27.9 b	11.8 ab	1.24 c	16.2 abc	52.7 a	6.90 ab	608 ab	57.8 ab	377 ab
S2×BF3	102 b	43.8 b	27.5 b	16.3 ab	1.40 bc	32.9 a	63.1 a	7.17 a	627 a	60.0 a	397 a

S1: بذر تک کپسول و S2: بذر چند کپسول؛ BF0: شاهد، BF1: نیتروکسین، BF2: بیوفسفر، BF3: ترکیب مساوی از نیتروکسین و بیوفسفر

S1: One capsule seed and S2: Multiple capsule seed; BF0: Control, BF1: Nitroxin, BF2: Biophosphor, BF3: Equal mixture of nitroxin+biophosphor.

میانگین هایی که دارای یک حرف مشترکند بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد با هم ندارند

Means followed by the same letter are not significantly different based on LSR test ($p \leq 0.05$)

بین ۲۰۹ تا ۴۲۶ گرم دانه در متر مربع بین تیمارها متفاوت بود (جدول ۱۱). نتایج مطالعه سجادی نیک و همکاران (Sajadi Nick et al., 2011) نشان داد که کاربرد کود نیتروکسین سبب افزایش تعداد بذر در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه کنگد شده است. در مطالعه دیگر شاکری و همکاران (Shakeri et

نتایج برهمکنش سه گانه تیمارها نیز نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در استفاده از بذر چند کپسولی و کاربرد کود تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر در سال اول به دست آمد. در هر دو سال در بذور چند کپسول استفاده از کودهای زیستی عملکرد دانه در متر مربع بیشتری نسبت به سایر تیمارها تولید نمود. دامنه تغییرات عملکرد دانه

داشت. نتایج پژوهش حاضر با تحقیقات نامبردگان مطابقت داشت. به نظر می‌رسد کودهای زیستی با تاثیر مثبت خود بر افزایش ارتفاع گیاه، تعداد و وزن خشک برگ سبب افزایش منابع تولید آسیمیلات فتوسنتزی را فراهم آورده که منجر به افزایش تعداد کپسول در بوته و در نتیجه عملکرد شده است.

(*al.*, 2013) گزارش کردند که کاربرد کود شیمیایی نیتروژن و کود زیستی نیتروکسین بر تمامی صفات به جز درصد روغن و شاخص برداشت در کنجد تاثیر معنی‌داری داشت. نتایج مطالعه پائول و ساویتی (Paul and Savithri, 2003) نیز نشان داد که عملکرد کنجد تحت تاثیر کودزیستی حاوی آزوسپیریلیوم افزایش معنی‌دار

جدول ۱۱ - مقایسه میانگین اثر متقابل سال در نوع بنر در کود زیستی بر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد در گیاه کنجد تحت تاثیر کودهای زیستی طی دو سال زراعی (۹۷-۹۸ و ۹۶-۹۷)
Table 11- Means comparisons of interaction effects of year in seed type in biological fertilizer on some morphological and seed yield of sesame affected by biofertilizers during two growing seasons 2017-2018 and 2018-2019

تیمار	ارتفاع گیاه	تعداد گره در گیاه	تعداد گره تک کپسول	تعداد گره چند کپسول	تعداد شاخه جانبی	طول شاخه جانبی	تعداد برگ در گیاه	وزن خشک برگ	زیست توده	تعداد کپسول در گیاه	عملکرد دانه
Treatment	Plant height (cm)	Number of node per plant	One capsule node	Multiple capsule node	Number of branch	Length of branch (cm)	Leaf number per plant	Leaf dry weight (g)	Biomass (g.m ⁻²)	Number capsule per plant	Seed yield (g.m ⁻²)
Y1×S1×BF0	67.9 g	15.8 e	5.46 i	4.66 d	0.602 fgh	1.88 c	34.0 cdef	2.02 bcd	357 c	23.7 e	231 bc
Y1×S1×BF1	79.1 ge	22.1 e	8.00 hi	14.5 bcd	2.28 b	1.45 c	33.1 ef	1.50 cd	498 c	41.5 de	224 bc
Y1×S1×BF2	95.0 def	17.2 e	7.60 hi	8.53 bcd	2.24 b	1.01 c	29.3 f	0.442 d	384 c	31.6 e	192 c
Y1×S1×BF3	101 cde	29.3 de	20.7 efgh	8.66 bcd	3.11 a	30.8 ab	55.2 ab	8.19 a	817 a	74.1 a	407 a
Y1×S2×BF0	73.3 g	41.2 c	11.5 ghi	17.1 ab	1.46 cde	25.3 ab	52.1 abcde	7.24 abc	367 c	44.1 de	381 ab
Y1×S2×BF1	81.9 fg	28.6 de	10.5 ghi	23.2 a	3.10 a	27.7 ab	53.5 abc	7.66 ab	628 b	69.7 ab	393 a
Y1×S2×BF2	91.5 ef	33.7 d	17.4 efgh	16.3 abc	2.15 bc	27.3 ab	51.7 abcde	7.14 abc	953 a	58.1 abcd	378 ab
Y1×S2×BF3	93.5 def	32.8 d	25.2 defg	7.60 bcd	1.73 bcd	35.5 a	57.5 a	8.86 a	964 a	55.1 abcd	426 a
Y2×S1×BF0	107 bcde	53.3 bc	43.1 bc	10.2 bcd	0.065 h	1.01 c	36.4 bcdef	3.85 abcd	374 c	43.1 de	308 abc
Y2×S1×BF1	122 ab	52.8 bc	41.8 bc	11.0 bcd	0.266 gh	5.53 ab	33.4 def	4.08 abcd	657 b	41.8 de	271 abc
Y2×S1×BF2	116 abc	65.5 b	47.0 b	10.8 bcd	0.058 h	1.01 c	30.1 f	4.03 abcd	853 a	47.0 cde	290 abc
Y2×S1×BF3	132 a	85.7 a	67.2 a	18.5 ab	0.533 fgh	11.0 ab	47.3 abcdef	3.52 abcd	542 bc	67.2 abc	229 bc
Y2×S2×BF0	107 bcd	34.7 d	29.5 cdef	5.20 cd	0.800 efg	20.5 ab	50.8 abcde	5.26 abcd	366 c	42.3 de	209 c
Y2×S2×BF1	121 ab	39.5 cd	32.2 cde	7.33 bcd	0.933 efg	16.0 ab	52.8 abcd	5.87 abcd	880 a	48.7 bcde	311 abc
Y2×S2×BF2	122 ab	45.8 c	38.4 bcd	7.40 bcd	0.333 fgh	5.13 ab	53.7 ab	6.66 abc	861 a	45.6 cde	334 ab
Y2×S2×BF3	111 bc	53.7 bc	29.8 cdef	23.9 a	1.06 def	30.2 ab	48.7 abcdef	5.49 abcd	910 a	57.6 abcd	376 abc

Y1: First year and Y2: Second year, S1: One capsule seed and S2: Multiple capsule seed; BF0: Control, BF1: Nitroxin, BF2: Biophosphor, BF3: Equal mixture of nitroxin-biophosphor.

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترکند بر اساس دانگی اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با هم ندارند

Means followed by the same letter are not significantly different based on LSR test ($p \leq 0.05$)

نتیجه گیری

مصرف تلفیقی و متعادل از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و انحلال‌دهنده‌های فسفات نامحلول و پس از آن کود نیتروکسین بر افزایش عملکرد کنگد در طولانی مدت تاثیر بیشتری نشان داشت. لذا توصیه می‌گردد برای افزایش عملکرد کنگد از تلقیح این باکتری‌ها هنگام کاشت و یک مرحله محلول‌پاشی در اواسط گلدهی استفاده گردد. علاوه بر آن به دلیل سازگاری زیستی کند این ریزجانداران با شرایط خاک و محیط ریزوسفر، استفاده از باکتری‌ها در بیش از یک مرتبه کشت توصیه می‌گردد.

به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده توأم از کودهای زیستی حاوی *ازتوباکتر*، *آزوسپیریلیوم*، *باسیلوس* و *پسودوموناس* تاثیر معنی‌دار و مثبتی بر ارتفاع گیاه، تعداد و وزن خشک برگ، وزن زیست‌توده، تعداد گره چند کپسول و تعداد کپسول داشت که سبب افزایش معنی‌دار عملکرد گیاه کنگد شد. به‌علاوه بذر چندکپسولی نسبت به تک کپسولی واکنش مثبت و بهتری به استفاده از کودهای زیستی نشان داد. همچنین در بین کودهای زیستی نیز

References

1. Alami-Milani, M., Amini, R., and Bandehagh, A. 2014. Effect of bio-fertilizers and combination with chemical fertilizers on grain yield and yield components of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agriculture Science and Sustainable Production 15-29. (In Persian with English abstract).
2. Antoun, H., and Prevost, D. 2005. Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. In: Siddiqui ZA (Eds.) PGPR: Biocontrol and Biofertilization, Springer, The Netherlands pp. 1-39.
3. Babaei Abarghoei, Gh. 2004. Effect of different nitrogen levels and plant density on two sesame cultivars. M.Sc. thesis, Faculty of Agriculture, Shiraz University. Pages: 81. (in Persian with English abstract).
4. Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K., and Tuteja, N. 2014. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. Microbiology Cell Fact 13: 66.
5. Bijani, M., Yadollahi, P., Asgharipour, M. R., Soleimani, S., and Latifi, M. 2015. Effects of nitrogen and biological fertilizer on yield, oil and protein content of sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of Oil Plants Production 1 (2): 67-78. (in Persian with English abstract).
6. Chen, Y. P., Rekha, P. D., Arun, A. B., Shen, F. T., Lai, W. A., and Young, C. C. 2006. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. Applied Soil Ecology 34: 33-41.
7. El-Yazeid, A. A., Abou-Aly, H. E., Mady, M. A., and Moussa, S. A. M. 2007. Enhancing growth, productivity and quality of squash plants using phosphate dissolving microorganisms (bio phosphor) combined with boron foliar spray. Research Journal of Agriculture and Biological Science 3 (4): 274-286.
8. Food and Agriculture Organization (FAO). 2017. FAOSTAT Database. Available at Web site <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (Accessed: 31 December 2017).
9. Fathi, A. 2013. Effect nitrogen and phosphate biologic fertilizer on morphology and physiology traits of corn in Dare Shar city condition. MSc thesis in agronomy. Islamic Azad University of Brojerd. (in Persian with English abstract).
10. Haghparast Tanha, M. R. 1991. Plant Nutrition and Methabolism. Rasht Unit Islamic Azad University Publisher. 527 pages. (Translation in Persian).
11. Hasanpour, R., Pirdashti, H., Esmaili, M. A., and Abbasian, A. 2011. Response of yield and yield components of three sesame cultivars to combined nitrogen application and supernitroplast biological fertilizer. Journal of Agroecology 3 (1): 9-16. (in Persian with English abstract).
12. Islamic Republic of Iran Meteorological Organization (IRIMO). 2019. Meteorological Yearbook. http://irimo.ir/far/wd/720-#report_builder_form. (in Persian).
13. Jahan, M., Amiri, M. B., and Ahiaei, H. R. 2012. Nutrient uptake and utilization efficiency by biological fertilizers in a low input farming system. Iranian Journal of Field Crops Research 10 (2): 435-447. (in Persian with English abstract).
14. Jashankar, S., and Wahab, K. 2004. Effect of integrated nutrient management on the growth, yield components and yield of Sesame. Department of Agronomy, Annamalai University, Annamalainagar, India, 602-608.
15. Kang, C. W., Lee, J. I., and Son, E. R. 1985. Studies on the flowering and maturity in sesame (*Sesamum indicum* L.) III. Growth of capsule and grain by different plant types. Korean Journal Crop Science 30 (2): 158-164.
16. Kennedy, M. J., Reader, S. L., and Swierczynski, L. M. 1994. Preservation records of micro-organisms: evidence of the tenacity of life. Microbiology UK 140: 2513-2529.
17. Kumar, T., Wahla, V., Pandey, P., Dubey, R. C., and Maheshwari, D. K. 2009. Rizosphere competent *Pseudomonas aeruginosa* in the management of *Heterodera cajani* on sesame. World Journal Microbiology Biotechnology 25: 277-285.
18. Kumar Jha, C., and Saraf, M. 2015. Plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR): a review. E3 Journal of Agricultural Research and Development 5 (2): 0108-0119.

19. Langham, D. R. 2007. Phenology of sesame. Issues in new crops and new uses. J. Janick and A. Whipkey (eds.). ASHS Press, Alexandria, VA.
20. Lee, S. W., Kang, C. W., Kim, D. H., Shim, K. B., and Seong, N. S. 2002. Growth characteristics as affected by polyethylene film-mulching in sesame. Korian Journal Crop Science 47: 269-272.
21. Mahmoud Zadeh, M., Rasouli Sadaghiyani, M. H. and Asghari Lajayer, H. 2015. Effect of PGPR Bacteria and Mycorrhizal Arboscolar Fungi on the morphological characteristics and concentration of Macro nutrients on pepper mint (*Mentha piperita* L.) medicinal plant in green hous condition. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 6 (24): 155-167.
22. Malakoti, M. J., Baghori, A., and Khni, M. R. 2001. Quality control of phosphate fertilizers undeniable necessity in achieving sustainable Agriculture. Journal of Soil and Water Research Institution 12: 6-11. (in Persian).
23. Makvandi, A., Alavi Fazel, M., and Lack, S. 2015. Effect of biological and chemical fertilizers on yield and yield components of some Maize hybrids in south west of Iran (Shoushtar Region). Journal of Crop Nutrition Science 1 (1): 45-55.
24. Malik, M. A., Farrukh-Saleem, M., Cheema, M. A., and Ahmed, S. 2003. Influence of different nitrogen levels on productivity of sesame (*Sesamum indicum* L.) under varying planting patterns. International Journal of Agriculture and Biology 4: 490-492.
25. Maleki, H., Bazdari, H. R., Lotfi, and Tahmasebi, A. 2011. Effect of biologic fertilizer Azetobacter and different level nitrogen fertilizer on on yield and yield component of three wheat cultivars. Journal of Crop Ecophysiology and Weeds 4 (16): 121-132. (in Persian).
26. Mehdizadeh, M., Ezadi, E., Naseri, M. T., and Rastgo, M. 2015. Influence of Different Organic Fertilizers on Metribuzin Persistence in Soil under Controlled Conditions. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 108: 132-139.
27. Mockler, T. C., Guo, H., Yang, H., Duong, H., and Lin, C. 1999. Antagonistic actions of Arabidopsis cryptochromes and phytochrome B in the regulation of floral induction. Development 126: 2073-2082.
28. Naghdi badi, H. A., Lotfi zadeh, M., Ghavami, N., Mehrafarin, A., and Khavazi, K. 2013. Response yield and quality of the herb valerian to application of biological and chemical fertilizers phosphorus. Journal of Medicinal Plant 12 (2): 25-38.
29. Nezami, A., FazeliKakhki, S. F., Zarghani, H., Shabahang, J., and Gandomzadeh, M. R. 2014. Preliminary study on yield and yield components of some common sesame (*Sesamum indicum* L.) ecotypes in Khorasan Province. Iranian Journal of Field Crops Research 12 (2): 189-195. (in Persian).
30. Paul, K., and Savithri, E. 2003. Effect of biofertilizers as perfected chemical fertilization for sesame (*Sesamum indicum* L.) grown summer rice fallow. Journal of Tropical Agriculture 41: 47-49.
31. Sajadi Nik, R., Yadavi, R., Baluchi, H. R., and Farajee, H. 2011. Effect of Chemical (Urea), Organic (Vermicompost) and Biological (Nitroxin) Fertilizers on Quantity and Quality Yield of Sesame (*Sesamum indicum* L.). Sustainable Agriculture and Production Science 21 (2): 87-101. (in Persian with English abstract).
32. Sajadi Nik, R., and Yadavi, R. 2013. Effect of nitrogen fertilizer, vermicompost and nitroxin on growth indexes, phonological stages and grain yield of Sesame. Electronical Journal of Crop Production 6 (2): 73-99. (in Persian with English abstract).
33. Saleh Rastin, N. 2001. Biological fertilizers and their role in achieving sustainable agriculture, especial issue in biologic fertilizer. Journal of Soil and Water Science 65-67. (in Persian).
34. Shaukat, K., Afrasayad, S., and Hasman, S. 2006. Growth responses of *Helianthus annuus* to plant growth promoting rhizobacteria used as a biofertilizer. Journal of Agricultural Research 1: 573-581.
35. Shakeri, A., Amini Dehghi, M., Tabatabaei, S. H., and Modars Thani, S. H. 2013. Effect Chemical and biological fertilizer on yield and yield component, otl and protein percentage in sesame cultivars. Sustainable Agriculture and Production Science 22 (1): 72-82. (in Persian with English abstract).
36. Singh, H. C., Singh, S. K., and Nagaich, V. P. 2000. Association of characters for some physiological components related to seed yield in sesame (*Sesamum indicum* L.). Annals of Agriculture Research 21: 238-241.
37. Singh, J. R., and Ashri, A. 2007. Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement. Oilseed crop 4 (8): 231-278. CRC Press Taylor & Francis Group.
38. Singh, J. S., Pandey, V. C., and Singh, D. P. 2011. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainableagriculture and environmental development. Agriculture, Ecosystems and Environment 140: 339-353.
39. Taiz, L., and Zeiger, E. 2002. Plant Physiology. Sinauer Associates; 3 edition. 690 pages.
40. Weiss, E. A. 2000. Oilseed crops, 2nd edn. Oxford, Blackwell Science 131-164.
41. Yasari, E., and Patwardhan, M. 2007. Effects of Azotobacter and Azospirillum Inoculants and Chemical Fertilizers on Growth and Productivity of Canola (*Brassica napus* L.). Asian Journal of Plant Sciences 6 (1): 77-82.



Evaluation of Plant Growth Bacteria (PGPR) on Number of node Leaves and Capsules in Sesame Plant under Field Condition

S. F. Fazeli Kakhki^{1*}, M. Eskandari², J. Daneshian³, S. Anahid⁴

Received: 25-01-2020

Accepted: 23-05-2020

Introduction

Soil bacteria plays an important role in bio-geochemical cycles that cause soil ecosystem dynamics to return nutrients to life cycles. In recent days, these organisms can serve as complementary or, in some cases, alternative fertilizers, to maintain the sustainability of the agricultural ecosystem. On the other hand, the production of high-yielding cultivars has increased the consumption of agricultural inputs, especially fertilizers, which has caused a crisis of environmental pollution. Bacteria are soil microorganisms that are involved in the nutrient cycle of the soil, can improve plant growth, and are known as growth promoting bacteria (PGPRs). Approximately two to five percent of root-borne bacteria are in the group of growth-promoting bacteria. These bacteria improve plant growth in a variety of ways, including nitrogen fixation, synthesis and production of iron-complex siderophore, production of plant hormones, production of antibiotics and fungicide compounds. Soil has a wide range of organic phosphate sources that must be converted to its inorganic form by enzymes such as phosphatase, phytase and phosphonostate, and bacteria in the *Bacillus* and *Pseudomonas* groups can be produced by the production of acid phosphatases that dissolve phosphates to help absorb them by plant. Another group of bacteria such as *Azotobacter* and *Azospirillum* have the ability to stabilize nitrogen. Sesame (*Sesamum indicum* L.) is one of the oldest oilseed plants and has been named as the queen of oilseed plants and compatible with arid and semi-arid regions. Lowering sesame yield per unit area necessity to exerted agronomic management practice. The number of capsules is the main components of yield that has highly correlated with it. The aim of this study was to investigate the effect of biofertilizers on number of capsules per node of leaves sesame plant under field conditions.

Materials and Methods

An experiment was conducted as factorial arrangement based on a randomized complete block design with three replications at Mashhad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center during two growing seasons (2017-2018 and 2018-2019). The first factors were: seeds single capsule and multi-capsule seed types and second factors were four Biofertilizers: 1) Nitroxin® (containing *Azotobacter* and *Azospirillum* bacteria), 2) Biophosphorus® (containing phosphatase-solubilizing bacteria of genus *Bacillus* and *Pseudomonas*), 3) Equal mixture of Nitroxin and biophosphorus and 4) control. At planting time, seeds were inoculated with biological fertilizers by standard method, away from direct light and foliar spraying was done in 50% reproductive stage with the bio fertilizer treatments. The morphological traits (plant height, number and length of lateral branches, number and dry weight of leaves, number of nodes, number of capsules, number of single and multiple capsules nodes were measure per plant and biomass and seed yield were measured per unit area. Data was analyzed using MSTAT-C and means was comparison with LSR at the 5% probability level.

Results and Discussion

Application of biofertilizers increased plant height by 11 to 19.9 cm compared to no fertilizer treatment (89.1 cm). In the second year, the number of nodes was about 43% higher than the first year. Triple interaction treatments showed that in the second year and in single capsule seeds the application of nitroxin and biophosphorus fertilizer had the highest number of nodes (85.7) and the lowest amount of it was observed in single seed capsule plants in the first year. The highest number of single capsule nodes was obtain in the application of biofertilizer (nitroxin+ biophosphorus) in single capsule seeds. In the second year, the number of single capsule nodes in both seed types was more than 29 per plant. In the second year, the highest number of multi-capsule nodes was recorded from multi-capsule seeds with use of nitroxin and biophosphorus combination fertilizers. Interaction between treatments of seed type and biofertilizer results showed that plant was growth

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

2- Soil and Water researcher of Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

3- Professor of Oilseed Crop Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

4- Physiology expert of Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

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

from multi-capsule seed had a positive reaction to biofertilizer so that in multiple seed type the number of capsule per plant was more than 57 in application of biofertilizer. Both in the first and second year, in the multiple seed capsule type, the use of biofertilizers produced more grain yield per square meter than other treatments.

Conclusions

The results of this study showed that consuming of biofertilizers together that containing *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus* and *Pseudomonas* had a positive significant effect on the plant height, number of capsules per node leaf, biomass and number of capsule that lead to increase of seed yield in sesame plant. Therefore, it is recommended that seeds inoculate with these bacteria in sowing time and applying one foliar spraying in mid-flowering time lead to enhance sesame yield.

Keywords: Biomass, Biophosphour, Leaf node, Nitroxin, Seed yield



مقاله علمی-پژوهشی

بررسی کنترل علف‌های هرز بر صفات بیوشیمیایی، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد دانه در کشت مخلوط ارقام گندم

عاطفه رضایی^۱، احسان بیژن‌زاده^{۲*}، علی بهپوری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۸

چکیده

کشت مخلوط ارقام گندم به‌ویژه ارقامی که از نظر ارتفاع با هم اختلاف دارند موجب افزایش عملکرد می‌شود و علت این امر می‌تواند ایجاد کانوپی موجدار و استفاده کارا تر از منابع محیطی به‌ویژه تشعشع باشد که موجب افزایش عملکرد مخلوط نسبت به اجزای آن‌ها در کشت خالص می‌شود. این آزمایش به‌منظور مطالعه بررسی کنترل علف‌های هرز بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد در کشت مخلوط ارقام گندم صورت گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در طی سال زراعی ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کنترل علف‌های هرز به مدت دو هفته در شش سطح در مراحل رشد گیاه گندم بودند که شامل: کنترل ابتدای پنجه‌زنی، کنترل ابتدای ساقه‌رفتن، کنترل ابتدای غلاف‌رفتن، کنترل ابتدای ظهور سنبله، شاهد بدون علف‌هرز و شاهد بدون کنترل علف‌هرز بود و تیمار سیستم کشت شامل: تک‌کشتی سیروان، ستاره و مخلوط ستاره و سیروان به‌صورت ردیف‌های یک در میان و به نسبت یک به یک بودند. نتایج نشان داد که اثرات کنترل علف‌های هرز و سیستم کشت بر صفات کلروفیل a و b، کارتنوئید، کاتالاز، پراکسیداز، محتوای نسبی آب‌برگ، زیست‌توده علف‌های هرز و عملکرد دانه معنی‌دار بود. همچنین مقدار کلروفیل a، کارتنوئید و محتوای نسبی آب برگ در کنترل علف‌های هرز در مرحله پنجه‌زنی به‌ترتیب ۶۴/۲، ۳۸/۹۷، ۳۷/۴ درصد افزایش نسبت به شاهد دارای علف‌هرز داشت و همین صفات در کشت مخلوط به‌ترتیب ۵/۲، ۷/۲ و ۱۲/۸ درصد نسبت به تک‌کشتی ستاره افزایش داشته است. به‌طور کلی حضور بیشتر علف‌های هرز باعث کاهش در میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید و افزایش در میزان آنزیم کاتالاز و پراکسیداز شد و تمامی این صفات در کشت مخلوط ارقام افزایش بیشتری را نشان داده‌اند. به‌طور کلی کنترل علف‌های هرز در مرحله پنجه‌زنی باعث بهبود عملکرد در مقایسه با سایر تیمارها شد و بیشترین عملکرد دانه در کشت مخلوط ارقام حاصل شد که نسبت به تک‌کشتی رقم ستاره ۲۹/۶ درصد افزایش داشت.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، رقم ستاره، زیست‌توده علف‌های هرز، کارتنوئید، کلروفیل a

مقدمه

میانگین خسارت علف‌های هرز مزارع گندم کشور به عملکرد دانه گندم ۲۳ درصد می‌باشد (Khalaghani, 2008). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که سیستم کشت مخلوط با سایه‌اندازی و خفه کردن علف‌های هرز و در برخی موارد به‌خاطر داشتن خواص آللوپاتیک گیاهان زراعی از رشد و گسترش علف‌های هرز جلوگیری می‌کند، این در شرایطی است که استفاده از این روش زراعی کوچکترین آسیبی را متوجه اکوسیستم‌های زراعی نمی‌نماید (Sanjani et al., 2008).

کشت مخلوط به‌عنوان نمونه‌ای از نظام‌های پایدار در کشاورزی اهدافی نظیر ایجاد تعادل اکولوژیک، بهره‌برداری بیشتر از منابع، افزایش کمی و کیفی عملکرد و کاهش خسارت آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و کاهش وابستگی کشاورزان به آفت‌کش‌ها، به شرط حفظ کیفیت محصول و بازارپسندی آن را دنبال می‌کند (Fenandez-Aparicio et al., 2007). علف‌های هرز یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی به‌ویژه در سیستم‌های تک‌کشتی هستند (Kruidhof et al., 2008). کشت مخلوط به‌عنوان یکی از

گندم (*Triticum aestivum* L.) مهم‌ترین گیاه زراعی روی زمین است که از زمان اهلی شدن تاکنون همواره از اهمیت خاصی برخوردار بوده و بیشترین سطح زیر کشت را در بین محصولات زراعی به خود اختصاص داده است (Emam, 2011). گندم در بسیاری از مناطق جهان غذای اصلی اکثر مردم را تشکیل می‌دهد (Shewry, 2009). در میان عوامل کاهش‌دهنده تولید گندم کشور، علف‌های هرز از اهمیت خاصی برخوردار بوده و بر اساس مطالعات انجام شده

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد بخش آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

۲- دانشیار بخش آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

۳- استادیار بخش آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

(*)- نویسنده مسئول: (Email: bijanzd@shirazu.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v18i3.85660

ارقام صورت گرفته است، هدف از اجرای این طرح بررسی اثر کشت مخلوط ارقام گندم در شرایط کنترل علف‌های هرز در مراحل مختلف رشد بر صفات بیوشیمیایی، زیست‌توده علف‌های هرز و عملکرد دانه در مقایسه با تک‌کشتی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سال زراعی ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز واقع در هفت کیلومتری شهرستان داراب با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۰ عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۲۰ دقیقه با ارتفاع ۱۱۸۰ متری از سطح دریا انجام شد. آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. قبل از انجام آزمایش برای اطلاع از وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، از خاک مزرعه در عمق ۳۰-۰ نمونه‌برداری صورت گرفت (جدول ۱). اولین عامل در این آزمایش شامل شش دوره کنترل علف‌های هرز بود، که بدین صورت اعمال شدند. ۱- شاهد دارای علف‌های هرز در طول فصل رشد، ۲- شاهد بدون علف‌های هرز در طول فصل رشد، ۳- کنترل علف‌های هرز از ابتدای پنجه زنی به مدت دو هفته، ۴- کنترل علف‌های هرز از ابتدای ساقه رفتن به مدت دو هفته، ۵- کنترل علف‌های هرز از ابتدای غلاف به‌مدت دو هفته، ۶- کنترل علف‌های هرز از ابتدای ظهور سنبله به‌مدت دو هفته. دومین عامل سیستم کشت بود که شامل سه سطح بود که در آن دو رقم گندم نان به نام سیروان، که یک رقم نسبتاً زودرس و بهاره با متوسط ارتفاع ۹۴ سانتی‌متر است و رقم ستاره، که یک رقم زودرس و بهاره با متوسط ارتفاع ۷۴ سانتی‌متر است که به‌صورت تک‌کشتی و مخلوط ردیفی هر دو رقم کشت شدند. عملیات تهیه بستر کاشت شامل شخم با گاوآهن برگردان‌دار، دیسک و لولر بود. سپس اقدام به کرت‌بندی در ابعاد ۳×۲ متر شد و بذرها در ردیف‌هایی به فاصله ۲۰ سانتی‌متری و در عمق یک سانتی‌متری خاک با تراکم کاشت ۳۰۰ بذر در مترمربع و به‌صورت دستی کشت شدند. آبیاری به‌صورت غرقابی و با استفاده از کنتور و شیلنگ صورت گرفت. بافت خاک از نوع سیلتی لومی بود. تاریخ کاشت نیز منطبق با تاریخ کاشت بهینه منطقه داراب ۱۳ آذر در نظر گرفته شد. میزان کود شیمیایی مورد نیاز، قبل از کاشت و براساس آزمون خاک (جدول ۱) تعیین شد و بر این اساس میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در سه مرحله اواسط پنجه‌زنی، ساقه‌دهی و اوایل گلدهی مصرف گردید. همچنین نمونه‌برداری در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گیاه زراعی (پس از خمیری سخت) از یک متر مربع در اواخر اردیبهشت ماه برای تعیین عملکرد دانه گندم، انجام گردید.

راهکارهای مدیریت تلفیقی علف‌های هرز مطرح است که می‌تواند با ایجاد پوشش مناسب گیاهی در سطح زمین و اشغال سریع فضاهای باز بین ردیف‌های گیاه اصلی از جوانه‌زنی و رشد و نمو گیاهچه‌های علف‌های هرز جلوگیری کرده و باعث کاهش کاربرد سموم علف‌کش می‌شود (Hollander et al., 2007).

کاهش کاربرد سموم یکی از عرصه‌های با اهمیت برای برنامه‌ریزی توسعه پایدار کشاورزی است که از جنبه‌های دیگری چون حفاظت محیط‌زیست، بهداشت انسان، تامین درآمدهای ارزی برای اقتصاد ملی و توسعه پایدار نشأت می‌گیرد. از طرف دیگر هجوم علف‌های هرز کاهش شدید عملکرد در گیاهان زراعی را موجب می‌شود (Ronald and Charls, 2012). تنش‌ها می‌توانند باعث اختلالات متابولیسمی در سلول‌های گیاهی و افزایش تولید فرم‌های فعال اکسیژن شوند (Mittler, 2002). گیاهان برای کاهش دادن اثر مخرب گونه‌های اکسیژن فعال مکانیسم‌هایی مختلفی دارند، از جمله این مکانیسم‌ها می‌توان به سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان اشاره کرد. آنزیم‌هایی که به‌عنوان آنتی‌اکسیدان در پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن سلول نقش دارند شامل کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز می‌باشند (Amini et al., 2009).

کلروفیل‌ها از جمله ماکرومولکول‌هایی هستند که در شرایط تنش آسیب می‌بینند. مهم‌ترین رنگدانه جذب‌کننده نور در غشای تیلاکوئیدی کلروفیل‌ها می‌باشند. علاوه بر کلروفیل‌ها، غشاهای تیلاکوئیدی دارای رنگدانه‌های جذب نور ثانویه (رنگدانه‌های فرعی) و کارتنوئیدها می‌باشند. رنگدانه‌های کارتنوئیدی نور را در طول موجی جذب می‌کنند که توسط کلروفیل‌ها جذب نمی‌شوند و بنابراین گیرنده‌های نوری مکمل هستند (Ebrahimi et al., 2010). در مطالعه‌ای مشخص شد که طی تنش کم آبی در گندم محتوای کلروفیل کاهش می‌یابد و ارقام دارای محتوای کلروفیل بالاتر، مقاومت بیشتری در شرایط تنش از خود نشان می‌دهند (Gregersen and Holm, 2007). در پژوهشی که بر روی گندم دوروم تحت تنش خشکی انجام شد، مشخص شد که تنش میزان کلروفیل a و b را به‌ترتیب ۱۹/۸ و ۶/۹ درصد نسبت به شرایط عدم تنش کاهش داد (Hassanpour Lescokelaye et al., 2013).

در سال‌های اخیر با روشن‌تر شدن مشکلات کشاورزی تک‌کشتی از جمله آلودگی آب‌ها، خاک و همچنین کاهش توان تولید زمین‌های زراعی توجه پژوهشگران بیش از پیش به حفظ ثبات و باروری نظام‌های تولید کشاورزی معطوف شده است. یکی از راهکارهای افزایش ثبات، ایجاد تنوع از طریق به‌کارگیری نظام‌های چندکشتی است. با توجه به پژوهش‌های اندکی که بر روی صفات بیوشیمیایی در شرایط حضور و عدم حضور علف‌های هرز به‌ویژه در کشت مخلوط

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش
Table 1- Physical and chemical properties of the experimental soil

عمق خاک Soil depth (cm)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	کربن الی O.C (%)	اشباع بازی BS (%)	قابلیت هدایت الکتریکی ECe (dS m ⁻¹)	pH
0-15	38.12	17.18	44	0.977	8.88	1.092	7.42
15-30	38.16	17.26	44	0.970	8.93	1.090	7.54
عمق خاک Soil depth (cm)	نیترژن N (%)	فسفر P (mg kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg kg ⁻¹)	آهن Fe (mg kg ⁻¹)	مس Cu (mg kg ⁻¹)	روی Zn (mg kg ⁻¹)	منگنز Mn (mg kg ⁻¹)
0-15	0.084	54	320	5.104	1.61	0.564	14.8
15-30	0.084	58	300	7.30	1.63	0.540	14.8

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ

در اواخر گلدهی پس از جدا کردن برگ پرچم از گیاه، بلافاصله در آزمایشگاه این برگ‌ها توزین و وزن تر آن‌ها ثبت گردید. سپس بعد از ۲۴ ساعت درون ظرف حاوی آب مقطر نگهداری تا به حالت اشباع کامل رسیده و مجدداً وزن شدند. نمونه‌ها جهت محاسبه وزن خشک به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۳ درجه سلسیوس قرار داده شدند و محتوای نسبی آب برگ آن‌ها از طریق معادله (۶) محاسبه شدند (Barrsu and Weatherley, 1962).

$$\text{محتوای نسبی آب برگ} = \frac{[(\text{وزن خشک} - \text{وزن تر اشباع}) / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})] \times 100}{100} \quad (۶)$$

اندازه‌گیری وزن خشک علف‌های هرز

برای تعیین وزن خشک علف‌های هرز در مرحله پر شدن دانه گندم و قبل از ریزش بذر علف‌های هرز به وسیله یک چهارچوب نیم متر مربعی علف‌های هرز هر کرت برداشت و پس از توزین به آزمایشگاه منتقل شدند و در دمای ۷۰ درجه به مدت ۷۲ ساعت برای تعیین وزن خشک قرار داده شدند.

نتایج و بحث

محتوای کلروفیل a

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کنترل علف‌های هرز در سطح احتمال یک درصد و سیستم کشت در سطح احتمال پنج درصد بر محتوای کلروفیل a معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین میزان کلروفیل a، به ترتیب در کنترل در مرحله پنجه‌زنی و شاهد دارای علف‌هرز به میزان ۰/۵۱ و ۰/۲۸ میلی گرم بر گرم وزن تر گیاه به دست آمد (جدول ۳). در پژوهش حاضر حضور علف‌های هرز باعث کاهش غلظت کلروفیل a شده است و کنترل در مرحله پنجه‌زنی باعث افزایش ۸۲/۱ درصدی میزان کلروفیل a نسبت به شاهد دارای علف‌هرز شد. یکی از دلایل از دست رفتن کلروفیل در شرایط تنش این است که می‌تواند جنبه سازگاری داشته باشد چون با

اندازه‌گیری فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی

تعیین محتوای کلروفیل a، b و کارتنوئید در طول موج ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر و با دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد و براساس معادلات ۱ تا ۳ محاسبات صورت گرفت (Arnon, 1967).

$$\text{Chlorophyll } a = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) \times V / 100W \quad (۱)$$

$$\text{Chlorophyll } b = (19.3 \times A_{645} - 3/6 \times A_{663}) \times V / 100W \quad (۲)$$

$$\text{Carotenoid} = (100 \times A_{470} - (3.27 \times \text{mg chl. } a) - (104 \times \text{mg chl. } b)) / 227 \quad (۳)$$

V = حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)،
A = جذب نور در هر طول موج، W = وزن تر نمونه بر حسب گرم

فعالیت آنزیم کاتالاز

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج ۲۴۰ نانومتر و بر اساس معادله ۴ صورت گرفت (Abei, 1984).

$$\text{Catalase activity} = \frac{\Delta \times v}{\epsilon \times v \times s \times FW} \quad (۴)$$

Δ = تفاوت دو جذب در دقیقه (ابتدا جذب اول و بعد از ۳ ثانیه جذب دوم را می‌خوانیم)، V = حجم کل عصاره برگ (میلی لیتر)، ϵ = ضریب خاموشی ($\epsilon = 39.4 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)، VS = حجم نمونه برداشت شده (میلی لیتر)، FW = وزن تر نمونه برگ برداشت شده (گرم)

فعالیت آنزیم پراکسیداز

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر پس از سپری شدن دو دقیقه منحنی تغییرات جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر و با استفاده از معادله ۵ به دست آمد (Abei, 1984).

$$\text{Peroxidase activity} = \frac{\Delta \times v}{\epsilon \times v \times s \times FW} \quad (۵)$$

Δ = تفاوت دو جذب در دقیقه (ابتدا جذب اول و بعد از ۳۰ ثانیه جذب دوم را می‌خوانیم)، V = حجم کل عصاره برگ (میلی لیتر)، ϵ = ضریب خاموشی ($\epsilon = 26.6 \text{ cm}^{-1} \text{ mM}^{-1}$)، VS = حجم نمونه برداشت شده (میلی لیتر)، FW = وزن تر نمونه برگ برداشت شده (گرم).

تنش، کمپلکس‌های برداشت‌کننده نور بیشتر آسیب می‌بینند که باعث کاهش شدید کلروفیل b در کلروپلاست و افزایش نسبت a به b تحت تنش‌های محیطی خواهد بود (Onsel et al., 2000). در پژوهشی که (Hassanpour Lescokelaye, et al., 2013) بر روی گندم دوروم (*Triticum durum*) انجام دادند مشخص شد که تنش باعث کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a و b) می‌شود. همچنین نتایج پژوهش‌های (Ghatari and Rozbahani, 2015) نشان داد که کنترل مکانیکی و شیمیایی علف‌های هرز باعث افزایش میزان کلروفیل در برگ لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) شد که این امر به سبب افزایش میزان نور جذب شده توسط برگ گیاه به دلیل رقابت کمتر با علف‌های هرز و همچنین استفاده بیشتر از منابع است که با نتایج پژوهش حاضر نیز مطابقت دارد.

محتوای کارتنوئید

نتایج تجزیه واریانس کارتنوئید نشان داد که اثر ساده مهار علف‌های هرز و سیستم کشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین و کمترین میزان کارتنوئید به ترتیب در مهار در مرحله پنجه‌زنی و شاهد دارای علف‌هرز با ۱/۸ و ۱/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر حاصل شد (جدول ۳). مهار در مرحله پنجه‌زنی باعث افزایش ۳۸/۹ درصدی در میزان کارتنوئید شده است. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین میزان کارتنوئید به ترتیب در کشت مخلوط ارقام و تک‌کشتی ستاره با ۱/۷۷ و ۱/۶۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه حاصل شد. القای سنتر کارتنوئیدها در شرایط تنش می‌تواند به علت نقش حفاظتی آن‌ها در فرآیند فتوسنتزی باشد، زیرا این رنگیزه‌ها مسئول خاموش کردن اکسیژن یکتایی و جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها و درنهایت، تنش اکسیداتیو هستند (Koyro, 2006). کارتنوئیدها انرژی زیادی را از فتوسنتز به صورت گرما یا واکنش‌های شیمیایی بی‌ضرر دفع کرده، می‌توانند غشاهای کلروپلاستی را حفظ نمایند (Momeni et al., 2013). مطابق با نتایج پژوهش حاضر در آزمایشی که (Ghatari and Rozbahani, 2015) انجام دادند بیان کردند که بیشترین میزان کارتنوئید در تیمار کنترل مکانیکی و شیمیایی علف‌های هرز با ۰/۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه و کمترین میزان این صفت در تیمار عدم کنترل مکانیکی و شیمیایی علف‌های هرز با ۰/۲۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه حاصل شد.

فعالیت آنزیم کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس آنزیم کاتالاز نشان داد که اثر کنترل علف‌های هرز و سیستم کشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین و کمترین میزان این صفت به ترتیب در شاهد دارای علف‌هرز و کنترل ابتدای پنجه‌زنی به میزان ۵/۶۸ و ۲/۹۱ واحد بر دقیقه بر گرم وزن تر حاصل شد (جدول ۳). کنترل ابتدای پنجه‌زنی

کاهش کلروفیل الکترون برانگیخته شده کاهش یافته و به دنبال آن خسارت‌های ناشی از تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن کاهش می‌یابد (Kranter et al., 2002). نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار کلروفیل a به ترتیب در تیمار کشت مخلوط و در تک‌کشتی ستاره به میزان ۰/۴۰ و ۰/۳۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر حاصل شد (جدول ۳). تغییرات در رنگدانه‌های فتوسنتزی، علاوه بر تنش محیطی، تحت تاثیر نوع ژنوتیپ و مرحله فنولوژیکی گیاه نیز قرار دارد (Rahbarian et al., 2011). در پژوهش حاضر تیمار کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی سیروان و ستاره کمتر تحت تاثیر تداخل علف‌های هرز قرار گرفت و در مقابل تنش علف‌های هرز تحمل بیشتری از خودش نشان داده و باعث شده است محتوای کلروفیل آن کاهش کمتری یابد. تنش در گیاهان باعث شکل‌گیری رادیکال‌های سوپر اکسید O-2 و پراکسید هیدروژن H₂O₂ می‌شوند که گونه‌های فعال اکسیژن نامیده می‌شوند و فعالیت این گونه‌ها باعث اکسید شدن چربی‌ها و تغییر ساختار غشاء و از هم پاشیدگی و یکپارچگی آن‌ها می‌شود و در نهایت باعث تغییر ساختار پروتئین‌ها و غیر فعال شدن آنزیم‌ها و از بین رفتن رنگدانه‌هایی مثل کلروفیل‌ها می‌شود و در نهایت کاهش کلروفیل‌ها را به همراه دارد (Rahbarian et al., 2011). تاثیرپذیری میزان کلروفیل در گیاهان تحت تنش بسته به شدت، مدت و مرحله رشدی گیاه متفاوت است. در آزمایشی که بر روی گیاه لوبیا و در شرایط کنترل و عدم کنترل مکانیکی و شیمیایی علف‌های هرز صورت گرفت مشخص شد که بیشترین و کمترین میزان کلروفیل به ترتیب در تیمار کنترل مکانیکی و شیمیایی علف‌های هرز و تیمار عدم کنترل مکانیکی و شیمیایی علف‌های هرز به میزان ۰/۷۶ و ۰/۵۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به دست آمد (Ghatari and Rozbahani, 2015). همچنین در مطالعه‌ای دیگر که بر روی گیاه گندم انجام شد مشخص شد که تنش باعث کاهش کلروفیل a گردیده و کاهش کلروفیل منجر به کاهش رشد گیاه گندم و متعاقب آن عملکرد گندم نیز کاهش می‌یابد که با نتایج پژوهش حاضر نیز مطابقت دارد (Ranjam et al., 2001).

محتوای کلروفیل b

نتایج تجزیه واریانس این صفت نشان داد که اثر کنترل علف‌های هرز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین میزان محتوای کلروفیل b، به ترتیب در کنترل علف‌های هرز در مرحله پنجه‌زنی و شاهد دارای علف‌هرز به میزان ۰/۱۴ و ۰/۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه به دست آمد (جدول ۳). کنترل در مرحله پنجه‌زنی باعث افزایش ۸۸/۳۱ درصدی محتوای کلروفیل b نسبت به شاهد دارای علف‌هرز شده است. مقدار زیادی از کلروفیل b موجود در کلروپلاست در کمپلکس‌های برداشت‌کننده نور در فتوسنتز II قرار دارد. پژوهشگران بیان می‌دارند که در شرایط

(جدول ۳). نتایج نشان داد که گیاهانی که مدت‌زمان بیشتری دچار تداخل علف‌هرز بوده‌اند از میزان آنزیم پراکسیداز بیشتری نیز برخوردار بوده‌اند و کنترل علف‌های هرز در ابتدای پنجه‌زنی باعث کاهش ۵۱/۶ درصدی فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به شاهد دارای علف‌هرز شده است. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میزان آنزیم پراکسیداز در کشت مخلوط ارقام با ۶/۶۲ واحد بر دقیقه بر گرم وزن تر و کمترین میزان آن در تک‌کشتی رقم سیروان و ستاره با ۵/۸۲ و ۶/۱۰ واحد بر دقیقه بر گرم وزن تر حاصل شد و کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی سیروان و ستاره به‌ترتیب باعث افزایش ۸/۵ و ۱۳/۷ درصدی در فعالیت آنزیم کاتالاز شد (جدول ۳). ارقامی که مقاوم به تنش‌های محیطی باشند، سازوکارهایی برای مقابله با افزایش شدید گونه‌های فعال اکسیژن دارند که یکی از این راه‌کارها تجزیه و پاک‌سازی سریع گونه‌های واکنش‌دهنده اکسیژن در سلول است (Hosseinzeh et al., 2016). بررسی‌های مختلف نشان داده است گیاهانی که دارای سطوح بالاتری از آنتی‌اکسیدان‌ها می‌باشند مقاومت بیشتری نسبت به آسیب‌های اکسیداتیو نشان می‌دهند (Wang et al., 2010). مطابق با نتایج پژوهش حاضر در مطالعه‌ای که (Hassanpour et al., 2013) بر روی ارقام مختلف گندم دوروم و در شرایط تنش خشکی انجام دادند، بیان داشتند که در شرایط تنش میزان آنزیم پراکسیداز افزایش داشته و این افزایش در ارقام مختلف متفاوت بوده است. در این پژوهش نیز مشاهده گردید که در شرایط عدم کنترل علف‌های هرز، کشت مخلوط با افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در مقابله با علف‌های هرز مقاومت بیشتری نسبت به تک‌کشتی هر یک از ارقام از خود نشان می‌دهد.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس محتوای آب نسبی برگ نشان می‌دهد که اثر کنترل علف‌های هرز و سیستم کشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین میزان این صفت به‌ترتیب در کنترل علف‌های هرز ابتدای ساقه‌رفتن و شاهد دارای علف‌هرز به میزان ۷۳/۹ و ۵۵/۹ درصد حاصل شد، که کنترل ابتدای ساقه رفتن اختلاف معنی‌داری با کنترل علف‌های هرز در ابتدای پنجه‌زنی نشان نداده است (جدول ۳). نتایج حاکی از آن است که کنترل در مرحله پنجه‌زنی باعث افزایش ۳۲/۲ درصدی محتوای نسبی آب برگ گندم نسبت به شاهد دارای علف‌هرز شده است. محتوای نسبی آب برگ در واقع به‌عنوان شاخصی برای نشان دادن آسیب‌های ناشی از تنش محسوب می‌شود. محتوای نسبی آب برگ بیشتر باعث افزایش میزان فتوسنتز و در نتیجه، افزایش عملکرد در شرایط تنش می‌شود (Farooq et al., 2009). مطابق با نتایج پژوهش حاضر، در آزمایشی که (Neyestani et al., 2017) بر روی ژنوتیپ‌های گندم نان در حضور علف‌های هرز و شرایط آبیاری

باعث کاهش ۴۸/۷۶ درصدی آنزیم کاتالاز نسبت به شاهد دارای علف‌هرز شده است. کاتالاز یکی از مهمترین آنزیم‌های جمع‌آوری‌کننده پراکسید هیدروژن به‌شمار می‌آید که افزایش فعالیت این آنزیم باعث مقاومت گیاه در شرایط تنش و در نتیجه موجب افزایش عملکرد محصول می‌شود (Ye et al., 2000). در پژوهش حاضر کنترل زود هنگام علف‌های هرز باعث کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز شد و هرچه کنترل علف‌های هرز دیرتر صورت گرفت فعالیت آنزیم کاتالاز نیز بیشتر شد. به نظر می‌رسد زمانی که گیاه تحت شرایط تنش (اعم از زیستی و غیرزیستی) قرار می‌گیرد رادیکال‌های اکسیژن بیشتری نسبت به حالت غیر تنش در آن ایجاد و سبب پراکسیداسیون لیپیدها و پروتئین‌ها می‌گردد. در چنین شرایطی آنزیم کاتالاز به‌عنوان آنزیم اکسیداتیو فعال شده و اولین سد دفاعی در مقابله با گونه‌های واکنش‌دهنده اکسیژن در سلول‌های گیاهان می‌باشد. حال چنان‌چه گیاه مدت زمان بیشتری در رقابت با علف هرز قرار گیرد و در کسب منابع غذایی متوجه تنش بیشتری شود رادیکال‌های اکسیژن بیشتری تشکیل شده و در نتیجه میزان کاتالاز برای مقابله با اثرات سوء تنش افزایش می‌یابد (Amini et al., 2009; Mittler, 2002). همچنین نتایج اثر سیستم کشت نشان داد که بیشترین و کمترین میزان آنزیم کاتالاز به‌ترتیب در کشت مخلوط ارقام و تک‌کشتی سیروان و ستاره با ۴/۱۷ و ۳/۸۸ و ۳/۶۰ واحد بر دقیقه بر گرم وزن تر حاصل شد و کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی سیروان و ستاره به‌ترتیب باعث افزایش ۷/۴۷ و ۱۵/۸ درصدی در آنزیم کاتالاز شده است (جدول ۳). تنش در گیاه باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز می‌شود و در نتیجه باعث افزایش مقاومت در گیاه و در نهایت افزایش در عملکرد محصول می‌شود (Ye et al., 2000) که این امر با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. گیاهان در شرایط تنش برای مقابله با گونه‌های واکنش‌دهنده اکسیژن، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید، دیسموتاز را تشکیل می‌دهند، بنابراین افزایش فعالیت این آنزیم‌ها جهت کاهش اثرات منفی ROS، منطقی به نظر می‌رسد (Gunes et al., 2006). همانطور که مشاهده شد در این مطالعه وجود علف‌هرز باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در کشت مخلوط ارقام گردید، بنابراین کشت مخلوط ارقام گندم می‌تواند در برابر تنش زیستی علف‌هرز مقاومت بیشتری را نسبت به تک‌کشتی هر یک از ارقام نشان دهد.

فعالیت آنزیم پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس آنزیم پراکسیداز نشان داد که اثر کنترل علف‌های هرز و سیستم کشت در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین میزان آنزیم پراکسیداز به‌ترتیب در شاهد دارای علف‌هرز و کنترل ابتدای پنجه‌زنی به میزان ۵/۵۶ و ۲/۶۹ واحد بر دقیقه بر گرم وزن تر حاصل شد

کشت مخلوط سیاهدانه و شنبليله مشخص شد که توزیع متفاوت ریشه‌دهی دو گیاه و بهره‌برداری بهتر از رطوبت خاک منجر به دسترسی به رطوبت بیشتر در آرایش‌های کشت مخلوط گیاهان شنبليله و سیاهدانه شده است و همین امر موجب بررسی وضعیت رطوبتی تیمارهای مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی شده است (Kakulond *et al.*, 2015).

تکمیلی انجام دادند مشخص شد که ژنوتیپ‌های گندمی که قدرت رقابتی بالاتری با علف‌های هرز داشتند از محتوای نسبی آب برگ بیشتری نیز برخوردار بودند. نتایج اثر سیستم کشت بر محتوای نسبی آب برگ نشان داد که بیشترین و کمترین میزان این صفت به ترتیب در کشت مخلوط ارقام و تک‌کشتی ستاره به میزان ۷۳/۶۸ و ۶۵/۲۷ درصد حاصل شد (جدول ۳). مطابق با نتایج پژوهش حاضر در بررسی

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثرات کنترل علف‌های هرز و سیستم کشت بر صفات بیوشیمیایی، زیست توده علف‌های هرز و عملکرد دانه
Table 2- Results of analysis of variance of weed control effect and cropping system on biochemical traits, weed biomass and grain yield of wheat

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل B Chlorophyll b	کارتنوئید Carotenoid	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase	نسبی آب برگ Relative water content	زیست توده علف‌های هرز Weed biomass	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Replication	2	0.00071 ^{ns}	0.000150 ^{ns}	0.07283 ^{**}	0.33224 ^{ns}	4.37524 ^{**}	14.5132 ^{ns}	3628.41 ^{**}	682159.19 ^{ns}
کنترل علف‌هرز Weed control	5	0.06790 ^{**}	0.005501 ^{**}	1.12787 ^{**}	26.3897 ^{**}	18.4957 ^{**}	967.6164 ^{**}	161201 ^{**}	15575148.9 ^{**}
سیستم کشت Cropping system	2	0.00186 [*]	0.000430 ^{ns}	0.06851 ^{**}	1.45120 ^{**}	2.49140 ^{**}	410.1152 ^{**}	7233.08 ^{**}	3995706.02 ^{**}
کنترل علف‌هرز × سیستم کشت Weed control × Cropping system	10	0.00009 ^{ns}	0.000194 ^{ns}	0.00265 ^{ns}	0.07515 ^{ns}	0.05961 ^{ns}	31.7429 ^{ns}	1131.20 ^{**}	1333024.57 ^{ns}
خطا Error	34	0.00042	0.000249	0.00801	0.12445	0.0893	15.9888	346.31	744940.1
ضریب تغییرات CV (%)		5.2	15.7	5.2	9.1	7.8	5.6	16.1	23.5

ns, * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح ۵ درصد و معنی‌داری در سطح ۱ درصد می‌باشند.
ns, * and **: non-significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

زیست توده علف‌های هرز

نتایج تجزیه واریانس زیست توده علف‌های هرز نشان داد که اثر کنترل علف‌های هرز و سیستم کشت و هم‌چنین برهمکنش کنترل علف‌های هرز و سیستم کشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر این اساس بیشترین و کمترین وده علف‌های هرز به ترتیب در شاهد دارای علف‌هرز و تک‌کشتی ستاره و کنترل در مرحله ظهور سنبله و کشت مخلوط ارقام به میزان ۳۸۴ و ۶ گرم بر متر مربع حاصل شد (شکل ۱). می‌توان نتیجه گرفت که هرچه شروع کنترل علف‌های هرز دیرتر انجام گیرد وزن خشک علف‌های هرز پس از کنترل کمتر خواهد بود. بنابراین کنترل در مراحل اولیه رشد، بهترین نتیجه را از لحاظ حفظ عملکرد دانه ارائه داد. لازم به ذکر است که چون در پایان فصل رشد، در تیمار کنترل تمام فصل هیچ

علف هرزی برای اندازه‌گیری وجود نداشت، در شکل ۱ تیمارهای دیگر مورد بررسی قرار گرفت و از قرار دادن میزان صفر این تیمار در شکل چشم‌پوشی شد.

به نظر می‌رسد تداخل در رشد، به علت رقابت در مراحل اولیه، می‌تواند بر عملکرد گندم خسارت وارد کند که نتایج این پژوهش با نتایج (Pazuki-torudi, 2007) بر روی کنترل علف‌های هرز گندم مطابقت دارد. مهمترین علف‌های هرز باریک برگ در مزرعه یولاف وحشی (*Avena fatua* L.) و چچم (*Lolium perenne*) و فالاریس (*Phalaris minor* Retz) بودند و علف‌های هرز پهن برگ خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) و پیچک‌صحرایی (*Fumarium officinalis*) و شاتره (*Convolvulus arvensis* L.) بودند. نتایج نشان داد که کشت مخلوط ارقام نسبت به تک‌کشتی

ستاره و سیروان به ترتیب ۲۹/۶ و ۲۱/۲۵ درصد کاهش در زیست‌توده علف‌های هرز داشته است. در مطالعه‌ای که بر روی کشت مخلوط گندم با بقولات انجام شد نیز مشخص شد که علف‌های هرز موجود در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی گندم به مراتب کمتر است (Sarunaite et al., 2010). همچنین در پژوهشی دیگر که بر روی کشت مخلوط ذرت (*Zea mayz* L.) و خیار (*Cucumis sativus* L.) انجام شد، مشخص شد که کشت مخلوط به دلیل استفاده موثرتر از منابع و پوشش کاملتری که ایجاد می‌کند از طریق رقابت باعث کاهش بیشتر در رشد علف‌های هرز می‌شود که با نتایج پژوهش حاضر نیز مطابقت دارد (Ghanbari et al., 2006).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده مهار علف‌های هرز و سیستم کشت بر صفات بیوشیمیایی، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد دانه در گندم

Table 3- Mean comparison of simple effects of weed control and cropping system on some biochemical traits, relative leaf water content and grain yield in wheat

Treatment	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹ Fw)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹ Fw)	کارتنوئید Carotenoid (mg.g ⁻¹ Fw)	کاتالاز Catalase (U/min ⁻¹ .g ⁻¹ .Fw)	پراکسیداز Peroxidase (U/min ⁻¹ .g ⁻¹ .Fw)	محتوای نسبی آب برگ Relative water content (%)	عملکرد دانه Grain yield (kg.h ⁻¹)
کنترل علف‌های هرز Weed control							
شاهد کنترل علف‌هرز Weedy check	0.28 ^f	0.07 ^d	1.36 ^d	5.68 ^a	5.55 ^a	55.92 ^d	2399.6 ^c
شاهد بدون کنترل علف هرز Weed free	0.51 ^a	0.14 ^a	2.29 ^a	1.2 ^d	1.80 ^d	86.52 ^a	5592.3 ^a
کنترل علف‌های هرز ابتدای پنجه‌زنی Weed control at tillering	0.46 ^b	0.11 ^b	1.89 ^b	2.91 ^c	2.69 ^c	73.28 ^b	4921.4 ^a
کنترل علف‌های هرز ابتدای ساقه رفتن Weed control at stem elongation	0.42 ^c	0.09 ^{bc}	1.82 ^b	3.35 ^c	3.73 ^b	73.91 ^b	3560.6 ^b
کنترل علف‌هرز ابتدای غلاف رفتن Weed control at booting	0.37 ^d	0.08 ^{cd}	1.52 ^c	4.58 ^c	4.10 ^b	71.51 ^b	2912.1 ^{bc}
کنترل علف‌هرز ابتدای ظهور سنبله Weed control at ear emergence	0.31 ^e	0.08 ^{cd}	1.40 ^d	5.54 ^a	5.18 ^a	63.54 ^c	2578.4 ^{bc}
سیستم کشت							
Cropping system							
ستاره (Setareh)	0.38 ^b	0.09 ^a	1.65 ^b	3.60 ^b	3.51 ^b	65.27 ^b	3172.8 ^b
سیروان (Sirvan)	0.39 ^{ab}	0.10 ^a	1.72 ^{ab}	3.88 ^{ab}	3.78 ^b	73.39 ^a	3696.4 ^{ab}
مخلوط سیروان و ستاره Mix cropping of Setareh and Sirvan	0.40 ^a	0.10 ^a	1.77 ^a	4.17 ^a	4.24 ^a	73.68 ^a	4113.1 ^a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر تیمار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in each column and treatment followed by similar letters are not significantly different at 1% probability level using LSD test.



شکل ۱- اثر متقابل کنترل علف‌های هرز و سیستم کشت بر زیست‌توده علف‌های هرز (میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند).

Figure 1- Interaction of weed control and cropping system on weed biomass (Means with similar letters have not significant difference based on LSD ($p \leq 0.01$) test.

عملکرد دانه

نتایج آنالیز داده‌های عملکرد دانه نشان داد که اثر کنترل علف‌های هرز و سیستم کشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۲). نتایج اثر کنترل علف‌های هرز نشان داد که بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه در کنترل علف‌های هرز در مرحله پنجه‌زنی به میزان ۴۹۲۱/۴ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد و کمترین میزان این صفت در تیمار تداخل تمام فصل به میزان ۲۳۹۹/۶ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. به‌طور کلی کنترل علف‌های هرز در مرحله پنجه‌زنی نسبت به تداخل تمام فصل باعث افزایش ۵۱/۲۴ درصدی عملکرد دانه شده است (جدول ۳). با توجه به این‌که بیشترین عملکرد دانه در تیمار کنترل در کل دوره حاصل شد بنابراین این تیمار، بهترین تیمار در این پژوهش بود. چرا که عدم حضور علف‌های هرز به‌عنوان عامل رقابتی در کسب منابع، رشد و فتوسنتز، به گیاه فرصت کافی برای انباشت بهینه مواد پرورده در دانه را داد. در نهایت با مقایسه و بررسی تیمارهای کنترل در مراحل مختلف نتیجه گرفته شد که بهترین تیمار بعد از کنترل در کل فصل، تیمار کنترل در مرحله پنجه‌زنی بوده است. در مطالعه‌ای که (Pazuki-torudi, 2007) بر روی تداخل و کنترل علف‌های هرز گندم انجام داد بیان کرد که بیشترین عملکرد دانه گندم در مه‌ار در مرحله پنجه‌زنی حاصل شد که با نتایج پژوهش حاضر نیز مطابقت دارد. نتایج اثر سیستم کشت نشان داد که بیشترین میزان این صفت در کشت

مخلوط ارقام به میزان ۴۱۱۳/۳ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد و کمترین میزان آن هم در تک‌کشتی رقم ستاره به میزان ۳۱۷۲/۸ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد (جدول ۳). با توجه به مطالعاتی که (Westone et al., 2002) انجام دادند مشخص شد که سیستم‌های تک‌کشتی غلات منجر به کاهش عملکرد می‌شود، بنابراین کاشت این گیاهان به‌صورت مخلوط می‌تواند موجب افزایش عملکرد شود. در پژوهشی که بر روی گندم و بقولات انجام شد، مشخص شد که عملکرد گندم در کشت مخلوط گندم با بقولات در مقایسه با کشت خالص آن‌ها به مراتب در سطح بالاتری قرار دارد (Sarunaite et al., 2010). در مطالعه‌ای که (Nazeri et al., 2004) بر روی کشت مخلوط ارقام گندم انجام دادند، مشخص شد که عملکرد دانه در تیمار مخلوط با میزان بذر مناسب نسبت به کشت خالص در همان میزان بذر ۱۵ تا ۲۳ درصد برتری داشت. در پژوهش حاضر نیز کشت مخلوط ارقام نسبت به تک‌کشتی سیروان و ستاره به‌ترتیب، ۱۱/۲ و ۲۹/۶ درصد افزایش در عملکرد دانه داشته است.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کشت مخلوط ارقام گندم می‌تواند در کنترل و رقابت با علف‌های هرز موفق‌تر از تک‌کشتی عمل کند به نحوی که زیست‌توده علف‌های هرز در کشت مخلوط کاهش بیشتری را نشان داده است. کشت مخلوط در کنترل علف‌های

عملکرد دانه شده است به گونه‌ای که کشت مخلوط ارقام در مواجهه با علف‌های هرز می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مناسب جهت استفاده بهینه از عوامل محیطی برای ایجاد پایداری و ثبات تولید به‌طور قابل ملاحظه‌ای موثر باشد. به نظر می‌رسد یکی از علت‌های اصلی و مهم در افزایش عملکرد در این مطالعه افزایش تعداد سنبله در متر مربع و همچنین سایه‌انداز موجی شکل ایجاد شده ناشی از اختلاف ارتفاع دو رقم است که باعث افزایش کارایی در بهره‌گیری از نور می‌شود. همچنین بهترین زمان مهار علف‌های هرز مرحله پنجه‌زنی بوده است که باعث کاهش ۱۲ درصدی عملکرد دانه نسبت به مهار تمام فصل زراعی شده است و نسبت به سایر تیمارها کمترین کاهش عملکرد را نشان داده است.

هرز نسبت به تک‌کشتی ستاره ۲۹/۶ درصد و نسبت به تک‌کشتی سیروان ۲۱/۲۵ درصد کاهش در زیست‌توده علف‌های هرز داشته است. نتایج اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی نشان داد که آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز به‌ترتیب در کنترل علف‌های هرز ابتدای پنجه‌زنی ۴۸/۷۶ و ۵۱/۶ درصد نسبت به شاهد دارای علف‌هرز کاهش داشته است و همچنین این صفات در کشت مخلوط ارقام به‌ترتیب ۱۵/۸ و ۱۳/۷ درصد نسبت به تک‌کشتی ستاره افزایش داشته است. به نظر می‌رسد در این مطالعه کشت مخلوط ارقام نسبت به تک‌کشتی آن‌ها در مقابل تنش‌زیستی علف‌های هرز مقاوم‌تر بوده است و باعث افزایش میزان آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و محتوای نسبی آب برگ بیشتر در شرایط حضور علف‌های هرز و در نهایت باعث افزایش

References

1. Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. *Methods in Enzymology* 105: 121-126.
2. Amini, Z., Haddad, R., and Moradi, F. 2009. The effect of water deficit stress on antioxidant enzymes during generative growth stages in Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 12: 65-74. (in Persian with English abstract).
3. Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Journal of Agronomy* 23:112-121.
4. Barrsu, H. D., and Weatherley, P. E. 1962. Are-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal Biological Science* 15: 413-4280.
5. Ebrahimi, A., Naqvi, M. R., and Sabokdast, M. 2010. Comparison of different species barely landraces in Disactivity and induces enzymatic lipid peroxidation in leaf tissue in Arabidopsis Thaliana. *Journal of Plant Science* 158: 115-127. (in Persian).
6. Emam, Y., and Niknejad, M. 2011. *An Introduction to the Physiology of Crop Yield*. Shiraz University Press. Shiraz. (in Persian).
7. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Barsa, S. M. A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Journal of Agronomy and Sustainable Development* 29: 185-212.
8. Fenandez-Aparicio, M., Sillero, J. C., and Rubials, D. 2007. Intercropping with cereals reduces infection by *Orobanche crenata* in legumes. *Crop protection* 26: 1166-1172.
9. Ghanbari, A., Ghadiri, H., and Jowkar, M. 2006. The effect of intercropping of corn (*Zea mays* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) on weed control. *Pajouhesh and Sazanaegi* 19 (4): 193-199. (in Persian).
10. Ghatari, A. S., and A. Roozbahani. 2015. Chemical and mechanical weed control methods and their effects on photosynthetic pigments and grain yield of kidneybean. *Journal of Crop Ecophysiology* 9 (3): 461-476. (in Persian with English abstract).
11. Gregersen, P. L., and Holm, P. B. 2007. Transcriptome analysis of senescence in the flag leaf of wheat. *Journal of Plant Biotechnology* 5: 192-206.
12. Gunes, A., Cicek, N., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Guneri, E., and Guzelordu, T. 2006. Genotypic response of chickpea (*cicer arietinum* L.) cultivars to drought stress implemented at pre-and post and thesis stages and its relations with nutrient uptake & efficiency. *Journal of Plant Soil Environ* 52: 868-876.
13. Hassanpour Lescokelaye, K., Ahmadi, J., Daneshyan, J., and Sedighe, H. 2013. *Journal of Crop Breeding* 7: 76-87. (in Persian with English abstract).
14. Holander, N. G., Bastiaans, L., and Kropff, M. J. 2007. Clover as a cover crop for weed suppression in an intercropping design Characteristics of several clover species. *European Journal of Agronomy* 26: 92-103.
15. Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H., and Ismaili, A. 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthesis characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress-photosynthetica. In *Vironment Stress In Crop Sciences* 54: 7-92. (in Persian).
16. Kakoulond, R., Fallah, S. A., and Abasi- Suraki, A. 2014. The effect of competition on photosynthetic pigments, proline, relative water content, and essential oil content of fenugreek (*Trigonella fenum graecum* L.) and black seed (*Nigella sativa* L.), on drought stress conditions. *Journal of Function and the Process* 6 (189): 255-270. (in Persian).
17. Khalaghani, J. 2008. Advanced study for estimation of yield loss due to weeds in wheat fields. Final report of project, Iranian Research Institute of Plant Protection 76pp. (in Persian).
18. Koyro, H. W. 2006. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* L. *Environmental and Experimental Botany* 56: 136-149.

19. Kranner, I., Beckett, R. P., Wornik, S., Zorn, M., and Pfeifhofer, H. W. 2002. Revival of a resurrection plant correlates with its antioxidant status. *The Plant Journal* 31:13-24.
20. Kruidhof, H. M., Bastiaans, L., and Kropff, M. J. 2008. Ecological weed management by cover cropping: Effects on weed growth in autumn and weed establishment in spring. *Weed Research* 48: 492-502.
21. Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science* 7: 405-416.
22. Momeni, N., Arvin, M. J., Khajojinejad, G. R., Keramat, B. M., and Daneshjo, F. 2013. Effects of sodium chloride, and salicylic acid on photosynthetic indexes and mineral nutrition of corn. *Journal of Plant Biology* 15: 15-30. (in Persian with English abstract).
23. Nazeri, M., Beheshti, A., Zarefizabadi, A., and Hashemi, H. 2004. Effect of mixed cropping with different seeding rate on yield and agronomic traits of weed cultivars. In: *Proceeding of 8th Congress of Agronomy and Plant Breeding*. University of Gilan, Iran.
24. Neyestani, E. H., Ameri, A. A., and Heydari, M. 2017. Evaluation of competitiveness of different wheat genotypes with weeds and their quantities changes in rainfed and supplementary irrigation. *Journal of Plant Ecophysiology* 38: 162-173. (in Persian with English abstract).
25. Oncel, I., Keles, Y., and Ustun, A. S. 2000. Interactive of temperature and heavy metal stress on the growth and some biological compounds in wheat seedling. *Environmental Pollution* 107: 315-320.
26. Pazouki-Troudi, M. 2008. Determination of critical period of weed control in wheat (*Triticum aestivum* L.) in Mazandaran province (Sari region). Master Thesis, Sari, Mazandaran. (in Persian with English abstract).
27. Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A. R., and Najafi, F. 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica* 53 (1): 47-56.
28. Ranjan, R., Bohra, S. P., and Jeet, A. M. 2001. Plant senescence. Jodhpur. Agrobios Pub. New York 252 P.
29. Ronald, M., and Charles, K. 2012. Weed suppression and component crops response in maize/pumpkin intercropping systems in Zimbabwe. *Journal of Agricultural Science* 4: 231-236.
30. Sanjani, S., Hosseini, M. B., Chaichi, M. R., and Rezvan Beidokhti, S. 2008. Effect of additive intercropping sorghum: cowpea on weed biomass and density in limited irrigation system. *Iranian Journal of Agriculture Research* 7: 85-95. (in Persian with English abstract).
31. Sarunaite, L., Deveikyte, I., and Kadziulienė, Z. 2010. Intercropping spring wheat with grain legume for increased production in an organic crop rotation. *Agriculture* 97 (3): 51-58.
32. Shewry, P. R. 2009. Wheat. *Journal of Experimental Botany* 60: 1537-1553.
33. Wang, W. B., Kim, Y. H. S., Lee, H., Kim, K. Y., Deny, X. P., and Kwak, S. S. 2009. Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stress. *Plant physiology and Biochemistry* 47: 570-577.
34. Westone, E. J., King, A. J., Strong, W. M., Lehan, K. J., Cooper, J. E., and Holmes, C. J. 2002. Sustaining productivity of a vertisil soil at warra. Queens land, with fertilizers, no-tillage or legumes. Production and nitrogen benefits from annual medic in rotation with wheat. *Experimental Agriculture* 42: 961-996.
35. Ye, Z., Rodriguez, R., and Tran, A. 2000. The development transition of flowering represses ascorbate peroxidase activity and induces enzymatic lipid peroxidation in leaf tissue in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Science* 158: 115-127.



Evaluation of Weed Control on Biochemical Characteristics, Relative Water Content, and Grain Yield of Mixed Cropping of Wheat Cultivars

A. Rezaie¹, E. Bijanzadeh^{2*}, A. Behpour³

Received: 19-03-2020

Accepted: 19-10-2020

Introduction

Wheat is the most important crop in the world, which has always been of particular importance since its domestication and has the highest cultivated area among crops. Wheat is the main food of most people in many parts of the world. Among the factors that reduce wheat production, weeds are of particular importance and according to the studies; the average weed damage in wheat fields is 23%. Mixed cropping systems based on carefully designed species mixtures reveal many potential advantages in terms of enhancing crop productivity, reducing pest and weed interference. Recently, mixed cropping of wheat cultivars by different morphological characteristics is a suitable approach in increasing crop productivity especially under biotic stress conditions. This study aimed to investigate the effect of weed control on some biochemical traits, relative leaf water content and grain yield of mixed cropping of wheat cultivars.

Materials and Methods

In order to study the effect of weed control on biochemical traits and yield in mixed cropping of wheat cultivars, a field experiment was laid out as randomized complete block design with three replications in Research Station of Agriculture College and Natural Resources of Darab, Shiraz University, in 2018-2019 growing season. Experimental treatments consisted of six levels of weed control including weed control at tillering, stem elongation, booting and ear emergence stages, weed-free and weedy check and cropping system consisted of Sirvan monoculture, Setareh monoculture, and mixed row intercropping of Sirvan and Setareh which were in a ratio of row one to one. The sowing date was 4th Dec in 2018 and harvest date was 19th Jun 2019. At late flowering stage, chlorophyll a and b content, carotenoid content, catalase and peroxidase activity, relative water content and weed biomass was measured. In addition, at physiological maturity grain yield were determined by one square meter quadrat. Finally, data were analyzed by SAS ver 9.1 software and the means were compared by LSD test at 5% probability levels.

Results and Discussion

The results showed that the simple effects of weed control and cropping system had significant effect on chlorophyll a and b, carotenoid content, catalase and peroxidase activity, relative water content, weed biomass and grain yield. The amount of chlorophyll a, carotenoid and relative water content of leaf, catalase and peroxidase in weed control at tillering stage were 64.2, 38.97, 31.4, 93.10 and 88%, respectively, compared to weedy check and these traits in mixed cropping increased by 5.2, 7.2, 12.8, 15.8 and 20.7%, compared to Setareh monoculture, respectively. Also, weed biomass in mixed cropping decreased by 29.6% compared to Setareh monoculture. The highest grain yield was observed in mixed cropping of Sirvan with Setareh which had 29.6% increase compared to Setareh monoculture and the best time to weed control was at the tillering stage because it had the lowest reduction in grain yield compared to weed free treatment.

Overall, weed control at late-season especially at ear emergence would be less effective in crop productivity while weed control at early growth stages and before flowering provided the best crop performance in terms of photosynthetic pigments and grain yield.

Conclusions

It seems that mixed cropping of wheat cultivars could be effective in weed competition compared to monoculture, so that weed biomass in mixed cropping decreased especially at tillering and only 11.9% grain yield was reduced compared to weed-free control. Overall, when plants exposed to weed interference up to late growth stages, chlorophyll a and b content and carotenoid content decreased while catalase and peroxidase activity and weed biomass increased, significantly. Also, mixed cropping treatment weed interference increased

1- MSc. Student of Agroecology, Department of Agroecology, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University

2- Associate Professor, Department of Agroecology, Agriculture College and Natural Resources of Darab, Shiraz University

3- Assistant Professor, Department of Agroecology, Agriculture College and Natural Resources of Darab, Shiraz University

(*- Corresponding Author Email: bijanzd@shirazu.ac.ir)

catalase and peroxidase activities and relative water content and caused grain yield increasing compared to monoculture.

Keywords: Carotenoid, Chlorophyll a, Peroxidase, Setareh cultivar, Weed biomass



مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی عملکرد زیست توده و شاخص های کارایی نیتروژن و فسفر خرفه (*Portulaca oleracea* L.) تحت تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و زیستی

حامد جوادی^۱، پرویز رضوانی مقدم^{۲*}، محمد حسن راشد محصل^۳، محمد جواد ثقه الاسلامی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۱

چکیده

به منظور بررسی اثر کودهای آلی، زیستی و شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه خرفه، آزمایشی در سال های زراعی ۱۳۹۳-۹۴ و ۱۳۹۴-۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بیرجند به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش بر اساس ترکیبی از چهار منبع تأمین کننده نیتروژن شامل: کود گاوی، ورمی کمپوست، کود شیمیایی (NPK) و شاهد (بدون اعمال هیچ گونه کودی) و نیز چهار نوع کود زیستی شامل: نیتروکسین (شامل ازتوباکتر و آزوسپیریلا)، میکوریزا (*Glomus intraradices*)، بیوسولفور (شامل تیوباسیلوس) و شاهد (بدون هیچ گونه کودی) بودند. نتایج دو ساله برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی نشان داد که در تیمار کود شیمیایی (NPK) مصرف نیتروکسین موجب افزایش عملکرد زیست توده (۴۵/۶ درصد)، کارایی زراعی نیتروژن زیست توده (۵۲ درصد)، فسفر زیست توده (۲ برابر)، محتوای فسفر زیست توده (۲/۸ برابر) و مصرف بیوسولفور موجب افزایش نیتروژن زیست توده (۵۲/۹ درصد)، محتوای نیتروژن زیست توده (۲ برابر)، کارایی جذب نیتروژن (۲/۱ برابر) نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) شد. در تیمار کود گاوی مصرف نیتروکسین موجب افزایش کارایی فیزیولوژیک زیست توده (۸ درصد) و در تیمار عدم مصرف کود آلی و شیمیایی استفاده از نیتروکسین موجب افزایش کارایی جذب فسفر (۲۲/۴ درصد) و استفاده از میکوریزا و بیوسولفور (به ترتیب ۲۹/۹ و ۲۱/۴ درصد) موجب افزایش کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست توده نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) شد. همچنین مصرف منابع کودی نیتروژن موجب کاهش کارایی زراعی فسفر زیست توده نسبت به شاهد شد. بر اساس نتایج این آزمایش، جهت دستیابی به حداکثر عملکرد زیست توده و با در نظر گرفتن حداکثر کارایی مصرف فسفر و نیتروژن زیست توده استفاده از تیمار کود شیمیایی (NPK) و نیتروکسین در منطقه بیرجند توصیه می شود.

واژه های کلیدی: بیوسولفور، کود گاوی، میکوریزا، نیتروکسین، ورمی کمپوست

مقدمه

می شود (Yang et al., 2006). همچنین، توجه مردم به ویژه در کشورهای توسعه یافته به غذای سالم و عاری از سم و کود شیمیایی و مقابله با گرم شدن زمین از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه ای اهمیت کاهش کودهای شیمیایی و جایگزین نمودن آن با نهادهای طبیعی و درون مزرعه ای را دوچندان کرده است (Den Hollander et al., 2007).

با توجه به این که ایران از اقلیم خشک و نیمه خشک برخوردار بوده و خاک های آن اغلب با کمبود مواد آلی مواجه هستند و از طرف دیگر، آهکی بودن این خاک ها مانع از جذب عناصر غذایی به ویژه عناصر کم تحرکی مانند فسفر می شوند (Rahimzadeh et al., 2013)، لذا جایگزین نمودن کودهای آلی و زیستی با کودهای شیمیایی و یا کاربرد ترکیبی آن ها، ضمن آزادسازی تدریجی عناصر غذایی مطابق با نیاز گیاه (Talgre et al., 2009) و افزایش کارایی نهادهای از طریق توسعه ریشه گیاه، جذب بیشتر آب و عناصر غذایی و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (Koocheki et al., 2015) باعث پایداری نظام کشاورزی در درازمدت می شود.

نیتروژن کلیدی ترین عنصری است که باعث حاصلخیزی خاک و تولید محصولات کشاورزی می شود و نسبت به سایر عناصر ضروری مقدار بیشتری از آن مورد نیاز است (Berenguer et al., 2009). در سال های اخیر، استفاده از کودهای شیمیایی تا حد معینی باعث افزایش کمیت و کیفیت محصولات زراعی شده است (Inanloofar et al., 2013; Asadi et al., 2014; Yusefian Ghahfarokhi et al., 2015)، اما نتایج برخی بررسی ها نشان می دهد که استفاده طولانی مدت از کودهای شیمیایی باعث تخریب ساختمان خاک، افزایش هزینه ها و کاهش پتانسیل تولید و مشکلات زیست محیطی

۱- دانش آموخته دکتری، بوم شناسی 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

۴- دانشیار، گروه کشاورزی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

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

DOI: 10.22067/gsc.v18i3.85781

خرفه (*Portulaca oleracea* L.) گیاهی یک‌ساله و چهار کربنه از خانواده Portulacaceae است که به تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی مقاوم می‌باشد (Rahimi et al., 2011). این گیاه در بسیاری از کشورهای دنیا برای اهداف گوناگون از جمله تغذیه انسان، صنایع تبدیلی و دارویی کاربرد دارد. از نظر خواص دارویی، این گیاه مدر، ضد کمبود ویتامین ث، معالج سرفه‌های مقاوم، تصفیه‌کننده خون، تب‌بر، مفید در ترمیم سوختگی‌ها، شل‌کننده عضلات، ضد تشنج، ضد التهاب، کاهش‌دهنده خطر بیماری‌های قلبی و عروقی، رفع تشنگی می‌باشد (Soltaninejad et al., 2013; Aynanlvfr et al., 2014).

در تحقیقی، کاربرد کودهای آلی و شیمیایی نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود) وزن خشک بوته خرفه را افزایش داد، ولی تأثیر مصرف کود شیمیایی بر این صفات بیشتر از کودهای آلی بود (Yusefian et al., 2015). نتایج مطالعه‌ای در خصوص سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) نشان داد که کارایی جذب و مصرف نیتروژن در کودهای آلی به‌طور معنی‌داری بیشتر از کودهای شیمیایی بود (Rezvani Moghaddam et al., 2014). در تحقیقی دیگر که به‌منظور مقایسه اثر سطوح مختلف کودهای آلی (کود گاوی و ورمی‌کمپوست) و شیمیایی (اوره) بر شاخص‌های کارایی نیتروژن در اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.) انجام گرفت مشخص شد با افزایش مقدار کود، درصد و محتوای نیتروژن زیست‌توده افزایش یافت. همچنین، بالاترین کارایی مصرف و بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده اسفرزه برای شاهد به‌دست آمد. در این تحقیق سطوح مختلف کودهای آلی از نظر کارایی جذب و بهره‌وری نیتروژن در مقایسه با کودهای شیمیایی برتری داشتند (Asadi et al., 2014). در تحقیقی، استفاده از کودهای گاوی و ورمی‌کمپوست باعث افزایش میزان فسفر و پتاسیم زیست‌توده و کارایی جذب و مصرف فسفر و پتاسیم سیاهدانه شد (Rezvani Moghaddam et al., 2014). در مطالعه‌ای دیگر، بیشترین میزان

فسفر زیست‌توده، کارایی جذب فسفر و کارایی مصرف فسفر و پتاسیم سیاهدانه از تیمار تیوباسیلوس همراه با گوگرد به‌دست آمد. در این تحقیق، اثر نیتروکسین بر درصد جذب فسفر و پتاسیم، میزان پتاسیم و کارایی جذب پتاسیم معنی‌دار نبود (Rezvani Moghaddam and Seyyedi, 2014).

با توجه به اهمیت خرفه به‌عنوان یک گیاه مقاوم به شوری و خشکی و مستعد پرورش در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌ویژه در خراسان جنوبی و افزایش تولید آن در کشور، تاکنون اطلاعات دقیقی در خصوص نیاز کودی این محصول در دسترس نیست و کشاورزان برای تولید آن مقدار زیادی کود شیمیایی مصرف می‌کنند که این موضوع علاوه بر هدر رفت سرمایه، باعث آلودگی محیط‌زیست می‌گردد. بر این اساس، در راستای بهبود کارایی نیتروژن و فسفر از طریق کاهش مصرف کود شیمیایی و استفاده از منابع پایدار تأمین‌کننده نیتروژن و فسفر، این مطالعه با هدف بررسی اثر کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بر عملکرد زیست‌توده و کارایی مصرف نیتروژن و فسفر خرفه در شرایط آب و هوایی بیرجند طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ و ۱۳۹۴-۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا به اجرا درآمد. محل آزمایش از نظر اقلیمی بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمبرژه جزو مناطق خشک است. میانگین ۱۵ ساله بارندگی این منطقه ۱۷۶ میلی‌متر، حداکثر دمای آن ۳۹/۱، حداقل دما ۱۷- و متوسط دمای روزانه ۱۲ درجه سانتی‌گراد است. نتایج تجزیه خاک، منطقه مورد نظر در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در دو سال مورد مطالعه

Table 1- Results of soil analysis at 0-30 cm depth in two years studied

سال زراعی Cropping year	بافت خاک Texture	هدایت الکتریکی EC (dS. m ⁻¹)	اسیدیته pH	مواد آلی OM (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)
۱۳۹۳-۱۳۹۴ 2013-2014	لوم رسی Loam-clay	2.89	7.14	0.46	0.147	5.4	276
۱۳۹۴-۱۳۹۵ 2015-2016	لوم Loam	3.70	7.60	0.70	0.073	12.4	297

کود شیمیایی (NPK) و شاهد (بدون اعمال هیچ‌گونه کودی) و نیز

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش بر اساس ترکیبی از چهار منبع تأمین‌کننده نیتروژن شامل: (کود دامی، ورمی‌کمپوست،

(جدول ۲) میزان کود مورد استفاده در سال اول آزمایش برای کود دامی و ورمی کمپوست به ترتیب ۳۳۸۹۸/۳ و ۶۴۹۳/۵ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم آزمایش ۳۳۳۳۳/۳ و ۱۲۸۲۰/۵۱ کیلوگرم در هکتار برآورد شد.

جهت تلقیح بذره های خرفه با میکوریزا از خاک حاوی سویه گلوموس اینترادایسیس استفاده شد که همزمان با کاشت به صورت دولایه تلقیح با خاک حاوی میکوریزا در بالا و پایین بذرها و به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هر کرت (۳۰۰ گرم در مترمربع) صورت پذیرفت. خاک حاوی میکوریزا سویه گلوموس اینترادایسیس از شرکت زیست فناوری توران واقع در پارک علم و فناوری شاهرود تهیه شد. اعمال کود نیتروکسین (حاوی باکتری های ازتوباکتر و آزوسپیریوم) در یک مرحله به صورت تلقیح با بذور قبل از کاشت (بذر مال) به میزان ۰/۵ لیتر به ازای هر هشت کیلوگرم بذر در هکتار (بر اساس توصیه کودی شرکت زیستی مهر آسیا) انجام شد. البته با توجه به عدم درج نام خرفه در لیست توصیه های کودی این شرکت، از گیاهان نزدیک به آن (کلزا) استفاده شد. تلقیح بذور با نیتروکسین در سایه و دور از تابش مستقیم آفتاب انجام و کرت ها بلافاصله آبیاری شدند. همچنین، اعمال کود بیوسولفور (حاوی تیوباسیلوس) به همراه مصرف گوگرد بنتونیت دار در یک مرحله و به صورت تلقیح با بذور به میزان ۶ کیلوگرم بیوسولفور به ازای هر هکتار و ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت دار در هکتار (بر اساس توصیه کودی شرکت زیستی مهر آسیا) انجام شد.

عملیات مبارزه با علف های هرز طی سه نوبت با دست انجام پذیرفت. در طول فصل رشد در سال اول آزمایش و چین دوم، بیماری زنگ سفید^۶ مشاهده و جهت جلوگیری از خسارت از سم ریدومیل^۷ به میزان ۱/۵ در هزار استفاده شد. در سال دوم آزمایش و در چین اول، آفت سرخرطومی بلند چغندر^۸ مشاهده و جهت جلوگیری از خسارت از سم تیودیکارب^۹ (لاروین) به میزان ۱/۵ در هزار استفاده شد. در طی فصل رشد این گیاه دو چین برداشت (چین اول در سال اول آزمایش در تاریخ ۹۴/۴/۲۸ و در سال دوم آزمایش در تاریخ ۹۵/۵/۱۸، چین دوم در سال اول آزمایش در تاریخ ۹۴/۶/۲۶ و در سال دوم آزمایش در تاریخ ۹۵/۷/۱۰) شد.

چهار نوع کود زیستی شامل: نیتروکسین (شامل ازتوباکتر^۱ و آزوسپیریوم^۲)، میکوریزا^۳ (گلموس اینترادایسیس^۴)، بیوسولفور (شامل تیوباسیلوس^۵) + گوگرد و شاهد (بدون اعمال هیچ گونه کودی) بودند. در این تحقیق اندازه هر کرت ۳×۴ متر (۱۲ مترمربع)، فاصله بین کرت ها ۰/۵ متر و فاصله بین بلوک ها سه متر در نظر گرفته شد. به منظور پیشگیری از اختلاط تیمارهای مختلف کودی در زمان آبیاری، یک پشته نکاشت بین هر دو کرت در نظر گرفته شد.

عملیات کاشت خرفه در سال اول آزمایش، ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۴ و در سال دوم آزمایش، ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۵ با دست و به صورت خشکه کاری در کرت های مذکور انجام شد. در این آزمایش فاصله بین ردیف ۴۰ سانتی متر و فاصله بین بوته ها ۱۵ سانتی متر (تراکم ۱۶۶۶۶/۶ بوته در هکتار) در نظر گرفته شد (Javadi et al., 2017). جهت دستیابی به تراکم فوق، ابتدا بذرها با تراکم بالا کشت شد، سپس با عمل تنک کردن در دو مرحله شش و هشت برگی، تراکم مورد نظر حاصل شد. پس از کاشت، نسبت به آبیاری هر کرت به صورت جداگانه، توسط سیفون اقدام شد. آبیاری پس از سبز شدن، هر ۷ روز یکبار تا پایان فصل رشد ادامه یافت. در مراحل مختلف آبیاری، زمان صرف شده برای آبیاری کرت ها یکسان در نظر گرفته شد. در این تحقیق بر اساس نیاز گیاه خرفه و آزمون خاک، کود NPK با مقادیر خالص پتاسیم، فسفر و نیتروژن به ترتیب ۵۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اعمال شد. کود فسفر (از منبع سوپر فسفات تریپل) و پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم)، قبل از کاشت در سطح کرت های مورد نظر پخش و با خاک مخلوط شده و کود شیمیایی نیتروژن (از منبع اوره) نیز به صورت سرک در دو مرحله، نیمی در ابتدای کاشت، همزمان با کاربرد کودهای دیگر و نیمی دیگر پس از پایان چین اول خرفه و شروع چین دوم به صورت سرک به خاک اضافه شد. با توجه به اینکه هر یک از کرت های آزمایش باید از میزان نیتروژن مساوی از منابع آلی و شیمیایی برخوردار باشند لذا مقادیر کود دامی و ورمی کمپوست بر اساس مقدار نیتروژن توصیه شده (۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) برآورد و اعمال شد. با توجه به این که از کل عناصر موجود در کود دامی مقدار ۵۰ درصد در سال اول آزاد می شود، مقدار به دست آمده برای کود دامی دو برابر مقادیر نیتروژن توصیه شده در نظر گرفته شد (Rezvani Moghaddam et al., 2014). نتایج حاصل از تجزیه کود دامی و ورمی کمپوست به تفکیک دو سال آزمایش در جدول ۲ آمده است.

بر اساس محتوی نیتروژن کود دامی (گاوی) و ورمی کمپوست

6- *Wilsoniana Portulacae*
7- Ridomil- MZ, 72 WP
8- *Lixus incanescens* Boh.
9- Thiodicarb

1- *Azotobacter*
2- *Azospirillum*
3- *Mycorrhiza*
4- *Glomus intraradices*
5- *Thiobacillus*

جدول ۲- نتایج تجزیه کود گاوی و ورمی کمپوست در دو سال زراعی مورد مطالعه
Table 2- Analysis of cow manure and vermicompost studied in two crop year

سال زراعی Cropping year	نوع کود Type of fertilizer	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	کربن آلی (%)	نیترژن کل (%)	فسفر (%)	پتاسیم (%)	کربن به نیترژن (C/N)
۱۳۹۳-۱۳۹۴	ورمی کمپوست Vermicompost	6.70	7.52	17.7	1.54	0.71	0.28	11.49
2014-2015	کود گاوی Cow manure	4.56	7.95	6.78	0.59	0.50	0.32	11.49
۱۳۹۴-۱۳۹۵	ورمی کمپوست Vermicompost	7.78	7.70	7.70	0.78	0.32	0.38	9.87
2015-2016	کود گاوی Cow manure	8.26	7.40	7.10	0.60	0.28	0.51	11.83

می باشد (Cassman *et al.*, 2002)، بنابراین میزان نیترژن قابل جذب گیاه از خاک در سال اول آزمایش ۱۶۳/۸ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم آزمایش ۹۱/۹۸ کیلوگرم در هکتار بود.

به منظور تعیین درصد فسفر اندامهای هوایی و محاسبه شاخصهای کارایی فسفر، ابتدا نمونههای گیاهی آسیاب و به روش هضم خشک آماده شده و سپس مقدار فسفر در عصاره حاصل به روش مورفی و رابلی (Morphy and Riley, 1962) اندازه گیری شد. جنبه های مختلف کارایی فسفر با استفاده از رابطه های (۱)، (۲) و (۳) محاسبه گردید. با این تفاوت که در رابطه های مذکور فسفر جایگزین نیترژن شد. برای محاسبه کارایی مصرف فسفر، علاوه بر کود مصرفی، میزان فسفر موجود در خاک نیز در نظر گرفته شد. برای این منظور و محاسبه ذخیره فسفر خاک قبل از کشت گیاه زراعی، عمق خاک برای خرفه ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته شد و با توجه به درصد فسفر خاک و وزن مخصوص ظاهری خاک میزان فسفر موجود در خاک به دست آمد (جدول ۱) که میزان آن در سال اول آزمایش ۴۸/۳۶ کیلوگرم در هکتار (وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۳ گرم بر سانتی متر مکعب) و در سال دوم آزمایش ۲۲/۶۸ کیلوگرم در هکتار (وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۴ گرم بر سانتی متر مکعب) بود.

پس از جمع آوری داده ها، تجزیه واریانس مرکب با استفاده از نرم افزار Minitab 17 انجام پذیرفت. میانگین ها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) و در سطح ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

عملکرد زیست توده

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر منابع کودی نیترژن در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش منابع کودی نیترژن و کود زیستی و برهمکنش سال، منابع کودی نیترژن و کود زیستی در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد زیست توده معنی دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیترژن و کود

جهت تعیین عملکرد زیستی پس از حذف ردیفهای کناری و نیم متر ابتدا و انتهای هر کرت برداشت صورت پذیرفت. عملکرد خشک زیست توده، از قرار دادن اندامهای هوایی در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد و به مدت ۷۲ ساعت و پس از توزین آنها به دست آمد (Javadi *et al.*, 2017). به منظور تعیین درصد نیترژن اندامهای هوایی و محاسبه شاخصهای کارایی نیترژن، ابتدا نمونههای گیاهی آسیاب و پس از هضم با اسیدسولفوریک و کاتالیزور، مقدار نیترژن موجود در عصاره حاصل توسط روش کج دال (Ogg, 1960) اندازه گیری شد. جنبه های مختلف کارایی نیترژن با استفاده از طریق معادله های زیر محاسبه گردید (Asadi *et al.*, 2014):

$$NupE = (N_{off} / N_s) \times 100 \quad (۱)$$

$$NutE_b = (B / N_{off}) \quad (۲)$$

$$NUE_b = (B / N_s) \quad (۳)$$

در این رابطه ها، NupE: کارایی جذب (باز یافت) نیترژن، N_{off}: نیترژن موجود در زیست توده (کیلوگرم در هکتار)، N_s: نیترژن موجود در خاک که شامل نیترژن اولیه خاک و نیترژن مصرفی (کیلوگرم در هکتار) می باشد، NutE_b: کارایی مصرف (فیزیولوژیک) نیترژن بر حسب عملکرد زیست توده، B: عملکرد زیست توده (کیلوگرم در هکتار) و NUE_b: کارایی زراعی (بهره وری) نیترژن بر حسب عملکرد زیست توده می باشد.

برای محاسبه کارایی مصرف نیترژن، علاوه بر کود مصرفی، میزان نیترژن موجود در خاک نیز در نظر گرفته شد. برای این منظور و محاسبه ذخیره نیترژن خاک قبل از کشت گیاه زراعی، عمق خاک برای خرفه ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته شد و با توجه به درصد نیترژن خاک و وزن مخصوص ظاهری خاک میزان نیترژن موجود در خاک به دست آمد (جدول ۱) که میزان آن در سال اول آزمایش ۵۴۶۰ کیلوگرم در هکتار (وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۳ گرم بر سانتی متر مکعب) و در سال دوم آزمایش ۳۰۶۶ کیلوگرم در هکتار (وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۴ گرم بر سانتی متر مکعب) بود. با توجه به این که فقط ۳ درصد نیترژن کل خاک قابل جذب برای گیاه

تأثیر مصرف کود شیمیایی بر این صفات بیشتر از کودهای آلی بود (Yusefian Ghahfarokhi *et al.*, 2015). اینانلوfer و همکاران (Inanloofar *et al.*, 2013) در مطالعه اثر کود بیولوژیک (نیتروکسین)، شیمیایی (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره) و تلفیق کود بیولوژیک و ۵۰ درصد کود شیمیایی بر عملکرد خرفه گزارش کرد که بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی از تلفیق نیتروکسین و ۵۰ درصد کود اوره حاصل شد. نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که رابطه منفی بین کاربرد کودهای شیمیایی و کلونیزاسیون میکوریزایی وجود دارد (Safir, 1987; Gryndler *et al.*, 2006). نیتروکسین از طریق توسعه سیستم ریشه‌ای (Kolb and Martin, 1985) باعث افزایش جذب آب و عناصر غذایی (Fitter, 2000) و مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه نیتروژن از طریق جذب بهتر فسفر و پتاسیم موجود در خاک، افزایش شاخص سطح برگ و کارایی فتوسنتز باعث افزایش عملکرد زیست توده شد (Ashraf *et al.*, 2005).

زیستی بر عملکرد زیست توده نشان داد که در تیمار شاهد (عدم مصرف کود آلی و شیمیایی) و کود شیمیایی (NPK) استفاده از تیمار کود زیستی تأثیر معنی داری بر عملکرد زیست توده نداشت و در برخی موارد (مصرف کود شیمیایی و میکوریزا) موجب کاهش عملکرد زیست توده شد (جدول ۴). تأثیر مثبت کود زیستی زمانی مشخص شد که با کودهای آلی مورد استفاده قرار گرفتند. به طوری که در تیمار مصرف کود گاوی و ورمی کمپوست بیشترین عملکرد زیست توده به ترتیب از میکوریزا و نیتروکسین و با افزایش ۴/۶ و ۷/۳ درصدی نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود) حاصل شد (جدول ۴). نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین عملکرد زیست توده از تیمار کود شیمیایی (NPK) و نیتروکسین حاصل شد که از افزایش ۴۵/۶ درصدی نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) برخوردار بود (جدول ۴). در تحقیقی، کاربرد کودهای آلی و شیمیایی نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود) وزن خشک بوته خرفه را افزایش داد، ولی

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب (مربعات میانگین) تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بر عملکرد زیست توده و کارایی مصرف نیتروژن خرفه

Table 3- Combined variance analysis (mean squares) effect of organic, chemical and biofertilizer on biomass yield and nitrogen use efficiency of purslane

منابع تغییرات S. O.V	درجه آزادی d.f	عملکرد زیست توده Biomass yield	نیتروژن زیست توده Biomass nitrogen	محتوای نیتروژن زیست توده Nitrogen content of biomass	کارایی جذب نیتروژن Nitrogen uptake efficiency	کارایی فیزیولوژیک نیتروژن زیست توده Nitrogen physiological efficiency of biomass	کارایی زراعی نیتروژن زیست توده Nitrogen agronomic efficiency of biomass
سال Year (Y)	1	0.30 ^{ns}	0.017 ^{ns}	106.0 ^{ns}	50229 ^{**}	10.18 ^{ns}	17631 ^{**}
تکرار (سال) Rep (Y)	4	9.13	0.25	4263.3	3294	749.53	621
منابع آلی و شیمیایی Inorganic and organic sources (A)	3	10.66 ^{**}	0.15 [*]	7513.8 ^{**}	3573 ^{**}	283.83 ^{ns}	468 [*]
سال × منابع آلی و شیمیایی Y×A	3	2.05 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	427.2 ^{ns}	90 ^{ns}	16.21 ^{ns}	54 ^{ns}
کود زیستی Biofertilizer (B)	3	0.91 ^{ns}	0.120 ^{ns}	652.9 ^{ns}	414 ^{ns}	467.61 [*]	81 ^{ns}
سال × کود زیستی Y×B	3	1.41 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	414.3 ^{ns}	324 ^{ns}	25.01 ^{ns}	108 ^{ns}
منابع آلی و شیمیایی × کود زیستی A×B	9	4.53 [*]	0.459 ^{**}	7408.4 ^{**}	4257 ^{**}	946.36 ^{**}	315 ^{**}
سال × منابع آلی و شیمیایی × کود زیستی Y×A×B	9	4.01 [*]	0.00004 ^{ns}	1049.1 ^{ns}	1062 [*]	10.82 ^{ns}	288 [*]
خطای اصلی E _a	60	1.74	0.048	794.4	450	129.26	108
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		19.3	16.۶	24.3	24.7	18.0	21.0

ns و *، ** به ترتیب معنی دار در سطح ۱، ۵٪ و غیر معنی دار می باشد.

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

جدول ۴- مقایسه میانگین برهمکنش کودهای آلی، شیمیایی و کود زیستی بر عملکرد زیست توده و کارایی مصرف نیتروژن خرفه
Table 4- Comparison of the average interaction of organic, chemical and biofertilizers on biomass yield and nitrogen use efficiency of purslane

Control: شاهد (عدم کاربرد کود)، Nitroxin: نیتروکسین، Mycorrhiza: میکوریزا، Biosulfur: بیوسولفور

منابع کودی نیتروژن × کود زیستی Nitrogen fertilizer sources × Biofertilizer	عملکرد زیست توده Biomass yield (kg. ha ⁻¹)	نیتروژن زیست توده Biomass nitrogen (%)	محتوای نیتروژن زیست توده Nitrogen content of biomass (kg. ha ⁻¹)	کارایی جذب نیتروژن Nitrogen uptake efficiency (%)	کارایی فیزیولوژیک نیتروژن زیست توده Nitrogen physiological efficiency of biomass (kg. kg ⁻¹)	کارایی زراعی نیتروژن زیست توده Nitrogen agronomic efficiency of biomass (kg. kg ⁻¹)
Control	6.03 de	1.19 e	91.47 e-g	66.0 gh	77.95 ab	43.8 de
شاهد (عدم کاربرد کود) Control	Nitroxin 6.42 c-e	1.46 ed	120.09 d-f	94.5 c-e	56.65 e-g	51.3 b-d
	Mycorrhiza 6.90 b-e	1.34 c-e	115.77 d-f	89.1 c-g	60.34 c-f	52.8 b-d
	Biosulfur 5.98 de	1.20 e	91.83 e-g	69.9 f-h	65.17 b-e	45.3 c-e
	Control 7.09 b-e	1.18 ef	108.33 d-f	80.4 d-g	67.76 b-e	52.5 b-d
کود گاوی Cow manure	Nitroxin 5.66 e	0.94 f	68.12 g	46.5 h	84.23 a	38.7 e
	Mycorrhiza 7.42 a-d	1.76 ab	168.25 ab	121.8 ab	44.68 gh	53.4 b-d
	Biosulfur 6.39 c-e	1.32 c-e	108.55 d-f	76.8 d-g	59.36 d-f	45.9 c-e
	Control 6.00 de	1.23 de	95.76 e-g	72.0 e-g	65.73 b-e	45 c-e
کود ورمی کمپوست Vermicompost	Nitroxin 7.63 a-c	1.31 c-e	123.77 c-e	91.5 c-f	61.55 c-f	56.7 a-c
	Mycorrhiza 6.44 c-e	1.13 ef	93.02 e-g	69.6 f-h	72.61 a-c	48 c-e
	Biosulfur 6.18 c-e	1.29 de	102.72 d-f	78.6 d-g	61.31 c-f	47.1 c-e
	Control 7.97 ab	1.56 bc	155.10 bc	109.5 bc	51.30 f-h	56.1 a-d
کود شیمیایی (NPK)	Nitroxin 8.78 a	1.23 de	132.80 cd	100.8 bcd	66.58 b-e	66.6 a
	Mycorrhiza 6.34 c-e	1.09 ef	90.46 fg	65.4 gh	70.68 b-d	45.6 c-e
	Biosulfur 8.18 ab	1.82 a	188.24 a	140.4 a	43.41 h	60.6 ab
LSD 5%	1.52	0.3	32.55	25.8	8.0	7.3

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند ($P \leq 0.05$).

In each column, with at least one similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Multiple Range Test

درصد و محتوای نیتروژن زیست توده

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر منابع کودی نیتروژن بر درصد نیتروژن زیست توده در سطح احتمال پنج درصد و بر محتوای نیتروژن زیست توده و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر درصد و محتوای نیتروژن زیست توده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی نشان داد که در تیمار شاهد (عدم کاربرد کود آلی و شیمیایی) و ورمی کمپوست مصرف کود زیستی تأثیر آماری معنی‌داری بر درصد و محتوای نیتروژن زیست توده نداشت (جدول ۴). در تیمار کود گاوی بیشترین درصد و محتوای نیتروژن زیست توده از مصرف میکوریزا حاصل شد که از افزایش ۴۹/۱ و ۵۵/۳ درصدی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) برخوردار بودند (جدول ۴). در تیمار کود شیمیایی (NPK) نیز بیشترین درصد و محتوای نیتروژن زیست توده از مصرف بیوسولفور با افزایش به ترتیب ۱۶/۶ و ۲۱/۳ درصد و کمترین آن‌ها از مصرف میکوریزا با کاهش به ترتیب ۳۰/۱ و ۴۱/۶ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) حاصل شد (جدول ۴). نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین درصد و محتوای نیتروژن زیست توده از تیمار کود شیمیایی (NPK) و مصرف بیوسولفور با افزایش به ترتیب ۵۲/۹ و ۱۰۵/۷ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) به

دست آمد (جدول ۴). روند افزایش و یا کاهش درصد نیتروژن زیست توده با عملکرد زیست توده مشابهت داشت. در تحقیقی مشخص شد که هر چه عملکرد و زیست توده گیاه افزایش می‌یابد گیاه نیتروژن بیشتری را جذب می‌کند (Yang et al., 2006).

استفاده از کود زیستی میکوریزا به دلیل بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه باعث افزایش جذب بهتر عناصر غذایی از جمله نیتروژن موجود در خاک (Piromyou et al., 2011; Saia et al., 2012) و افزایش درصد نیتروژن و عملکرد زیست توده (جدول ۴) خرفه شد. نتایج پژوهشی حاکی از افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های موجود در کودهای زیستی از جمله ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و میکوریزا در شرایط عدم مصرف کودهای شیمیایی و جذب بیشتر عناصر غذایی توسط سیاهدانه بود (Khorramdel et al., 2010). به نظر می‌رسد در تیمار کود گاوی و مصرف میکوریزا، شرایط جهت فعالیت و گسترش قارچ‌های همزیست با ریشه خرفه فراهم شده و قارچ میکوریزا با ترشح ترکیبات آلی و تبدیل نیتروژن نامحلول خاک به فاز محلول و سپس انتقال آن به گیاه باعث افزایش محتوای نیتروژن خرفه شده باشد. در تیمار کود شیمیایی (NPK) و مصرف بیوسولفور، با توجه به آزادسازی سریع نیتروژن موجود در کودهای شیمیایی و نقش بیوسولفور در کمک به افزایش جذب عناصر غذایی با اعمال میزان مناسبی از گوگرد همراه با بیوسولفور و کاهش اسیدیته خاک

نيتروژن و نيز عناصر كم‌مصرف توسط ريشه سياهدانه نسبت دادند. در همين ارتباط، توگى و همكاران (Togay *et al.*, 2008) نيز اعمال ميزان مناسبى از گوگرد به همراه نيتروژن را عامل مؤثرى در افزايش جذب عناصر پرمصرفى مانند نيتروژن، فسفر، پتاسيم و نيز عناصر كم‌مصرفى مانند آهن، منگنز، روى و مس دانستند. در تحقيقى ديگر، مشخص شد كه كاربرد تيوباسيلوس با اكسايش گوگرد، pH خاك را كاهش داده و سبب بهبود شرايط تغذيه‌اى گياه شد (Rezvani *et al.*, 2014). (Moghaddam and Seyyedi, 2014). تيمار كود شيميايى (NPK) و كاربرد بيواسولفور به دليل افزايش درصد نيتروژن و عملکرد زىست‌توده و افزايش محتوای نيتروژن زىست‌توده (جدول ۴) از بيشترين كارايى جذب نيتروژن نسبت به ساير تيمارهاى مورد مطالعه برخوردار بود.

نتايج مقايسه ميانگين برهمكنش منابع كودى نيتروژن و كود زىستى بر كارايى فيزيولوژيك نيتروژن زىست‌توده نشان داد كه در تيمار عدم كاربرد كود آلى و شيميايى (شاهد) مصرف كودهاى زىستى باعث كاهش كارايى فيزيولوژيك نيتروژن زىست‌توده شد. در تيمار كود گاوى استفاده از نيتروكسين موجب افزايش ۲۴/۳ درصدى كارايى فيزيولوژيك نيتروژن زىست‌توده نسبت به شاهد (عدم كاربرد كود) شد، اين در حالى بود كه در تيمار ورمى كمپوست مصرف كود زىستى تأثير معنى‌دارى بر اين صفت نداشت (جدول ۴). در تيمار كود شيميايى (NPK) مصرف كود زىستى ميكوريزا و نيتروكسين باعث افزايش به‌ترتيب ۳۷/۷ و ۲۹/۷ درصدى كارايى فيزيولوژيك نيتروژن زىست‌توده نسبت به شاهد (عدم مصرف كود) شد، اين در حالى بود كه تيمار كود شيميايى (NPK) و مصرف بيواسولفور كارايى فيزيولوژيك نيتروژن زىست‌توده را ۱۵/۳ درصد نسبت به شاهد كاهش داد (جدول ۴). نتايج اين تحقيق نشان داد كه بيشترين كارايى فيزيولوژيك نيتروژن در تيمار كود گاوى و با مصرف كود زىستى نيتروكسين حاصل شد كه از افزايش ۸ درصدى نسبت به شاهد (عدم مصرف هيچ كودى) برخوردار بود (جدول ۴). با توجه به رابطه عكس بين مقدار نيتروژن جذب شده زىست‌توده با كارايى فيزيولوژيك نيتروژن (Asadi *et al.*, 2014) چنين به نظر مى‌رسد كه دليل افزايش كارايى فيزيولوژيك نيتروژن در تيمار تلفيقى كود گاوى و نيتروكسين به كاهش ميزان نيتروژن در دسترس گياه و كاهش جذب نيتروژن در اين تيمار مربوط باشد.

نتايج مقايسه ميانگين برهمكنش منابع كودى و كود زىستى بر كارايى زراعى نيتروژن زىست‌توده نشان داد كه در تيمار عدم كاربرد كود آلى و شيميايى (شاهد) و تيمار ورمى كمپوست مصرف كود زىستى تأثير معنى‌دارى بر كارايى زراعى نيتروژن زىست‌توده نداشت، اين در حالى بود كه در تيمار كود گاوى و مصرف نيتروكسين كارايى زراعى نيتروژن زىست‌توده ۲۶/۲ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف كود)

(Besharati *et al.*, 2007) درصد نيتروژن و عملکرد زىست‌توده افزايش يافت و در نهايت موجب افزايش محتوای نيتروژن زىست‌توده خرفه شد. در تحقيقى مصرف بيواسولفور همراه با گوگرد موجب افزايش محتوای نيتروژن زىست‌توده سياهدانه شد (Rezvani *et al.*, 2014). علت كاهش درصد و محتوای نيتروژن زىست‌توده رابطه منفى بين كاربرد كودهاى شيميايى و كلونيزاسيون ميكوريزايى مى‌باشد (Safir, 1987; Gryndler *et al.*, 2006).

كارايى نيتروژن زىست‌توده

نتايج تجزيه مركب نشان داد كه اثر سال، منابع كودى نيتروژن و اثر سال، منابع كودى نيتروژن و كود زىستى بر كارايى جذب نيتروژن و كارايى زراعى نيتروژن زىست‌توده معنى‌دار بود (جدول ۳). همچنين اثر كود زىستى بر كارايى فيزيولوژيك نيتروژن زىست‌توده و برهمكنش منابع كودى نيتروژن و كود زىستى بر كارايى جذب، كارايى فيزيولوژيك و كارايى زراعى نيتروژن زىست‌توده معنى‌دار بود (جدول ۳). نتايج مقايسه ميانگين برهمكنش منابع كودى نيتروژن و كود زىستى بر كارايى جذب نيتروژن نشان داد كه در تيمار عدم مصرف كود آلى و شيميايى (شاهد) مصرف نيتروكسين باعث افزايش ۴۳/۱ درصدى كارايى جذب نيتروژن نسبت به شاهد (عدم كاربرد كود) شد (جدول ۴). در تيمار كود گاوى مصرف ميكوريزا كارايى جذب نيتروژن را ۵۱/۵ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف كود) افزايش داد، اين در حالى بود كه در تيمار ورمى كمپوست مصرف كود زىستى تأثير معنى‌دارى بر كارايى جذب نيتروژن نداشت. همچنين در تيمار كود شيميايى (NPK) مصرف كود زىستى بيواسولفور باعث افزايش ۲۸/۲ درصدى و مصرف ميكوريزا باعث كاهش ۴۰/۲ درصدى كارايى جذب نيتروژن نسبت به شاهد (عدم مصرف كود) شد (جدول ۴). نتايج اين تحقيق نشان داد كه بيشترين كارايى جذب نيتروژن در تيمار كود شيميايى (NPK) و با مصرف كود زىستى بيواسولفور حاصل شد كه از افزايش ۲/۱ برابرى نسبت به شاهد (عدم مصرف هيچ كودى) برخوردار بود (جدول ۴). رضوانى مقدم و همكاران (Rezvani Moghaddam *et al.*, 2014) در مطالعه منابع كودى تأمين‌كننده نيتروژن (كود گاوى، ورمى كمپوست و شيميايى) و كودهاى زىستى (نيتروكسين، ميكوريزا و بيواسولفور) بر كارايى جذب نيتروژن در گياه داروبى سياهدانه گزارش كردند كه تيمارهاى كود آلى نسبت به شيميايى برتر بود. همچنين، استفاده از تيمارهاى كود آلى و شيميايى نسبت به شاهد (عدم مصرف كود آلى و شيميايى) باعث افزايش كارايى جذب نيتروژن شد. در مطالعه اين محققان، مشخص شد كه استفاده از كود زىستى بيواسولفور به همراه گوگرد باعث افزايش كارايى جذب نيتروژن شد. اين محققان، دليل اين افزايش را به تأثير مصرف گوگرد در افزايش جذب عناصر پرمصرف مانند

نگهداری رطوبت، افزایش جمعیت میکروارگانیسمهای خاک، آزادسازی تدریجی عناصر غذایی و ایجاد شرایط مناسب جهت توسعه ریشه گیاه باعث بهبود رشد و جذب فسفر در گیاه می‌شوند (Mc Seyyedi et al., 2003). در مطالعه سیدی و همکاران (Seyyedi et al., 2015 a)، استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک (گوگرد، تیوباسیلوس و ورمی‌کمپوست) نسبت به شاهد درصد فسفر زیست‌توده سیاهدانه را افزایش داد. گزارش‌هایی مبنی بر اثر منفی استفاده از کودهای مخلوط بر فعالیت میکوریزا وجود دارد (Gryndler et al., 2006). به نظر می‌رسد استفاده از نظام‌های تغذیه‌ای پر نهاده از طریق مختل کردن رابطه همزیستی و یا فراهم نمودن عناصر غذایی در حد نیاز گیاه کارآمدی کودهای زیستی را کاهش دهد.

در این تحقیق استفاده از نیتروکسین همراه با کود شیمیایی (NPK) به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی و آب از طریق بهبود توسعه ریشه‌ای و توانایی تولید هورمون‌های گیاهی و محلول‌سازی فسفات غیر آلی و معدنی‌سازی فسفات آلی باعث افزایش درصد و محتوای فسفر زیست‌توده شد. با توجه به این‌که محتوای فسفر زیست‌توده نتیجه حاصل ضرب درصد فسفر و عملکرد زیست‌توده گیاه می‌باشد لذا، هر تغییری در این دو عامل بر محتوای فسفر زیست‌توده تأثیر خواهد داشت. عبدالعزیز و همکاران (Abdelaziz et al., 2007) نیز به دنبال تلقیح با تثبیت‌کننده‌های نیتروژن، افزایش درصد برخی از عناصر پرمصرف را ناشی از افزایش سطح جذبی ریشه به‌ازای هر واحد حجم خاک، افزایش جذب آب و فعالیت فوسفات‌تزی بیان کردند که مستقیماً روی فرآیندهای فیزیولوژیکی و مصرف کربوهیدرات‌ها مؤثر است. در تحقیقی نیز مشخص شد در صورتی کاربرد کود زیستی مؤثر خواهد بود که همراه با کود شیمیایی مصرف گردد (Safikhani et al., 2013). این در حالی بود که نتایج از ترک و همکاران (Ozturk et al., 2003) نشان داد که استفاده از کودهای بیولوژیک از کارایی کافی در نظام‌های پر نهاده و رایج برخوردار نیستند.

کارایی فسفر زیست‌توده

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر سال، اثر سال و منابع کودی نیتروژن بر کارایی جذب و کارایی زراعی فسفر زیست‌توده، اثر منابع کودی نیتروژن بر کارایی جذب، کارایی فیزیولوژیک و زراعی فسفر زیست‌توده، اثر کود زیستی بر کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست‌توده و برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر کارایی جذب فسفر و کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست‌توده معنی‌دار بود. (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی نشان داد که بیشترین کارایی جذب فسفر زیست‌توده در تیمار عدم کاربرد کود آلی و شیمیایی (شاهد) و با مصرف نیتروکسین حاصل شد که از افزایش ۲۲/۴ درصدی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) برخوردار بود (جدول ۶).

کاهش یافت (جدول ۴). در تیمار کود شیمیایی (NPK) مصرف نیتروکسین و بیوسولفور کارایی زراعی نیتروژن زیست‌توده را به‌ترتیب ۱۸/۷ و ۸ درصد نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود) افزایش داد، این در حالی بود که در تیمار کود شیمیایی (NPK) و میکوریزا کارایی زراعی نیتروژن زیست‌توده ۱۸/۷ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) کاهش یافت (جدول ۴). نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین کارایی زراعی نیتروژن زیست‌توده در تیمار کود شیمیایی (NPK) و با مصرف نیتروکسین حاصل شد که از افزایش ۵۲ درصدی نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) برخوردار بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد دلیل افزایش کارایی زراعی نیتروژن زیست‌توده، با توجه به ثابت بودن میزان ذخیره نیتروژن خاک در این تیمار، افزایش عملکرد زیست‌توده باشد.

درصد و محتوای فسفر زیست‌توده

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر منابع کودی نیتروژن و برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد بر درصد و محتوای فسفر زیست‌توده معنی‌دار بود. همچنین اثر کود زیستی بر درصد فسفر زیست‌توده در سطح احتمال پنج درصد و برهمکنش سال، منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر محتوای فسفر زیست‌توده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی نشان داد که در تیمار عدم کاربرد کود آلی و شیمیایی (شاهد) مصرف کود زیستی تأثیر معنی‌داری بر درصد و محتوای فسفر زیست‌توده نداشت (جدول ۶). در تیمار کودهای آلی استفاده از کود زیستی مورد مطالعه تأثیر مثبت و معنی‌داری بر این صفات داشت، به‌طوری که در تیمار کود گاوی بیشترین درصد و محتوای فسفر زیست‌توده از مصرف میکوریزا حاصل شد که از افزایش ۴۸/۲ و ۵۵/۶ درصدی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) برخوردار بودند (جدول ۶). همچنین در تیمار ورمی‌کمپوست بیشترین درصد و محتوای فسفر زیست‌توده از بیوسولفور به‌دست آمد که از افزایش ۴۲/۸ و ۴۴ درصدی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) برخوردار بودند (جدول ۶). در تیمار کود شیمیایی (NPK) بیشترین درصد و محتوای فسفر زیست‌توده از مصرف نیتروکسین به‌دست آمد که از افزایش ۶/۸ و ۱۳/۹ درصدی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) برخوردار بودند. همچنین در تیمار کود شیمیایی (NPK) مصرف میکوریزا موجب کاهش ۱۹/۴ درصدی محتوای فسفر زیست‌توده نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) شد (جدول ۶). نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین درصد و محتوای فسفر زیست‌توده از تیمار کود شیمیایی (NPK) و با مصرف نیتروکسین حاصل شد که از افزایش ۲ و ۲/۸ برابری نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) برخوردار بودند (جدول ۶). استفاده از کودهای آلی همراه با کودهای زیستی از طریق افزایش ظرفیت

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب (مربعات میانگین) تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بر کارایی مصرف فسفر خرفه

Table 5- Combined variance analysis (mean squares) effect of organic, inorganic and biofertilizer on phosphorus use efficiency of purslane

منابع تغییرات S. O.V	درجه آزادی df	فسفر زیست توده Biomass phosphorus	محتوای فسفر زیست توده Phosphorus content of biomass	کارایی جذب فسفر Phosphorus uptake efficiency	کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست توده Phosphorus physiological efficiency of biomass	کارایی زراعی فسفر زیست توده Phosphorus agronomic efficiency of biomass
سال Year (Y)	1	0.0009 ^{ns}	25.29 ^{ns}	5795.54 ^{**}	249 ^{ns}	70846 ^{**}
تکرار (سال) Rep (Y)	4	0.0009	141.76	266.26	375	3760
منابع آلی و شیمیایی Inorganic and organic sources (A)	3	0.264 ^{**}	3234.79 ^{**}	5483.53 ^{**}	224392 ^{**}	141405 ^{**}
سال × منابع آلی و شیمیایی Y×A	3	0.0002 ^{ns}	28.30 ^{ns}	1379.17 ^{**}	235 ^{ns}	25730 ^{**}
کود زیستی Biofertilizer (B)	3	0.0039 ^{**}	37.90 ^{ns}	119.52 ^{ns}	5088 ^{**}	892 ^{ns}
سال × کود زیستی Y×B	3	0.0001 ^{ns}	32.27 ^{ns}	103.22 ^{ns}	749 ^{ns}	1263 ^{ns}
منابع آلی و شیمیایی × کود زیستی A×B	9	0.0117 ^{**}	208.56 ^{**}	212.08 ^{**}	13410 ^{**}	883 ^{ns}
سال × منابع آلی و شیمیایی × کود زیستی Y×A×B	9	0.0001 ^{ns}	72.21 ^{**}	128.75 ^{ns}	373 ^{ns}	1573 ^{ns}
خطای اصلی E _a	60	0.00089	22.22	68.96	1138	825
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		9.55	17.13	26.98	11.94	30.37

^{**}، * و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

^{**}، * and ^{ns} are significant at 1 and 5% probability levels and non-significant, respectively

جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش کودهای آلی، شیمیایی و کود زیستی بر کارایی مصرف فسفر خرفه

Table 6- Comparison of the average interaction of organic, chemical and biofertilizers on phosphorus use efficiency of purslane

Control: شاهد (عدم کاربرد کود)، Nitroxin: نیتروکسین، Mycorrhiza: میکوریزا، Biosulfur: بیوسولفور

منابع کودی نیتروژن × کود زیستی Nitrogen fertilizer sources × Biofertilizer		فسفر زیست توده Biomass phosphorus (%)	محتوای فسفر زیست توده Phosphorus content of biomass (kg. ha ⁻¹)	کارایی جذب فسفر Phosphorus uptake efficiency (%)	کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست توده Phosphorus physiological efficiency of biomass (kg. kg ⁻¹)
شاهد (عدم کاربرد کود) Control	Control	0.22 f	17.33 h	52.30 b	353.88 bc
	Nitroxin	0.23 f	19.11 f-h	64.04 a	333.00 bc
	Mycorrhiza	0.17 h	15.40 h	50.58 b	459.73 a
	Biosulfur	0.18 gh	14.03 h	45.33 b	429.82 a
کود گاوی Cow manure	Control	0.29 e	26.71 de	18.09 ef	262.75 d
	Nitroxin	0.33 d	24.57 e	15.26 f	231.68 de
	Mycorrhiza	0.43 ab	41.58 b	27.64 c-e	178.98 f
	Biosulfur	0.37 c	30.80 cd	19.89 ef	207.32 ef
کود ورمی کمپوست Vermicompost	Control	0.21 fg	16.69 h	22.18 d-f	359.54 bc
	Nitroxin	0.24 f	23.01 e-g	30.13 cd	330.95 c
	Mycorrhiza	0.21 fg	17.61 gh	23.27 c-f	371.25 b
	Biosulfur	0.30 de	24.04 ef	32.22 c	257.46 d
کود شیمیایی (NPK)	Control	0.43 ab	42.87 b	22.94 c-f	185.10 f
	Nitroxin	0.46 a	48.84 a	26.59 c-e	178.90 f
	Mycorrhiza	0.41 b	34.55 c	18.59 ef	184.98 f
	Biosulfur	0.41 b	43.03 b	23.32 c-f	191.71 f
LSD 5%		0.034	5.44	9.59	23.9

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند ($P \leq 0.05$).

In each column, with at least one similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Multiple Range Test

شرایط عدم کاربرد کودهای آلی و شیمیایی (شاهد) استفاده از کودهای زیستی میکوریزا و بیوسولفور باعث افزایش به ترتیب ۲۹/۹ و ۲۱/۴ درصدی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) شد. همچنین، تفاوت آماری معنی داری بین تیمار نیتروکسین و شاهد در ارتباط با این صفت مشاهده نشد. استفاده از کودهای آلی و زیستی باعث کاهش کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست توده شد. در این پژوهش مشخص شد که در تیمار کود شیمیایی (NPK) استفاده از کودهای زیستی تأثیری بر کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست توده نداشت (جدول ۶). در مطالعه سیدی و همکاران (Seyyedi et al., 2015 b) نیز به کاهش کارایی فیزیولوژیک فسفر سیاهدانه در اثر استفاده از تیمارهای کود آلی، شیمیایی و زیستی اشاره شده است. استفاده از کودهای آلی مانند کود گاوی و ورمی کمپوست می تواند با بهبود خصوصیات فیزیکی خاک نقش مؤثری در افزایش قابلیت جذب فسفر و افزایش محتوای فسفر زیست توده ایفا کند. از طرف دیگر، کود زیستی مورد مطالعه نیز از طریق بهبود توسعه سیستم ریشه ای (Shabahang et al., 2014)، فراهمی رطوبت (Song, 2005) و دسترسی به عناصر غذایی قابل دسترس به ویژه فسفر (Saia et al., 2012) و تولید انواع هورمون های محرک (Hajibolandi et al., 2005) رشد موجب افزایش قابلیت جذب فسفر و افزایش محتوای فسفر زیست توده شدند. با توجه به این که کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست توده به عواملی مانند عملکرد زیست توده و محتوای فسفر زیست توده بستگی دارد. لذا افزایش یا کاهش هر یک از موارد مذکور موجب تغییر این کارایی خواهد شد. بنابراین، به نظر می رسد در تیمارهای کود آلی مصرف کود زیستی از طریق افزایش محتوای فسفر زیست توده موجب شد تا کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست توده کاهش یابد.

در تیمار کودهای آلی استفاده از کود زیستی مورد مطالعه تأثیر مثبت و معنی داری بر کارایی جذب فسفر زیست توده داشت، به طوری که بیشترین کارایی جذب فسفر زیست توده در تیمار کود گاوی از مصرف میکوریزا حاصل شد که از افزایش ۵۲/۸ درصدی نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود) برخوردار بود. در تیمار ورمی کمپوست مصرف بیوسولفور، نیتروکسین و میکوریزا موجب شد کارایی جذب فسفر زیست توده به ترتیب ۴۵/۲، ۳۵/۸ و ۴/۹ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) افزایش یابد. در تیمار کود شیمیایی (NPK) مصرف نیتروکسین کارایی جذب فسفر زیست توده را ۱۵/۹ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) افزایش داد (جدول ۶). در این تحقیق استفاده از نیتروکسین همراه با کود شیمیایی (NPK) به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی و آب از طریق بهبود توسعه ریشه ای و توانایی تولید هورمون های گیاهی و محلول سازی فسفات غیر آلی و معدنی سازی فسفات آلی (Piromyou et al., 2011; Saia et al., 2012) باعث افزایش درصد و محتوای فسفر زیست توده (جدول ۶) و در نهایت کارایی جذب فسفر زیست توده شد. نتایج پژوهشی حاکی از افزایش فعالیت میکروارگانیسم های موجود در کودهای زیستی از جمله ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و میکوریزا در شرایط عدم مصرف کودهای شیمیایی و جذب بیشتر عناصر غذایی توسط سیاهدانه بود (Khorramdel et al., 2010). به نظر می رسد در تیمار کود گاوی با میکوریزا شرایط جهت فعالیت و گسترش قارچ های همزیست با ریشه خرفه فراهم شده و قارچ میکوریزا با ترشح ترکیبات آلی و تبدیل فسفر نامحلول خاک به فاز محلول و سپس انتقال آن به گیاه باعث افزایش محتوای فسفر زیست توده خرفه (جدول ۶) و در نهایت افزایش کارایی فسفر زیست توده شده باشد.

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست توده نشان داد که در

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر کودهای آلی و شیمیایی بر کارایی مصرف فسفر خرفه

Table 7- Comparison of the average effect of organic and chemical fertilizers phosphorus use efficiency of purslane

منابع تأمین نیتروژن Nitrogen fertilizer sources	کارایی زراعی فسفر زیست توده Phosphorus physiological efficiency of biomass (kg. kg ⁻¹)
شاهد (عدم کاربرد کود) Control	394.11 a
کود گاوی Cow manure	220.18 c
کود ورمی کمپوست Vermicompost	329.80 b
کود شیمیایی NPK	185.17 d
LSD 5%	8.6

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند ($P \leq 0.05$).

In each column, with at least one similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Multiple Range Test

نتيجه‌گيرى

نتايج دو ساله اين تحقيق نشان داد كه مصرف كود زىستى به‌تئهاى تاثيرى بر عملكرد زىست‌توده و كارايى زراعى نيتروژن و فسفر زىست‌توده خرفه نداشت. در تيمار كود گاوى و ورمى‌كمپوست استفاده از كود زىستى مورد مطالعه در اغلب موارد موجب اثرات هم‌افزاى شد، اين در حالى بود كه در تيمار كود شيميايى NPK مصرف نيتروكسين موجب افزايش صفات مورد مطالعه و استفاده از ميكوريزا موجب كاهش اين صفات شد. بر اساس نتايج اين آزمون، جهت دستيابى به حداكثر عملكرد زىست‌توده و با در نظر گرفتن حداكثر كارايى مصرف فسفر و نيتروژن زىست‌توده استفاده از تيمار كود شيميايى (NPK) و نيتروكسين در منطقه بيرجند توصيه مى‌شود.

سپاسگزارى

از زحمات جناب آقاى دكتور مهدى نصيرى محلاتى استاد گروه اگروتكولوژى دانشكده كشاورزى دانشگاه فردوسى مشهد به جهت راهنمايى‌هاى ارزنده ايشان در تجزيه آمارى اين پژوهش تشكر و قدردانى مى‌شود.

نتايج مقايسه ميانگين اثر منابع كودى نيتروژن نشان داد كه استفاده از كودهاى آلى و شيميايى نسبت به شاهد كارايى زراعى فسفر زىست‌توده را كاهش داد. به‌طورى كه استفاده از كودهاى گاوى، ورمى‌كمپوست و كود شيميايى (NPK) به‌ترتيب باعث كاهش ۴۴/۱، ۱۶/۳ و ۵۳ درصدى كارايى زراعى فسفر زىست‌توده نسبت به شاهد شد (جدول ۷). در مطالعه سيدى و همكاران (Seyyedi et al., 2015b) نيز استفاده از كود شيميايى گوگرد و كود ورمى‌كمپوست كارايى زراعى فسفر را نسبت به شاهد در گياه دارويى سياه‌دانه كاهش داد.

با توجه به قانون بازده نزولى در مورد مصرف عناصر غذايى مبنى بر اين كه واحدهاى اوليه كود مصرفى تاثير بيشترى روى عملكرد دارند، هر قدر مصرف فسفر افزايش يابد كارايى استفاده از آن كاهش مى‌يابد (Ameri et al., 2009). در اين پژوهش نيز بيشترين ميزان فسفر خاك متعلق به تيمارهاى كود شيميايى و كود گاوى بود. از طرفى ديگر كارايى زراعى، حاصل‌ضرب كارايى جذب و مصرف فسفر است. لذا تيمار شاهد به‌دليل كارايى جذب فسفر و كارايى فيزيولوژيك فسفر زىست‌توده بيشتر، از كارايى زراعى بالاترى نسبت به سايرين برخوردار بود.

References

1. Abdelaziz, M., Pokluda, R., and Abdelwahab, M. 2007. Influence of compost, microorganisms and NPK fertilizer upon growth, chemical composition and essential oil production of *Rosmarinus officinalis* L. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 35: 86-90.
2. Ameri, A., Nassiri Mahalati, M., and Rezvani Moghadam, P. 2009. 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): 315-326. (in Persian with English abstract).
3. Asadi, G. A., Momen, A., Nurzadeh Namaghi, M., and Khorramdel, S. 2014. Effects of organic and chemical fertilizer rates on nitrogen efficiency indices of isabgol (*Plantago ovata* Forsk.). *Agroecology* 5 (4): 373-382. (in Persian with English abstract).
4. Ashraf, M., Ali, Q., and Rha, E. S. 2005. The effect of applied nitrogen on the growth and nutrient concentration of Kalonji (*Nigella sativa*). *Australian Journal of Experimental Agriculture* 45 (4): 459-463.
5. Aynanlvfr, M., Omidi, H., and Pazky, A. R. 2014. Morphological changes, agricultural and oil content Purslane (*Portulaca oleracea* L.) Effect of water and fertilizer, bio/chemical nitrogen. *Herb Quarterly* 12 (4): 170-184. (in Persian with English abstract).
6. Berenguer, P., Santiveri, F., Boixadera, J., and Lloveras, J. 2009. Nitrogen fertilization of irrigated maize under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* 30: 163-171.
7. Besharati, H., Atashnama, K., and Hatami, S. 2007. Biosuper as a phosphate fertilizer in a calcareous soil with low available phosphorus. *African Journal of Biotechnology* 6: 1325-1329.
8. Cassman, K. G., Dobermann, A. R., and Walters, D. T. 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *Ambio* 31 (2): 132-140. Available at: <http://digitalcommons.Unl.edu/agronomyfacpub/356>
9. Den Hollander, N. G., Bastiaans, L., and Kropff, M. J. 2007. Clover as a cover crop for weed suppression in an intercropping design. II. Competitive ability of several clover species. *European Journal of Agronomy* 26: 104-112.
10. Fitter, A. 2000. Characteristics and Functions of Root Systems. Marcel Dekker, New York.
11. Gryndler, M., Larsen, J., Hrselova, H., Rezacova, V., Gryndlerova, H., and Kubat, J. 2006. Organic and mineral fertilization, respectively, increase and decrease the development of external mycelium of *arbuscular mycorrhizal* fungi in a long-term field experiment. *Mycorrhiza* 16 (3): 159-166.
12. Hajibolandi, R., Barzegar, R., and Asgharzadeh, N. A. 2005. Studying the effect of mycorrhiza on root morphology and rhizosphere's pH in rice with rizobox system. The Proceeding of 9th Iranian Soil Science Congress, Tehran, 28- 31 August.

13. Inanloofar, M., Omid, H., and Pazoki, A. R. 2013. Morphological, agronomical changes and oil content in purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress and biological /chemical fertilizer of nitrogen. Journal of Medicinal Plant 48: 170-184. (in Persian with English abstract).
14. Javadi, H., Rezvani Moghadam, P., Seghatoleslami, M. J., and Mosavi, Gh. R. 2017. Effect of sowing date and plant density on yield and yield components of common purslane (*Portulaca Oleracea* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 15 (1): 113-123. (in Persian with English abstract).
15. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2010. Effect of biofertilizers on the yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 8 (5): 768-776. (in Persian with English abstract).
16. Kolb, W., and Martin, P. 1985. Response of plant roots to inoculation with *Azospirillum brasilense* and to application of indole acetic acid. Springer, Berlin Heidelberg, New York.
17. Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., Moradi, R., and Alizadeh, Y. 2015. Evaluation of yield and nitrogen use efficiency of maize and cotton intercropping under different nitrogen levels. Iranian Journal of Field Crops Research 13 (1): 1-13. (in Persian with English abstract).
18. Mc Ginnis, M., Cooke, A., Bilderback, T., and Lorscheider, M. 2003. Organic fertilizers for basil treatment production. Acta Horticulturea 491: 213-218.
19. Morphy, J., and Riley, J. P. 1962. Phosphorus analysis procedure. In: Methods of soil analysis: part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page, A. L. (Ed). 1982. Second Edition. Madison, Wisconsin USA. pp. 413-427.
20. Ogg, C. L. 1960. Determination of nitrogen by the micro-kjeldahl method. Journal of the Association of Official Analytical Chemists 43: 689-693.
21. Ozturk, A., Caglar, O., and Sahin, F. 2003. Yield response of wheat and barley to inoculation of plant growth promoting rhizobacteria at various levels of nitrogen fertilization. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 166 (2): 262-266.
22. Piromyong, P., Buranabanyat, B., Tantasawat, P., Tittabutr, P., Boonkerd, N., and Teaumroong, N. 2011. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) inoculation on microbial community structure in rhizosphere of forage corn cultivated in Thailand. European Journal of Soil Biology 47: 44-54.
23. Rahimi, Z., Kafi, M., Nezami, A., and Khozaie, H. R. 2011. Effect of salinity and silicon on some morphophysiological characters of purslane (*Portulaca oleracea* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27 (3): 359- 374. (in Persian with English abstract).
24. Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., Heidari, Gh. R., Eivazi, A. R., and Hoseini, S. M. T. 2013. Effect of biofertilizers on macro and micro nutrients uptake and essential oil content in *Dracocephalum moldavica* L. Iranian Journal of Field Crops Research 11 (1): 179-190. (in Persian with English abstract).
25. Rezvani Moghaddam, P., and Seyyedi, S. M. 2014. The Effects of organic and biological fertilizers on phosphorus and potassium uptake by black seed (*Nigella sativa* L.). Journal of Horticultural Science 28 (1): 43-53. (in Persian with English abstract).
26. Rezvani Moghaddam, P., Seyyedi, S. M., and Azad, M. 2014. Effects of organic, chemical and biological sources of nitrogen on nitrogen use efficiency in black seed (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 30 (2): 260-274. (in Persian with English abstract).
27. Safikhani, S., Chaichi, M., and Porabaei, A. 2013. The Effects of different N fertilizers (chemical, biological and integrated) on forage quality of berseem clover in an intercropping system with basil. Iranian Journal of Field Crop Science 44 (2): 237-248. (In Persian with English abstract).
28. Safir, G. R. (editor): 1987. Ecophysiology of va mycorrhizal plants. CRC Press. Boca Raton, FL, U.S.A.
29. Saia, S., Ruisi, P., Garcia-Garrido, J. M., Benitez, E., Amato, G., and Giambalvo, D. 2012. Can arbuscular mycorrhizal fungi enhance plant nitrogen capture from organic matter added to soil? 17th Nitrogen Workshop. 26-29 Jun, Wexford, Ireland.
30. Seyyedi, S., Khajeh-Hosseini, M., Rezvani Moghaddam, P., and Shahandeh, H. 2015a. Relation between the increasing soluble phosphorus and nitrogen uptake and its effects on phosphorus harvest index of black seed. Iranian Journal of Field Crop Science 46 (1): 25-36. (in Persian with English abstract).
31. Seyyedi, S., Rezvani Moghadam, P., and Khaje Hosseini, M. 2015b. Effects of sulfur, vermicompost + Thiobacillus bacteria on some chemical properties of calcareous soil and phosphorus use efficiency of black seed. Journal of Plant Ecophysiology 7 (22): 205-220. (in Persian with English abstract).
32. Shabahang, J., Khorramdel, S., Siahmargue, A., Gheshm, R., and Jafari, L. 2014. Evaluation of integrated management of organic manure application and mycorrhiza inoculation on growth criteria, qualitative and essential oil yield of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) under Mashhad climatic conditions. Agroecology 6 (2): 353-363. (in Persian with English abstract).
33. Soltaninejad, F., Fallah, S., and Heidari, M. 2013. Effect of different sources and rates of nitrogen fertilizer on the growth and biomass production of purslane (*Portulaca oleracea*). Journal of Crop Production 6 (3): 125-143. (in Persian with English abstract).

34. Talgre, L., Luringson, E., Roostalu, H., and Astover, A. 2009. The effects of green manures on yields and yield quality of spring wheat. *Agronomy Research* 7(1): 125-132.
35. Togay, N., Togay, Y., Cimrin, K. M., and Turan, M. 2008. Effects of rhizobium inoculation, sulfur and phosphorus applications on yield, yield components and nutrient uptakes in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *African Journal of Biotechnology* 7 (6): 776-782.
36. Yang, S. M., Malhi, S. S., Song, J. R., Xiong, Y. C., Yue, W. Y., Lu, L. L., Wang, J. G., and Guo, T. W. 2006. Crop yield, nitrogen uptake and nitrate-nitrogen accumulation in soil as affected by 23 annual applications of fertilizer and manure in the rainfed region of Northwestern China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76: 81-94.
37. Yusefian Ghahfarokhi, H., Abdali Mashhadi, A., Bakhshandeh, A., Lotfi, A., and Abadi, J. 2015. Evaluation of effect attract moisture substances and organic fertilizers on quality and quantity yield of Purslane (*Portulaca oleracea* L.) in Ahwaz region. *Journal of Plant Process and Function* 4 (13): 87-96. (in Persian with English abstract).



Evaluation of Biomass Yield and Nitrogen and Phosphorus Efficiency Indicators of *Portulaca* (*Portulaca oleracea* L.) Affected by Organic, Chemical and Biological Fertilizers

H. Javadi¹, P. Rezvani Moghaddam^{2*}, M. H. Rashed Mohasel³, M. J. Seghatoleslami⁴

Received: 26-02-2020

Accepted: 12-10-2020

Introduction

Purslane (*Portulaca oleracea* L.) is an annual and C4 plant belonging to the family portulacaceae. The plant is drought- and salt-tolerant which contains high amounts of beneficial omega-3 fatty acids and antioxidant vitamins. Nitrogen is the key element in soil fertility and crop production. Attention to the soil quality and health has increased in recent years, especially for sustainable production of medicinal crops. So that, for production of healthy food in industrialized countries, using natural and on-farm inputs has been considered. One of the practical ways to achieve this goal is organic and biofertilizers. Given the importance of purslane as a medicinal plant and due to the fact that there is not detailed information about the nitrogen requirement for this plant, this study was conducted to evaluate the effect of organic, biological and chemical fertilizers on biomass yield, N and P use efficiency of the purslane in Birjand, Iran.

Materials and Methods

This research was carried out during two growing seasons from 2014 to 2016 at the research farm of Birjand University. The experiment was conducted as factorial based on a randomized complete block design with three replications. The treatments were a combination of four sources of nitrogen supply, including cow manure, vermicompost, fertilizer (NPK) and control (without any fertilizer), as well as four types of biofertilizers including nitroxin (*Azotobacter* and *Azospirillum*), Mycorrhiza (*Glomus intraradices*), Biosulfur (*Thiobacillus* with sulfur) and control (without any fertilizer). The studied traits included stem biomass yield, nitrogen and phosphorus percentage, nitrogen and phosphorus content, nitrogen and phosphorus uptake efficiency, nitrogen and phosphorus physiological efficiency and nitrogen and phosphorus agronomic efficiency based on biomass. Statistical analysis was performed using Minitab 17 software. To compare the averages, LSD test was used at the 5% probability level.

Results and Discussion

The results of the experiment showed that in chemical fertilizer (NPK) treatment, nitroxin consumption increased biomass yield (45.6%), nitrogen agronomic efficiency of biomass (52%), biomass phosphorus (2 times), the content of biomass phosphorus (2.8 times). On the other hand, biosulfur consumption increased biomass nitrogen (52.9%), biomass nitrogen content (2 times) and nitrogen uptake efficiency (2.1 times) compared to the control treatment. In the treatment of cow manure, the use of nitroxin increased the physiological efficiency of biomass (8%), however in the control treatment, the use of nitroxin increased the efficiency of phosphorus uptake (22.4%). Also in control treatment, the use of mycorrhiza and biosulfur (29.9% and 21.4%, respectively) increased the physiological efficiency of biomass phosphorus compared to the control treatment. On the other hand, consumption of nitrogen fertilizer sources reduced phosphorus agronomic efficiency of biomass compared to the control.

Conclusions

Based on the results of this experiment, in Birjand region, the use of chemical fertilizer (NPK) and nitroxin are recommended to achieve maximum biomass yield and phosphorus and nitrogen use efficiency.

Keywords: Biosulfur, Cow manure, Mycorrhiza, Nitroxin, Vermicompost

1- PhD Graduated, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad

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

3- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad

4- Associate Professor, Department of Agriculture, Birjand branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

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



مقاله علمی-پژوهشی

بررسی اثرات تاریخ کاشت بر شاخص‌های زراعی - اقلیمی در مراحل مختلف فنولوژی ارقام

سیب‌زمینی

عبدالستار دارابی^{۱*}، شهرام امیدواری^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۵

چکیده

شاخص‌های اقلیمی که پایه حرارتی دارند همانند درجه روز رشد و واحد هلیوترمال ابزارهای مفیدی برای پیش‌بینی رشد و عملکرد محصولات می‌باشند. به‌منظور بررسی اثرات تاریخ کاشت بر شاخص‌های زراعی - اقلیمی در مراحل مختلف فنولوژی در کشت زمستانه سیب‌زمینی در خوزستان این تحقیق به‌صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۹۶-۱۳۹۹) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بهبهان اجرا گردید. عامل اصلی شامل چهار تاریخ کاشت از اول دی‌ماه تا اول بهمن‌ماه به فاصله ۱۰ روز و عامل فرعی سه رقم کوزیما، ساوالان و المر بود. برای تأمین رشد جوانه‌های غده‌ها بیشترین درجه روز رشد و واحد هلیوترمال به تاریخ کاشت اول دی‌ماه مربوط بود و با به تعویق افتادن تاریخ کاشت، این شاخص‌ها کاهش یافت. مدت‌زمان مرحله رشد سبزینه‌ای و غده‌زایی در تاریخ کاشت‌های مورد مطالعه ۱۵ روز بود. در مرحله حجیم شدن غده بیشترین درجه روز رشد و واحد هلیوترمال به تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه مربوط بود. در این پژوهش مرحله بلوغ مشاهده نشد. اثر تاریخ کاشت بر عملکرد غده و کارایی تأثیر واحد هلیوترمال معنی‌دار نبود. ولی اثر تاریخ کاشت بر کارایی تأثیر دما در سطح ۵٪ معنی‌دار شد. حداکثر تأثیر تاریخ کاشت بر کارایی دما به اول بهمن‌ماه تعلق داشت. بیشترین عملکرد (۱۸/۳۱ تن در هکتار)، کارایی تأثیر دما (۱۲/۰۶ کیلوگرم در هکتار در درجه روز رشد) و کارایی تأثیر واحد هلیوترمال (۱/۷۱ کیلوگرم در هکتار در ساعت درجه روز رشد) به رقم ساوالان اختصاص یافت. بر اساس نتایج این پژوهش برای کشت زمستانه سیب‌زمینی در خوزستان کاشت رقم ساوالان در اوایل بهمن‌ماه توصیه می‌شود. تاریخ کاشت مناسب برای ارقام کوزیما و المر در طول دی‌ماه توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: حجیم شدن غده، درجه روز رشد، رشد جوانه، عملکرد، واحد هلیوترمال

مقدمه

سیب‌زمینی از نظر کارایی مصرف آب، عملکرد ماده خشک قابل‌مصرف، مقدار پروتئین و مواد معدنی در واحد سطح بر غلات، کلزا (*Brassica napus* L.) و کنجد (*Sesamum indica* L.) برتری دارد (Brich et al., 2012).

شاخص‌های اقلیمی که پایه حرارتی دارند همانند درجه روز رشد (Growth degree days) و واحد هلیوترمال (Helio thermal units) ابزارهای مفیدی برای پیش‌بینی رشد و عملکرد محصولات می‌باشند (Jones et al., 2003). اساس درجه روز رشد بر این مبنا استوار است که زمان واقعی هر مرحله فنولوژیکی به‌طور خطی با محدوده درجه حرارت بین درجه حرارت پایه و درجه حرارت بهینه مرتبط می‌باشد. در همین راستا چندین پژوهش تأثیر دما را بر فنولوژی و عملکرد محصولات زراعی از قبیل ذرت (*Zea mays* L.) (Grijesh et al., 2011)، گندم (*Triticum sativum* L.) (Amrawat et al., 2013)، برنج (*Oryza sativa* L.) (Mote et al., 2015) و سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) (Darabi, 2017; Maji et al., 2014) از طریق شاخص‌های حرارتی گزارش نموده‌اند. کارایی مصرف دما و نور در تجمع ماده خشک و عملکرد

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)، به‌دلیل داشتن هیدروکربن‌های قابل‌هضم، پروتئین‌های حاوی لیزین که یک اسیدآمین ضروری مهم بوده و غالباً در محصولاتی مانند غلات و سبزیجات وجود ندارد ارزش غذایی فراوانی دارد (Waglay et al., 2014). این محصول به‌دلیل داشتن متابولیت‌های اولیه و ثانویه نقش مهمی در فرآیندهای متابولیکی انسان دارد (Friedman, 1997). اهمیت غذایی سیب‌زمینی تنها به دلیل انرژی‌زایی آن نبوده بلکه این محصول حاوی مقادیر قابل‌توجهی ویتامین‌های B₆ و C، فیبر و مواد معدنی همانند آهن، منیزیم، روی و مس می‌باشد (Kolassa, 1993).

۱- دانشیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

۲- استادیار، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(Email: darabi6872@yahoo.com)

(*)- نویسنده مسئول:

با عنایت به لزوم مطالعات همه‌جانبه در مورد این محصول و با توجه به این که تاکنون گزارش‌های محدودی در ارتباط با مطالعه شاخص‌های زراعی-اقلیمی در مراحل فنولوژیکی ارقام سیب‌زمینی در مناطق نیمه‌گرمسیری منتشر شده است. این پژوهش با هدف بررسی اثرات تاریخ کاشت بر شاخص‌های زراعی-اقلیمی در مراحل مختلف فنولوژی سه رقم سیب‌زمینی کوزیما، ساوالان و المرا اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۹۶-۱۳۹۴) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بهبهان با 36° : 30° عرض شمالی و 50° : 14° طول شرقی اجرا گردید. محل آزمایش دارای اقلیم گرم و نیمه‌خشک با ارتفاع ۳۲۰ متر از سطح دریا می‌باشد. بعضی از عوامل هواشناسی در دوره رشد و نمو محصول در دو سال آزمایش در جداول ۱ و ۲ ارائه شده‌اند. عامل اصلی شامل چهار تاریخ کاشت از اول دی‌ماه تا اول بهمن‌ماه به فاصله ۱۰ روز و عامل فرعی سه رقم کوزیما (دیررس)، ساوالان (نیمه‌زودرس) و المرا (نیمه‌زودرس) بود. با توجه به فواصل زمانی تاریخ‌های کاشت و پرهیز از اثرات احتمالی آن بر سن فیزیولوژیک غده‌ها، غده‌های موردنیاز برای هر تاریخ کاشت حدود ۳۷ روز قبل از کاشت از سردخانه (دمای ۴-۲ درجه سانتی‌گراد) خارج شدند. بعد از خروج از سردخانه، غده‌ها ابتدا در جعبه در تاریکی در دمای ۲۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته تا نیش بزنند. سپس غده‌ها به مدت حدود یک ماه در معرض نور کافی و دمای ۲۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند، به‌طوری که در زمان کاشت، غده‌ها از نظر سن فیزیولوژیک در شرایط سنی جوانه‌زنی معمولی، دارای ۵-۳ جوانه سبز $1/5$ -۱ سانتی‌متری بودند. مصرف کود بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۳) و توصیه موسسه تحقیقات خاک و آب صورت گرفت و میزان آن عبارت بود از ۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل $[Ca(PO_4H_2)_2]$ و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم (K_2SO_4) در هکتار که در هنگام تهیه زمین به‌طور یکنواخت پخش و با خاک مخلوط شدند. کود نیتروژن لازم نیز به میزان ۳۵۰ کیلوگرم اوره $[CO(NH_2)_2]$ در هکتار، نصف آن قبل از کاشت و بقیه در هنگام خاک‌دهی پای بوته در اختیار گیاهان قرار گرفت (Malakouti and Tehrani, 1999). هر کرت آزمایشی به مساحت ۱۵ متر مربع شامل چهار خط کاشت به طول پنج متر بود. فاصله خطوط کاشت ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خطوط ۲۵ سانتی‌متر منظور گردید. هنگامی که قطر قسمت متورم انتهایی استولون دو برابر قطر استولون گردید به‌عنوان زمان تشکیل غده تلقی شد (Ewing and Struik, 1992).

کاربرد عملی دارند. کارایی تبدیل گرما و نور به ماده خشک به عوامل ژنتیکی، تاریخ کاشت و نوع محصول بستگی دارد (Rao et al., 1999). بنابراین آگاهی از شاخص‌های حرارتی همانند واحد تجمع حرارتی (Heat summation unit) که در بیشتر منابع از آن به‌عنوان درجه روز رشد یاد شده است و همچنین سایر مشتقات ریاضی آن مانند واحد هلیوترمال و کارایی تاثیر دما و نور می‌توانند اصول پایه‌ای برای تعیین مراحل فنولوژی و تاریخ کاشت مناسب فراهم آورد. همه مراحل نمو را می‌توان بر اساس درجه روز رشد دقیق‌تر از تقویم زمانی پیش‌بینی نمود (Sreenivas et al., 2010). کارایی تاثیر دما (Heat use efficiency) نشان‌دهنده تولید مقدار ماده خشک به‌ازای هر واحد درجه روز رشد می‌باشد و مقدار آن بستگی به نوع محصول، ژنتیک گیاه، شرایط اقلیمی و تغذیه دارد (Sharma et al., 2019; Deva et al., 2019). دارابی (Darabi, 2017) مقدار این شاخص را برای کشت پاییزه سیب‌زمینی در خوزستان از $15/61$ تا $21/73$ گرم در مترمربع در درجه روز رشد گزارش نمود. کارایی مصرف حرارت در برنج بسته به تاریخ کاشت و رقم از $0/493$ تا $0/448$ گرم در متر مربع در درجه روز رشد متغیر بوده است (Sharma et al., 2019).

مراحل رشد و نمو سیب‌زمینی را می‌توان به پنج مرحله تقسیم نمود: ۱- رشد و توسعه جوانه‌ها: این مرحله از زمان شروع رشد جوانه در چشم‌های غده شروع و به ظهور آن در سطح خاک ختم می‌شود. ۲- رشد سبزینه‌ای: این مرحله که در آن کلیه اندام‌های رویشی گیاه (برگ‌ها، انشعابات ساقه، ریشه‌ها و استولون) تشکیل می‌شود از زمان سبز شدن گیاه شروع شده و به شروع غده‌زایی ختم می‌شود. ۳- غده زایی: غده‌های اولیه در انتهای استولون‌ها تشکیل شده ولی هنوز شروع به حجیم شدن ننموده‌اند. این مرحله حدود دو هفته طول می‌کشد. ۴- حجیم شدن غده‌ها: در این مرحله سلول‌های تشکیل‌دهنده غده با تجمع آب، مواد غذایی و کربوهیدرات‌ها متورم می‌شوند. ۵- بلوغ یا رسیدن گیاه: شاخ و برگ گیاه شروع به زرد شدن نموده و برگ‌ها شروع به ریزش می‌کنند، به همین دلیل میزان فتوسنتز کاهش یافته و رشد غده‌ها کم می‌شود و نهایتاً اندام‌های هوایی می‌میرند (Darabi, 2017; Darabi and Eftekhari, 2014). سیب‌زمینی تولیدشده در مناطق معتدله کشور در پاییز و اوایل زمستان به مصرف رسیده و بعد از آن خلأ این محصول در بازار وجود دارد. با کشت زمستانه سیب‌زمینی در مناطق نیمه‌گرمسیری می‌توان به پر نمودن این خلأ اقدام نمود. یکی از مناطق نیمه‌گرمسیری مناسب برای کشت سیب‌زمینی استان خوزستان می‌باشد. زراعت این محصول در سال‌های اخیر مورد استقبال کشاورزان منطقه قرار گرفته، به گونه‌ای که سطح زیر کشت آن از ۳۴۷ هکتار در سال زراعی ۶۴-۱۳۶۳ هم‌اکنون به ۴۵۳۵ هکتار رسیده است (Anonymus, 2019).

شاخص‌های زراعی اقلیمی با استفاده از روابط (۱) تا (۴) محاسبه شدند:

$$GDD = \sum n [(T_{max} + T_{min}) / 2] - T_b \quad (۱)$$

GDD درجه روز رشد، n تعداد روزهای رشد، T_{min} و T_{max} به ترتیب، هفت و ۳۰ درجه سانتی‌گراد محسوب شدند.

جدول ۱- برخی از عوامل هواشناسی ماهیانه در طول فصل رشد سیب‌زمینی در سال اول آزمایش

Table 1- Some of the monthly meteorological factors during the growth season of potato in the first year of experiment

Meteorological factors	عوامل هواشناسی	دی Dec.-Jan.	بهمن Jan.-Feb.	اسفند Feb.-Mar.	فروردین Mar.-Apr.	اردیبهشت Apr.-May
Mean temperature (°C)	میانگین دما	12.92	12.25	16.61	21.78	29.27
Mean maximum temperature (°C)	میانگین دمای حداکثر	19.62	17.32	22.76	30.26	37.77
Mean minimum temperature (°C)	میانگین دمای حداقل	6.07	7.27	10.45	13.26	22.10
Absolute maximum temperature (°C)	حداکثر مطلق دما	25	23	29	37	45
Absolute minimum temperature (°C)	حداقل مطلق دما	1	2	7	1	16
Precipitation (mm)	بارندگی	32.80	129.30	71.90	3.80	0.70

جدول ۲- برخی از عوامل هواشناسی ماهیانه در طول فصل رشد سیب‌زمینی در سال دوم آزمایش

Table 2- Some of the monthly meteorological factors during the growth season of potato in the second year of experiment

Meteorological factors	عوامل هواشناسی	دی Dec.-Jan.	بهمن Jan.-Feb.	اسفند Feb.-Mar.	فروردین Mar.-Apr.	اردیبهشت Apr.-May
Mean temperature (°C)	میانگین دما	13.15	11.95	14.55	20.30	32.85
Mean maximum temperature (°C)	میانگین دمای حداکثر	19.15	17.90	21.20	28.60	37.70
Mean minimum temperature (°C)	میانگین دمای حداقل	6.80	6.30	7.90	13.80	22
Absolute maximum temperature (°C)	حداکثر مطلق دما	23.60	24.40	31	33.8	15.20
Absolute minimum temperature (°C)	حداقل مطلق دما	2	-3.20	2.20	4.60	42.20
Precipitation (mm)	بارندگی	28.60	62.80	25.90	22.50	0

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در دو سال آزمایش

Table 3- Physical and chemical properties of soil in two years of experiment

Year	سال	بافت Texture	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	pH	فسفر Available P (mg kg ⁻¹)	پتاسیم Available K (mg kg ⁻¹)	مواد آلی Organic Carbon (%)
2015-2016	۱۳۹۴-۹۵	Silty clay loam	2.3	7.8	8.9	279	0.70
2016-2017	۱۳۹۵-۹۶	Silty clay loam	2.2	7.7	7.9	269	0.80

TUE=Yield/GDD (۴)
 TUE کارایی تاثیر دما برحسب کیلوگرم در هکتار در درجه روز رشد، Yield عملکرد برحسب کیلوگرم در هکتار و GDD درجه روز رشد (Worthington and Hutchinson, 2005; Griresh *et al.*,)
 (2011; Singh *et al.*, 2014; Maji *et al.*, 2014).

یک هفته قبل از برداشت اندام‌های هوایی قطع و غده‌ها در دو تاریخ کاشت اول و ۱۱ دی‌ماه در ۲۵ اردیبهشت‌ماه و در دو تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه در ۳۰ اردیبهشت‌ماه برداشت شدند.

HTU= GDD × Duration of sun shine hours (۲)
 HTU واحد هلیو ترمال برحسب ساعات آفتابی در درجه روز رشد، GDD درجه روز رشد و Duration of sun shine hours مدت ساعات آفتابی.

HTUE=Yield /HTU (۳)
 HTUE کارایی تاثیر واحد هلیو ترمال برحسب کیلوگرم در هکتار در ساعت در درجه روز رشد، Yield عملکرد برحسب کیلوگرم در هکتار و GDD درجه روز رشد.

شاخص‌های حرارتی در مراحل فنولوژی رشد و توسعه جوانه‌ها

نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود اثر تاریخ کاشت، اثر رقم و اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر درجه روز رشد، واحد هلیوترمال و مدت‌زمان این مرحله در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. اثر سال بر درجه روز رشد در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار ولی بر مدت‌زمان مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها و واحد هلیوترمال معنی‌دار نشد (جدول ۴).

در هنگام برداشت محصول دو خط وسط هر کرت، با حذف ۵۰ سانتی‌متر از بالا و پایین هر خط به مساحت شش مترمربع برداشت گردیدند. در پایان هر سال به کمک نرم‌افزار MSTAT-C بر روی کلیه داده‌ها تجزیه واریانس ساده صورت گرفت. در پایان سال دوم تجزیه واریانس مرکب انجام و میانگین‌ها به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ مقایسه شدند.

نتایج و بحث

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس مدت مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها
Table 4- Results of combined variance analysis for duration of sprout development stage, growth degree days and helio thermal units in sprout development stage

Sources of variation	منابع تغییر	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات خطا Error mean square		
			مدت مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها Duration of sprout development stage	درجه روز رشد GDD	واحد هلیوترمال HTU
Year (Y)	سال	1	1.681 ^{ns}	4261.84*	840970.470**
Replication × Year	تکرار در سال	4	6.889	713.750	13528.531
Planting date (P)	تاریخ کاشت	3	1554.718**	44613.653**	1528578.997**
Y×P	سال × تاریخ کاشت	3	163.718**	10020.102**	257606.114**
Error	خطا	12	6.789	658.775	22516.883
Cultivar (c)	رقم	2	270.681**	15803.507**	573777.760**
Y×C	سال × رقم	2	60.181**	3433.816**	2235221.300**
P×C	تاریخ کاشت × رقم	6	31.829**	1592.323**	775502.448**
Y×P×C	سال × تاریخ کاشت × رقم	6	22.218*	1601.533**	44958.665*
Error	خطا	32	7.250	366.233	15904.601
CV (%)	ضریب تغییرات		5.6	7.6	10.1

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

ns, * and **: Not significant and significant at 1% and 5% probability level respectively

بهمن‌ماه به ترتیب ۱۹، ۳۲ و ۶۷٪ کمتر در مقایسه با تاریخ کشت اول دی‌ماه) کاهش یافت به طوری که کمترین درجه روز رشد، واحد هلیوترمال و مدت این مرحله فنولوژیکی به تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه مربوط بود (جداول ۵ و ۶). مشابه با این نتایج ورتینگتون و هاتچینسون (Worthington and Hutchinson, 2005) نیز گزارش نمودند برای رشد جوانه‌ها در شش تاریخ کاشت، کاشت از ۲۴ دی‌ماه تا هفت فروردین‌ماه در فلوریدا با به تعویق افتادن تاریخ کاشت به دلیل افزایش دما درجه روز رشد مورد نیاز از ۲۴۰ به ۱۷۸ واحد کاهش یافته است. دارابی (Darabi, 2017) گزارش نمود میانگین درجه روز رشد دریافت شده در پنج رقم سیب‌زمینی در کشت پاییزه این محصول در خوزستان ۲۱۳/۷۵ درجه روز رشد بود که از مقدار این شاخص در کلیه تاریخ‌های کاشت مورد مطالعه در این پژوهش کمتر بود، ولی به دلیل بیشتر بودن دما و تعداد ساعات آفتابی در کشت پاییزه میانگین واحد هلیوترمال دریافت شده در پنج رقم مورد مطالعه

در تاریخ کاشت اول دی‌ماه پایین بودن دما (جداول ۱ و ۲) سبب طولانی شدن این مرحله گردید و در نتیجه در میان چهار تاریخ کاشت، بیشترین درجه روز رشد به تاریخ کاشت اول دی‌ماه تعلق داشت (جدول ۵). در اوایل دی‌ماه متوسط دمای روزانه حتی با صفر فیزیولوژی سیب‌زمینی، هفت درجه سانتی‌گراد، (Worthington and Hutchinson, 2005) اختلاف قابل توجهی نداشت و علی‌رغم کاشت غده‌های جوانه‌دار، تعداد روز از کاشت تا سبز شدن در همه ارقام در تاریخ کاشت اول دی‌ماه بسیار طولانی بود. با به تعویق افتادن تاریخ کاشت به علت افزایش دما سرعت سبز شدن غده‌ها رشد (در تاریخ کاشت‌های ۱۱ و ۲۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه به ترتیب ۱۶، ۳۴ و ۵۹٪ زودتر در مقایسه با تاریخ کشت اول دی‌ماه) افزایش و در نتیجه درجه روز رشد (در تاریخ کاشت‌های ۱۱ و ۲۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه به ترتیب ۱۳، ۲۸ و ۶۷٪ کمتر در مقایسه با تاریخ کشت اول دی‌ماه) و واحد هلیوترمال (در تاریخ کاشت‌های ۱۱ و ۲۱ دی‌ماه و اول

مورد مطالعه افزایش نشان داد (جدول ۶).
 مقایسه مقدار با مقدار این شاخص در همه تاریخ کاشت‌های

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های مدت و درجه روز رشد در مراحل فنولوژی در تاریخ کاشت‌های مورد مطالعه

Table 5- Means comparison of duration (days) and GDD ($^{\circ}\text{C day}$) at phenological stages in studied planting dates

Planting date	تاریخ کاشت	رشد جوانه‌ها Sprout development		رشد سبزینه‌ای Vegetative growth		غده‌زایی Tuber initiation		حجیم شدن غده Tuber bulking		مجموع Total	
		درجه روز		درجه روز		درجه روز		درجه روز		درجه روز	
		رشد GDD	مدت Duration	رشد GDD	مدت Duration	رشد GDD	مدت Duration	رشد GDD	مدت Duration	رشد GDD	مدت Duration
21 Dec.	اول دی	326.86a	58.79a	118.62a	15a	150.81b	15a	953.54c	55.21a	1531.83	144
31 Dec.	یازده دی	285.59ab	50.83b	121.59a	15a	148.84b	15a	928.66c	53.47a	1484.68	134
10 Jan.	بیست و یک دی	235.33b	44.00c	118.29a	15a	185.33ab	15a	1031.91a	56.00a	1571.06	130
20 Jan.	اول بهمن	216.90b	37.06d	122.04a	15a	195.40a	15a	995.25b	52.94a	1529.59	120

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level.

زمستانه سیب‌زمینی در خوزستان توسط دارابی و همکاران (Darabi *et al.*, 2018) نیز گزارش شده است. این نتایج با گزارش لوی و ویل‌لوکس (Levi and Veilleux, 2007) که مناسب‌ترین دما برای رشد جوانه‌ها در سیب‌زمینی ۱۸ درجه سانتی‌گراد است مطابقت دارد. بنابراین در این تحقیق پایین بودن دما در اوایل رشد و نمو محصول سبب طولانی شدت مدت‌زمان این مرحله و بالا بودن درجه روز رشد دریافتی توسط گیاه شده است. در رقم ساوالان درجه روز رشد (به‌ترتیب ۱۷ و ۱۳٪ در مقایسه با ارقام کوزیما و المر)، واحد هلیوترمال (به‌ترتیب ۱۸ و ۱۷٪ در مقایسه با ارقام کوزیما و المر) و مدت مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها (به‌ترتیب ۱۴ و ۶٪ در مقایسه با ارقام کوزیما و المر) در مقایسه با دو رقم دیگر کاهش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۷).

ماجی و همکاران (Maji *et al.*, 2014) طی یک مطالعه دوساله در هندوستان درجه روز رشد مورد نیاز در مرحله رشد جوانه‌ها در پنج تاریخ کاشت از ۲۵ آبان تا ۲۳ آذر را از ۹۵/۲ تا ۱۴۹/۱ واحد گزارش نمودند. ابرین و همکاران (Obrien *et al.*, 1988) در انگلستان درجه روز رشد دریافت شده در مرحله رشد جوانه‌ها را بسته به تاریخ کاشت بین ۱۴۸ تا ۲۸۵ واحد گزارش نمودند. بنابراین در این پژوهش درجه روز رشد دریافت شده در این مرحله فنولوژیکی از گزارش‌های محققان مزبور بیشتر بود. بایستی توجه نمود که در این بررسی، حتی در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه نیز فاصله زمانی بین کاشت تا سبز شدن غده‌ها (جدول ۵) در مقایسه با کشت بهاره این محصول در مناطق معتدل کشور و زراعت پاییزه در مناطق نیمه‌گرمسیری طولانی‌تر می‌باشد (Parvizi *et al.*, 2011; Darabi, 2017). طولانی بودن فاصله زمانی بین کاشت تا سبز شدن غده در کشت

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های مدت، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در ارقام مورد مطالعه

Table 6- Means comparison of duration, GDD, helio thermal units at phenological stages in studied planting dates

رقم Cultivar	رشد جوانه‌ها Sprout development			رشد سبزینه‌ای Vegetative growth			غده‌زایی Tuber initiation			حجیم شدن غده Tuber bulking		
	Duration			Duration			Duration			Duration		
	GDD	HTU	GDD	HTU	GDD	HTU	GDD	HTU	GDD	HTU	GDD	HTU
کوزیما Cozima	51.25a	288.19a	14882.35a	15a	125.13a	758.37a	15a	163.25a	1190.51a	50.50c	941.79c	7213.82c
ساوالان Savalan	44.25c	23.99c	1199.64b	15a	117.02b	732.67a	15a	149.62c	988.2b	57.88a	1021.18a	7903.53a
المر Almera	47.21b	272.33b	1439.95a	15a	118.26b	738.52a	15a	154.68b	1175.57a	53.46b	969.25b	7439.00b

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level.

مدت مرحله رشد جوانه‌ها معنی‌دار شود ولی علی‌رغم این موضوع، کمترین مدت، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال دریافت شده در این مرحله فنولوژیکی در هر چهار تاریخ کاشت به رقم ساوالان تعلق

یکسان نبودن روند تغییرات درجه روز رشد و واحد هلیوترمال دریافت شده توسط ارقام مورد مطالعه در این چهار تاریخ کاشت سبب گردید اثر متقابل این دو عامل بر درجه روز رشد و واحد هلیوترمال و

داشت (جدول ۸). بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که نیاز حرارتی این رقم در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی در مرحله رشد جوانه‌ها کمتر می‌باشد که با عنایت به پایین بودن دما در مراحل اولیه

رشد و نمو در کشت زمستانه سیب‌زمینی در خوزستان عاملی مثبت برای ارزیابی این رقم محسوب می‌شود.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های واحد هلیوترمال در مراحل فنولوژی در تاریخ کاشت‌های مورد مطالعه

Table 7- Means comparison of helio thermal units, HTU, at phenological stages in studied planting dates

Planting date	تاریخ کاشت	رشد جوانه‌ها Sprout development	رشد سبزینه‌ای Vegetative growth	غده‌زایی Tuber initiation	حجیم شدن غده Tuber bulking	مجموع Total
21 December	اول دی	1767.06a	731.42a	923.65b	7273.72c	10695.83
31 December	یازده دی	1423.18b	772.44a	1072.99ab	7218.86c	10487.47
10 January	بیست و یک دی	1198.96c	731.34a	1195.87a	7928.94a	11052.11
20 January	اول بهمن	1114.72c	773.19a	1279.62a	7653.18b	10800.71

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level

رشد سبزینه‌ای

نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود در این مرحله فنولوژیکی اثر تاریخ کاشت و اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر درجه روز رشد و واحد هلیوترمال معنی‌دار نشد. اثر رقم بر درجه روز رشد در سطح احتمال ۵٪ ولی بر واحد هلیوترمال معنی‌دار نبود. اثر سال بر این دو شاخص در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۹).

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های مدت مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها در اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم

Table 8- Means comparison for duration of sprout development stage (days), growth degree days, GDD and helio thermal units at sprout development stage in interaction effect of planting date and cultivar

تاریخ کاشت Planting date	Cultivar	رقم	مدت مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها Duration of sprout development stage	GDD	HTU
اول دی 21 December	Cozima	کوزیما	63.67a	354.15a	1873.70a
	Savalan	ساوالان	56.33b	237.90c	1552.08c
	Almera	المر	56.33b	333.70ab	1875.40a
یازده دی 31 December	Cozima	کوزیما	57.00b	327.58b	1701.46b
	Savalan	ساوالان	47.00c	260.42de	1238.44de
	Almera	المر	48.50c	268.77d	1329.55d
بیست و یک دی 10 January	Cozima	کوزیما	45.67c	242.13ef	1250.23de
	Savalan	ساوالان	41.00d	210.22gh	1031.67f
	Almera	المر	45.50c	256.63def	1314.98d
اول بهمن 20 January	Cozima	کوزیما	38.67d	228.88fg	1127.93ef
	Savalan	ساوالان	34.00e	188.60h	976.37f
	Almera	المر	38.50d	233.22fg	1239.87de

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level.

مرحله رشد سبزینه‌ای در این پژوهش ۱۵ روز بود که منعکس‌کننده این مطلب است که تغییرات شرایط اقلیمی در مرحله رشد سبزینه‌ای در تاریخ‌های کاشت مورد ارزیابی، قابل توجه نبوده است (جدول ۵). مشابه با این نتایج دارابی (Darabi, 2017) نیز گزارش نمود که مدت‌زمان این مرحله در کشت پاییزه سیب‌زمینی در خوزستان ۱۵ روز می‌باشد. پرویزی و همکاران (Parvizi et al., 2011) گزارش نمودند که در کشت بهاره

در سیب‌زمینی مدت‌زمان مرحله رشد سبزینه‌ای نقش بسیار مهمی در عملکرد این محصول دارد. هر چه مدت‌زمان این مرحله کوتاه‌تر باشد مرحله حجیم شدن غده طولانی‌تر شده و از طرف دیگر اندام‌های هوایی به‌عنوان یک منبع رقابت‌کننده برای جذب مواد غذایی با غده، بیش از اندازه رشد نخواهد کرد (Kazemi et al., 2011). در کلیه تیمارهای آزمایشی ۱۵ بعد از خروج گیاهان غده مشاهده گردید، بنابراین

مقدار این دو شاخص افزایش یافت. حداکثر درجه روز رشد به تاریخ کاشت ۱۱ دی‌ماه و بیشترین واحد هلیوترمال به تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه مربوط بود (جداول ۵ و ۶). درجه‌روز رشد در تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه در مقایسه با تاریخ کاشت‌های اول و ۱۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه به‌ترتیب ۲۳، ۲۵ و ۱۲٪ افزایش یافت. واحد هلیوترمال در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه در مقایسه با تاریخ کاشت‌های اول، ۱۱ و ۲۱ دی‌ماه به‌ترتیب ۲۹، ۱۹ و ۷٪ افزایش نشان داد. بیشترین درجه روز رشد و واحد هلیوترمال به رقم کوزیما مربوط بود (جدول ۷). میزان افزایش درجه روز رشد در رقم کوزیما در مقایسه با ارقام ساوالان و المرا به‌ترتیب ۹ و ۶٪ بود. واحد هلیوترمال در رقم کوزیما در مقایسه با ارقام ساوالان و المرا به‌ترتیب ۲۱ و ۱۲٪ بیشتر بود. مقایسه میانگین‌ها در اثر متقابل رقم و تاریخ کاشت نشان داد که حداکثر درجه روز رشد به رقم المرا در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه (۱۶۸/۶۲ واحد) و بیشترین واحد هلیوترمال به رقم کوزیما در همین تاریخ کاشت (۱۳۶۷/۴۷ ساعت در درجه روز رشد) اختصاص یافت (جدول ۱۰). اگرچه مدت‌زمان مرحله رشد سبزینه‌ای و غده‌زایی در این پژوهش برابر بود ولی به دلیل افزایش دما و تعداد ساعات آفتابی در مرحله غده‌زایی در مقایسه با مرحله رشد سبزینه‌ای، دو شاخص درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در این مرحله در مقایسه با مرحله رشد سبزینه‌ای افزایش قابل‌ملاحظه‌ای را نشان دادند (جداول ۵ و ۶).

حجیم شدن غده

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سال و تاریخ کاشت بر مدت زمان این مرحله فنولوژیکی معنی‌دار نبود. اثر رقم و اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر این صفت به‌ترتیب در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار بود. اثر تاریخ کاشت بر کارایی تأثیر دما در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد ولی اثر این عامل بر کارایی تأثیر واحد هلیوترمال معنی‌دار نبود. اثر رقم بر کارایی تأثیر دما و کارایی تأثیر واحد هلیوترمال در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر کارایی تأثیر دما در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار ولی بر کارایی تأثیر واحد هلیوترمال معنی‌دار نبود (جدول ۱۱). سرعت و مدت حجیم شدن غده تعیین‌کننده عملکرد سبب‌زمینی می‌باشد ولی مدت حجیم شدن در مقایسه با سرعت حجیم شدن نقش مهم‌تری در تعیین عملکرد این محصول ایفا می‌کند. عوامل زراعی - اقلیمی مؤثر بر حجیم شدن غده شامل دمای آب‌وخاک، شدت نور، طول روز، رطوبت خاک و آب قابل‌استفاده است. شرایط اقلیمی بهینه برای حجیم شدن غده‌ها طول روز کوتاه، شدت نور بالا و میانگین دمای روزانه بین ۱۵ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Mihovilovich et al., 2009). در این پژوهش مدت‌زمان مرحله حجیم شدن غده در تاریخ کاشت‌های اول، ۱۱ و ۲۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه به‌ترتیب ۵۵/۲۱، ۵۳/۴۷ و ۵۶/۰۰ روز بود و از لحاظ این صفت

سبب‌زمینی در همدان مرحله رشد سبزینه‌ای حدود ۴۰ روز است، بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود مرحله رشد سبزینه‌ای در کشت سبب‌زمینی در خوزستان در مقایسه با زراعت بهاره این محصول در همدان حدود ۲۵ روز کوتاه‌تر می‌باشد. حداکثر درجه روز رشد به رقم کوزیما اختصاص یافت (به‌ترتیب ۷ و ۶٪ بیشتر از ارقام ساوالان و المرا) و از نظر این شاخص اختلاف رقم کوزیما با دو رقم مورد مطالعه دیگر معنی‌دار بود (جدول ۷). ارزیابی اثر متقابل رقم و تاریخ کاشت نشان داد که حداکثر درجه روز رشد به رقم کوزیما در تاریخ کاشت ۱۱ دی‌ماه (۱۳۵/۰۳ واحد) و بیشترین واحد هلیوترمال به رقم المرا در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه (۱۸۶/۶۲ ساعت در درجه روز رشد) تعلق داشت (جدول ۱۰). با عنایت به مساوی بودن مدت‌زمان این مرحله در این بررسی، اختلاف بین شاخص‌های حرارتی مشاهده شده در برخی از تیمارها ناشی از اختلاف زمانی در شروع و خاتمه مرحله رشد سبزینه‌ای و در نتیجه اختلاف شرایط اقلیمی از قبیل دما، تعداد ساعات آفتابی و طول روز در این دوره‌های ۱۵ روزه می‌باشد. ماجی و همکاران (Maji et al., 2014) گزارش نمودند مدت‌زمان رشد سبزینه‌ای از ۲۴ تا ۲۸ روز، درجه روز رشد از ۳۲۷/۹ تا ۳۹۷ واحد و واحد هلیوترمال از ۳۴۹۶/۱ تا ۴۱۸۰/۹ ساعت در درجه روز رشد متغیر بوده است. قرار گرفتن زود هنگام گیاهان در شرایط مناسب برای غده‌زایی، روز کوتاه و شب خنک، (Mihovilovich et al., 2009) سبب گردید که در این تحقیق مدت‌زمان رشد سبزینه‌ای و شاخص‌های درجه روز رشد و واحد هلیوترمال به مقدار قابل‌توجهی در مقایسه با گزارش ماجی و همکاران (Maji et al., 2014) کمتر باشد.

غده‌زایی

نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود در این مرحله اثر سال، اثر رقم و اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر دو شاخص درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. اثر رقم بر درجه روز رشد و واحد هلیوترمال به‌ترتیب در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۹). غده‌زایی در سبب‌زمینی مکانیسمی پیچیده بوده و سطوح هورمون‌های درون‌زاد و تعادل تنظیم‌کننده‌های رشد نقش اساسی در آن ایفا می‌کنند. سطوح تنظیم‌کننده‌های رشد داخلی به نوبه خود تحت تأثیر شرایط آب و هوا، طول روز، دمای محیط و نیز شرایط رشد قرار دارند (Klienkopf et al., 2003). اگرچه غده‌زایی در سبب‌زمینی در یک دوره نسبتاً طولانی اتفاق می‌افتد، ولی با توجه به این‌که قسمت اعظم غده‌ها طی یک دوره ۱۵ روزه تشکیل می‌شوند معمولاً طول دوره غده‌زایی در سبب‌زمینی حدود ۱۵ روز در نظر گرفته می‌شود (Kazemi et al., 2011). با به تعویق افتادن تاریخ کاشت، به دلیل این‌که این مرحله به‌خصوص در دو تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه دیرتر از دو تاریخ کاشت قبلی یعنی اول و ۱۱ دی‌ماه شروع گردید و در این فاصله زمانی، دمای هوا گرم‌تر شد،

اختلاف معنی داری بین تاریخ کاشت‌های مورد مطالعه مشاهده نگردید (جدول ۵).

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در مراحل رشد سبزینه‌ای و غده‌زایی

Table 9- Results of combined variance analysis of growth degree days and helio thermal units in vegetative growth and tuber initiation stages

Sources of variation	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات خطا Error mean square			
			رشد سبزینه‌ای Vegetative growth		غده‌زایی Tuber initiation	
			درجه روز رشد GDD		درجه روز رشد GDD	
			HTU	واحد هلیوترمال	HTU	واحد هلیوترمال
Year (Y)	سال	1	22511.041**	211535.033**	92865.734**	43032.042**
Replication × Year	تکرار در سال	4	110.388	2248.761	173.865	74372.057
Planting date (P)	تاریخ کاشت	3	68.738 ^{ns}	10303.542 ^{ns}	11029.182**	413889.921*
Y×P	سال × تاریخ کاشت	3	531.565**	20555.311 ^{ns}	337.391 ^{ns}	558905.172**
Error	خطا	12	132.890	7117.528	102.935	84407.982
Cultivar (c)	رقم	2	458.064*	20111.510 ^{ns}	11390.590**	3058905.172**
Y×C	سال × رقم	6	442.184*	97405.502**	413.153**	212494.630**
P×C	تاریخ کاشت × رقم	6	193.489 ^{ns}	16106.302 ^{ns}	239.240**	21755.795 ^{ns}
Y×P×C	سال × تاریخ کاشت × رقم	6	37.117 ^{ns}	19528.268 ^{ns}	70.318 ^{ns}	84000.833**
Error	خطا	32	128.377	8461.720	47.717	26451.294
CV (%)	ضریب تغییرات		9.5	11.9	12.1	17.1

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

ns, * and **: Not significant and significant at 1% and 5% probability level respectively

برون (Brown, 2007) که مدت‌زمان این مرحله ممکن است تا ۹۰ روز ادامه یابد، هماهنگی وجود دارد. بیشترین مدت‌زمان مرحله حجیم شدن غده به رقم ساوالان مربوط بود. افزایش این صفت در رقم مربوط در مقایسه با ارقام کوریمما و المرآ به ترتیب ۱۵ و ۸٪ و معنی‌دار بود (جدول ۷).

مدت‌زمان مرحله حجیم شدن غده در این تحقیق در مقایسه با گزارش ماجی و همکاران (Maji et al., 2014)، از ۴۲ تا ۵۲ روز، طولانی‌تر ولی در مقایسه با گزارش لویلا ردیگوز و همکاران (Loyla Rodriguez et al., 2016)، ۶۳ روز و دارابی (Darabi, 2019)، ۸۸/۶۷ روز، کوتاه‌تر است. بین نتایج این پژوهش‌ها و گزارش

جدول ۱۰- مقایسه میانگین‌های درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در مراحل رشد سبزینه‌ای و غده‌زایی در اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم

Table 10- Means comparison of growth degree days, GDD, and helio thermal units at vegetative growth and tuber initiation stages in interaction effect of planting date and cultivar

تاریخ کاشت Planting date	Cultivar	رقم	رشد سبزینه‌ای Vegetative growth		غده‌زایی Tuber initiation	
			GDD		GDD	
			HTU	واحد هلیوترمال	HTU	واحد هلیوترمال
اول دی 21 December	Cozima	کوزیمما	120.17b	786.29ab	161.73a	1022.62cd
	Savalan	ساوالان	120.23b	666.39bc	150.73b	745.68e
	Almera	المرآ	115.47b	741.58abc	109.56d	1002.67d
یازده دی 31 December	Cozima	کوزیمما	135.03b	821.58a	162.07a	1144.67bcd
	Savalan	ساوالان	112.03b	748.83abc	145.30bc	1004.75d
	Almera	المرآ	114.48b	746.91abc	139.15c	1069.54cd
بیست و یک دی 10 January	Cozima	کوزیمما	121.28ab	779.50abc	163.45a	1227.29abc
	Savalan	ساوالان	115.95b	762.32abc	151.30b	1030.74cd
	Almera	المرآ	114.48b	652.19c	160.25a	1069.5cd
اول بهمن 20 January	Cozima	کوزیمما	124.03ab	754.09abc	165.75a	1367.47a
	Savalan	ساوالان	116.63b	753.14abc	161.82a	1170.92a-d
	Almera	المرآ	125.47ab	812.34a	168.62a	1300.48ab

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level.

جدول ۱۱- نتایج تجزیه واریانس مدت، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در مرحله حجیم شدن غده‌ها

Table 11- Results of combined variance analysis for duration, growth degree days and helio thermal units in tuber bulking stage

Sources of variation	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات خطا Error mean square		
			مدت Duration	درجه روز رشد GDD	واحد هلیو ترمال HTU
Year (Y)	سال	1	22.222 ^{ns}	1823.077 ^{ns}	2973661.075 ^{**}
Replication × Year	تکرار در سال	4	15.727	1247.741	129941.907
Planting date (P)	تاریخ کاشت	3	18.148 ^{ns}	37483.276 ^{**}	2018474.856 ^{**}
Y×P	سال × تاریخ کاشت	3	71.556 ^{ns}	16057.467 ^{**}	2428501.196 ^{**}
Error	خطا	12	22.463	1420.476	64042.768
Cultivar (c)	رقم	4	330.597 ^{**}	399006.709 ^{**}	2968776.637 ^{**}
Y×C	سال × رقم	4	59.764 [*]	11896.944 ^{**}	969845.749 ^{**}
P×C	تاریخ کاشت × رقم	4	36.356 [*]	4266.059 ^{**}	219753.565 ^{**}
Y×P×C	سال × تاریخ کاشت × رقم	12	15.487 ^{ns}	2141.653 [*]	125046.402 ^{ns}
Error	خطا	32	13.757	809.3365 ^{ns}	59294.398
CV (%)	ضریب تغییرات		7.8	3.4	3.3

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

ns, * and **: Not significant and significant at 1% and 5% probability level respectively

کاشت اول و یازدهم دی‌ماه در تاریخ ۲۵ اردیبهشت‌ماه و در دو تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه در تاریخ ۳۰ اردیبهشت‌ماه انجام گرفت) و بالا بودن دما و تعداد ساعات آفتابی در این دوره پنج روزه می‌باشد.

مقایسه دو شاخص درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در این مرحله فنولوژیکی در مقایسه با گزارش سایر محققین (Loyla, Rodriguoz *et al.*, 2016; Maji *et al.*, 2014) مشخص نمود که مقدار این دو شاخص حرارتی در این مطالعه به علت افزایش شدید دما در اردیبهشت‌ماه به‌طور قابل‌توجهی از گزارش این دو محقق بیشتر بوده است. همچنین علی‌رغم این که مدت‌زمان این مرحله در مقایسه با دوره حجیم شدن غده‌ها در کشت پاییزه سیب‌زمینی کمتر بود (Darabi, 2019) ولی این دو شاخص در کلیه تاریخ کشت‌های مورد مطالعه به علت بالا بودن دما و تعداد ساعات آفتابی در مرحله حجیم شدن غده‌ها در مقایسه با کشت پاییزه افزایش نشان داد. در این مرحله درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در رقم ساوالان به‌طور معنی داری از دو رقم دیگر بیشتر بود (جدول ۷). افزایش درجه‌روز رشد در رقم ساوالان در مقایسه با ارقام کوزیما و المرا به‌ترتیب ۸ و ۵٪ بود. واحد هلیوترمال در رقم ساوالان نسبت به ارقام کوزیما و المرا به‌ترتیب ۹ و ۷٪ افزایش یافت. ارزیابی میانگین‌ها در اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم مشخص نمود حداکثر درجه روز رشد (۱۰۶۷ واحد) و واحد هلیوترمال (۸۲۷۶ ساعت در درجه روز رشد) به رقم ساوالان در تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه تعلق داشته است (جدول ۱۲).

مقایسه میانگین‌ها در اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم مشخص نمود حداکثر مدت زمان این مرحله به رقم ساوالان در تاریخ کاشت بیست و یکم دی‌ماه (۵۸ روز) تعلق داشته است (جدول ۱۲). بیشترین درجه روز رشد و واحد هلیوترمال به تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه مربوط بود و از لحاظ دو شاخص مزبور، اختلاف این تاریخ کاشت با سه تاریخ کاشت دیگر در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۴ و ۵). افزایش درجه روز رشد در تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه در مقایسه با تاریخ کاشت‌های اول و ۱۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه به‌ترتیب ۱۰، ۱۱ و ۴٪ بود. واحد هلیوترمال در تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه در مقایسه با تاریخ کاشت‌های اول و ۱۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه به‌ترتیب ۹، ۱۰ و ۴٪ افزایش نشان داد. مقایسه شاخص‌های حرارتی در این مرحله نسبت به مراحل قبل مشخص نمود که حداکثر این شاخص‌ها به دوره حجیم شدن غده تعلق داشته است و مقدار این شاخص‌ها در این مرحله فنولوژیکی به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است، به‌طوری‌که علی‌رغم این که مدت‌زمان دوره حجیم شدن غده در مقایسه با کل دوره رشد و نمو گیاه بسته به تاریخ کاشت بین ۳۸ تا ۴۴ درصد متغیر بود ولی میزان درجه روز رشد دریافت شده در این مرحله نسبت به کل دوره رشد و نمو بین ۶۱/۵۲ تا ۶۶/۲۷ درصد متغیر بود (جدول ۵ و ۶). اگرچه اختلاف مدت مرحله حجیم شدن غده در کلیه تاریخ‌های کاشت معنی دار نبود ولی درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در دو تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه در مقایسه با دو تاریخ کاشت اول و ۱۱ دی‌ماه به‌طور معنی‌دار افزایش نشان داد (جدول ۵ و ۶). علت این موضوع اختلاف در تاریخ برداشت این تیمارها (برداشت غده‌ها در دو تاریخ

جدول ۱۲- مقایسه میانگین‌های مدت، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در مرحله حجیم شدن غده در اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم

Table 12- Means comparison of duration, growth degree days, GDD, and helio thermal units at tuber bulking stage in interaction effect of planting date and cultivar

تاریخ کاشت Planting date	Cultivar	رقم	مدت Duration	GDD	HTU
اول دی 21 December	Cozima	کوزیما	49e	914.88f	6892.53fg
	Savalan	ساوالان	56.33b	1011.70bc	7788.19bc
	Almera	المر	52.50cde	934.05ef	7140.45ef
یازده دی 31 December	Cozima	کوزیما	49.17e	856.58g	6680.07g
	Savalan	ساوالان	56.17bc	971.92d	7584.84cd
	Almera	المر	55.00bcd	957.47de	7391.68de
بیست و یک دی 10 January	Cozima	کوزیما	53.17b-e	1014.88bc	7779.20bc
	Savalan	ساوالان	58.00a	1067.35a	8276.59a
	Almera	المر	53.50b-e	1013.60bc	7731.02bc
اول بهمن 20 January	Cozima	کوزیما	50.50b-e	980.82cd	7503.49cd
	Savalan	ساوالان	55.00bcd	1033.73b	7469.51b
	Almera	المر	52.83cde	971.90d	7492.84cd

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level.

بلوغ

به‌دلیل بالا رفتن دما از اواسط اردیبهشت، برداشت سیب‌زمینی در خوزستان قبل از مرحله بلوغ و یا رسیدن گیاه انجام می‌شود، زیرا در صورت تأخیر در برداشت، به‌دلیل افزایش دما و افزایش گندیدگی غده‌ها و بروز عارضه رشد ثانویه از عملکرد قابل‌فروش کاسته خواهد شد (Darabi, 2007). بنابراین مراحل فنولوژیک سیب‌زمینی در خوزستان فقط شامل چهار مرحله رشد جوانه‌ها، رشد سبزینه‌ای، غده‌زایی و حجیم شدن غده می‌باشد. عدم مشاهده مرحله بلوغ در سیب‌زمینی در سایر مناطق گرمسیری نیز گزارش شده است (Darabi, 2019).

عملکرد، کارایی تاثیر دما و کارایی تاثیر واحد هلیوترمال

نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود اثر سال بر عملکرد غده معنی‌دار نبود ولی اثر این عامل بر کارایی تاثیر دما و کارایی تاثیر واحد هلیو ترمال در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. اثر تاریخ کاشت بر کارایی تاثیر واحد هلیوترمال و عملکرد غده معنی‌دار نبود ولی اثر این عامل بر کارایی تاثیر دما در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد. اثر رقم بر عملکرد غده، کارایی تاثیر دما و کارایی تاثیر واحد هلیوترمال در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر عملکرد غده و کارایی تاثیر دما در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد ولی اثر متقابل دو این عامل بر کارایی تاثیر واحد هلیوترمال معنی‌دار نبود (جدول ۱۳). حداکثر کارایی تاثیر دما به تاریخ کاشت اول بهمن تعلق داشت. افزایش این شاخص در تاریخ کاشت مزبور در مقایسه با سه تاریخ کاشت دیگر معنی‌دار بود (جدول ۱۴). کارایی تاثیر دما در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه در مقایسه با سه تاریخ کاشت اول، ۱۱ و ۲۱ دی ماه به‌ترتیب ۱۰/۹۶، ۱۰/۸۱ و ۱۴/۵۷٪ بیشتر بود (جدول ۱۴). کارایی

تاثیر واحد هلیوترمال در چهار تاریخ کاشت اول، ۱۱ و ۲۱ دی ماه و اول بهمن‌ماه به‌ترتیب ۱/۵۵، ۱/۵۸، ۱/۴۶ و ۱/۶۶ کیلوگرم در هکتار در ساعت در درجه روز رشد بود و از نظر این صفت اختلاف بین این تاریخ کاشت‌های معنی‌دار نبود. عملکرد در چهار تاریخ کاشت اول، ۱۱ و ۲۱ دی ماه و اول بهمن‌ماه به‌ترتیب ۱۶/۷۷، ۱۶/۳۳، ۱۶/۰۱ و ۱۷/۸۸ تن در هکتار بود و این اختلاف‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۱۴). بیشترین عملکرد (۱۸/۳۱ تن در هکتار)، کارایی تاثیر دما (۱۲/۰۶ کیلوگرم در هکتار در درجه روز رشد) و کارایی تاثیر واحد هلیوترمال (۱۷/۱ کیلوگرم در هکتار در ساعت در درجه روز رشد) به رقم ساوالان تعلق داشت و از نظر این صفات، اختلاف معنی‌داری بین این رقم و رقم کوزیما مشاهده نشد (جدول ۱۵). عملکرد رقم ساوالان در مقایسه با ارقام کوزیما و المر به‌ترتیب ۲ و ۳۲٪ بیشتر بود. کارایی تاثیر دما در رقم ساوالان نسبت به ارقام کوزیما و المر به‌ترتیب ۹ و ۳۲٪ افزایش یافت. کارایی تاثیر واحد هلیوترمال در رقم ساوالان نسبت به ارقام کوزیما و المر به‌ترتیب ۱ و ۳۳٪ افزایش نشان داد. مقایسه میانگین‌ها در اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم مشخص نمود بیشترین عملکرد (۲۱/۵۶ تن در هکتار)، کارایی تاثیر دما (۱۴/۳۹ کیلوگرم در هکتار در درجه روز رشد) و کارایی تاثیر واحد هلیوترمال (۱/۹۹ کیلوگرم در هکتار در ساعت در درجه روز رشد) به رقم ساوالان در تاریخ کاشت اول بهمن اختصاص یافت و از نظر این صفات برتری این تیمار بر سایر تیمارها معنی‌دار بود (جدول ۱۶). ارزیابی درجه روز رشد در دوره رشد و نمو محصول مشخص نمود که اگرچه در تاریخ کاشت‌های مورد بررسی اختلاف مجموع درجه روز رشد دریافت شده (از ۱۴۱۴/۲۲ تا ۱۵۷۰/۹۲ واحد) قابل‌ملاحظه نبود ولی روند تغییرات

درجه روز رشد در مراحل مختلف فنولوژیکی در تاریخ کاشت‌های مورد مطالعه یکسان نبود. درجه روز رشد دریافت شده در دو تاریخ کاشت اول و ۱۱ دی‌ماه در مرحله رشد جوانه‌ها، که بر عملکرد محصول تأثیری ندارد، نسبت به دو تاریخ کاشت بیست و یکم دی‌ماه و اول بهمن‌ماه افزایش نشان داد (اگرچه این افزایش در تاریخ کاشت ۱۱ دی‌ماه نسبت به دو تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه معنی‌دار نبود)، از طرف دیگر در دو تاریخ کاشت بیست و یکم دی‌ماه و اول بهمن‌ماه در مرحله حجیم شدن غده واحد حرارتی دریافت شده (که می‌تواند سبب افزایش عملکرد شود) در مقایسه با دو تاریخ کاشت اول و یازدهم دی‌ماه افزایش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۴). ولی

باین‌حال، اختلاف معنی‌داری بین عملکرد غده در تاریخ‌های مختلف کاشت ملاحظه نشد (جدول ۸) که این موضوع بیانگر این مطلب است که افزایش حرارت دریافت شده در دو تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه نسبت به تاریخ کاشت‌های اول و یازدهم دی‌ماه تأثیری در عملکرد غده نداشته است. علت این موضوع را می‌توان چنین توجیه نمود که افزایش درجه روز رشد دریافت شده در این دو تاریخ کاشت نسبت به دو تاریخ کاشت اول و ۱۱ دی‌ماه عمدتاً ناشی از اختلاف زمان برداشت، تاریخ کاشت‌های مطالعه شده می‌باشد (تاریخ برداشت در دو تاریخ کاشت اول و یازدهم دی‌ماه، ۲۵ اردیبهشت و دو تاریخ کاشت ۲۱ دی و اول بهمن‌ماه ۳۰ اردیبهشت بوده است).

جدول ۱۳- نتایج تجزیه واریانس عملکرد، کارایی تأثیر دما و کارایی تأثیر واحد هلیوترمال

Table 13- Results of combined variance analysis for yield, heat use efficiency and helio thermal units use efficiency

Sources of variation	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات خطا Error mean square		
			عملکرد Yield	کارایی تأثیر دما Heat use efficiency	کارایی تأثیر واحد هلیو ترمال Helio thermal unit use efficiency
Year (Y)	سال	1	221.271 ^{ns}	58.518 ^{**}	1.764 ^{**}
Replication × Year	تکرار در سال	4	6.097	2.620	0.056
Planting date (P)	تاریخ کاشت	3	10.684 ^{ns}	7.149 [*]	0.115 ^{ns}
Y×P	سال × تاریخ کاشت	3	16.699 [*]	8.434 ^{**}	0.125 [*]
Error	خطا	12	3.234	1.387	0.033
Cultivar (c)	رقم	2	146.425 ^{**}	64.223 ^{**}	1.319 ^{**}
Y×C	سال × رقم	2	6.281 ^{ns}	3.215 ^{ns}	0.067 ^{ns}
P×C	تاریخ کاشت × رقم	6	13.028 [*]	5.685 [*]	0.100 ^{ns}
Y×P×C	سال × تاریخ کاشت × رقم	32	18.448 ^{**}	7.690 [*]	0.154 [*]
Error	خطا	64	5.200	2.232	0.064
CV (%)	ضریب تغییرات		14.2	12.2	12.7

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

ns, * and **: Not significant and significant at 1% and 5% probability level respectively

مطالعه عوامل هواشناسی در دوره حجیم شدن غده مشخص نمود از اواسط اردیبهشت‌ماه میانگین دمای روزانه از ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر بود، از طرف دیگر بر اساس گزارش لوی و ویل لوکس (Levi and Veilleux, 2007) در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و بالاتر تولید خالص آسیمیلات‌ها به شدت کاهش خواهد یافت. بالا بودن دما رشد اندام‌های هوایی را تحریک می‌کند و بنابراین در چنین شرایطی به جای انتقال مواد حاصل از فتوسنتز به غده، این مواد به اندام‌های سبز منتقل شده و صرف رشد شاخ و برگ و نیز تنفس گیاه می‌شود و در نتیجه رشد غده و عملکرد افزایش قابل‌توجهی نخواهد داشت (Kazemi et al., 2011). بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود در این پژوهش در فاصله زمانی بین ۲۵ تا ۳۰ اردیبهشت‌ماه به دلیل بالا بودن دما رشد غده متوقف و یا به میزان کمی افزایش یافته است و به همین دلیل عملکرد دو تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه علی

رغم دریافت حرارت بیشتر در مقایسه با دو تاریخ کاشت اول و یازدهم دی‌ماه اختلاف معنی‌داری نداشت. ارزیابی شاخص‌های حرارتی در اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم نشان داد که در رقم ساوالان، هرچند درجه روز رشد و واحد هلیوترمال دریافت شده در تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه نسبت به تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه افزایش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۱۲) ولی علی‌رغم این موضوع، عملکرد این رقم در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه از ۲۱ دی‌ماه به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۱۶). عملکرد این رقم در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه نه تنها نسبت به تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه، بلکه نسبت به دو تاریخ کاشت اول و یازدهم دی‌ماه نیز افزایش قابل ملاحظه و معنی‌داری را نشان داد (جدول ۱۶). دلیل بالا بودن عملکرد رقم ساوالان در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه را می‌توان چنین توجیه نمود که به علت افزایش دما در نیمه دوم بهمن‌ماه، شرایط دمایی نسبتاً مساعدی برای توسعه جوانه‌ها و سبز

مبنی بر پایین بودن عملکرد سیبزمینی در مناطق گرمسیری می‌باشد. یکی از دلایل مهم پایین بودن عملکرد سیبزمینی در مناطق گرمسیری، بالا بودن دما در مرحله حجیم شدن غده می‌باشد که از طریق کاهش فتوسنتز و افزایش تنفس، کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به غده‌ها و افزایش میزان انتقال آنها به بخش‌های دیگر گیاه و کاهش رشد غده سبب کاهش عملکرد سیبزمینی در این مناطق می‌شود (Van Dam et al., 2008). هرچند میزان کل درجه روز رشد دریافت شده و همچنین واحد هلیوترمال در این پژوهش (جدول ۵ و ۶) در مقایسه با نتایج گزارش شده توسط ماجی و همکاران (۲۰۱۴) اختلاف قابل توجهی نداشت ولی محدوده کارایی تاثیر دما و کارایی تاثیر واحد هلیو ترمال در این آزمایش (جدول ۱۴) در مقایسه با گزارش ماجی و همکاران (۲۰۱۴)، پایین تر بود. که علت آن را می‌توان به مواجه شدن گیاه با شرایط اقلیمی نامساعد از قبیل پایین بودن دما در مرحله رشد جوانه‌ها و بالا بودن دما در مرحله حجیم شدن غده‌ها (به‌خصوص از اواسط اردیبهشت‌ماه) که منجر به دریافت واحد حرارتی زیاده و غیرموثر در این پژوهش شده است، نسبت داد. پایین بودن کارایی کارایی تاثیر دما به دلیل بالا بودن دما در مرحله حجیم شدن غده‌ها توسط ورتینگتون و هاتچینسون در منطقه است. (Worthington and Hutchinson, 2005)

شدن گیاه فراهم گردید، به همین دلیل فاصله زمانی بین کاشت غده و سبز شدن گیاه در رقم ساوالان در این تاریخ کاشت در مقایسه با سایر تاریخ کاشت‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۸). از طرف دیگر، بررسی آمار هواشناسی نشان داد که در تاریخ کاشت اول بهمن گیاهان در رقم ساوالان در دو مرحله فنولوژیکی دیگر یعنی رشد رویشی و غده‌زایی نیز با دمای مطلوبی (میانگین دمای دوساله هوا در مرحله رشد رویشی و غده زایی به‌ترتیب ۱۵/۸ و ۱۷/۸ سانتی‌گراد) مواجه شدند (Levy and Veilleux, 2007). علاوه بر این موارد، گیاهان در مرحله حجیم شدن غده با بیماری لکه مویی مواجه شدند و علی‌رغم مبارزه با این بیماری به گیاهان در تاریخ کاشت اول بهمن ماه، به دلیل جوان بودن، نسبت به گیاهان در سه تاریخ کاشت دیگر، خسارت کمتری وارد شد. مجموع این عوامل سبب گردید که رقم ساوالان در تاریخ کاشت اول بهمن ماه بیشترین عملکرد را تولید نماید (جدول ۱۶). اگرچه در این آزمایش حداکثر عملکرد به رقم ساوالان در تاریخ کاشت اول بهمن اختصاص یافت ولی بایستی توجه نمود که عملکرد این تیمار در مقایسه با کشت بهاره این محصول در مناطق معتدل کشور به مقدار قابل توجهی پایین تر بود (Hassanpanah et al., 2009; Parvizi et al., 2011) که تأییدکننده گزارش لامبرت و همکاران (Lambert et al., 2006)

جدول ۱۴- مقایسه میانگین‌های عملکرد، کارایی تاثیر دما و کارایی تاثیر واحد هلیوترمال در تاریخ کاشت‌های مورد مطالعه

Table 14- Means comparison of yield, heat use efficiency ($\text{kg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C day}^{-1}$) and helio thermal units use efficiency ($\text{kg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C day}^{-1} \text{ hr}^{-1}$) in studied planting date

Planting date	تاریخ کاشت	عملکرد Yield (t.ha^{-1})	کارایی تاثیر دما Heat use efficiency ($\text{kg.ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C day}^{-1}$)	کارایی تاثیر واحد هلیوترمال Helio thermal units use efficiency ($\text{kg.ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C day}^{-1} \text{ hr}^{-1}$)
21 December	اول دی	16.77a	10.83b	1.55a
31 December	بازده دی	16.33a	10.98b	1.58a
10 January	بیست و یک دی	16.01a	10.36b	1.46a
20 January	اول بهمن	17.78a	11.87a	1.66a

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level.

جدول ۱۵- مقایسه میانگین‌های عملکرد، کارایی تاثیر دما و کارایی تاثیر واحد هلیو ترمال در ارقام مورد مطالعه

Table 15- Means comparison of yield, heat use efficiency and helio thermal units use efficiency in studied cultivars

Cultivar	رقم	عملکرد Yield (t.ha^{-1})	کارایی تاثیر دما Heat use efficiency ($\text{kg.ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C day}^{-1}$)	کارایی تاثیر واحد هلیوترمال Helio thermal units use efficiency ($\text{kg.ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C day}^{-1} \text{ hr}^{-1}$)
Cozima	کوزیما	17.98a	11.83a	1.69a
Savalan	ساوالان	18.31a	12.06a	1.71a
Almera	المر	13.88b	9.12b	1.29b

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% of probability level.

جدول ۱۶- مقایسه میانگین‌های عملکرد، کارایی تأثیر دما و کارایی تأثیر واحد هلیوترمال در اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم
Table 16- Means comparison of yield, heat use efficiency and helio thermal units use efficiency in interaction effect of planting date and cultivar

تاریخ کاشت Planting date	Cultivar	رقم	عملکرد Yield (t ha ⁻¹)	کارایی مصرف حرارت Heat use efficiency (kg.ha ⁻¹ °C day ⁻¹)	کارایی مصرف واحد هلیوترمال Helio thermal units use efficiency (kg.ha ⁻¹ °C day ⁻¹ hr ⁻¹)
اول دی 21 December	Cozima	کوزیما	17.31bcd	11.19bcd	1.60bc
	Savalan	ساوالان	18.03bc	11.67b	1.67b
	Almera	المر	14.98def	9.62cde	1.38cde
یازده دی 31 December	Cozima	کوزیما	18.03bc	12.13b	1.74ab
	Savalan	ساوالان	17.11bcd	11.50bc	1.66b
	Almera	المر	13.85efg	9.30de	1.34cde
بیست و یک دی 10 January	Cozima	کوزیما	18.66b	12.08b	1.71b
	Savalan	ساوالان	16.55b-e	10.70bcd	1.51bcd
	Almera	المر	12.83fg	8.31.e	1.17e
اول بهمن 20 January	Cozima	کوزیما	17.92bc	11.95b	1.70b
	Savalan	ساوالان	21.56a	14.39a	1.99a
	Almera	المر	13.87efg	9.27de	1.28de

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% of probability level.

نتیجه‌گیری

رشد جوانه‌ها، رشد سبزینه‌ای، غده‌زایی و حجیم شدن غده می‌باشد. مواجه شدن گیاه با شرایط اقلیمی نامساعد از قبیل پایین بودن دما در مرحله رشد جوانه‌ها و بالا رفتن دما از اواسط مرحله حجیم شدن غده‌ها که منجر به دریافت واحد حرارتی زیاد و غیر موثر خواهد شد، دلیل پایین بودن کارایی تأثیر دما و کارایی تأثیر واحد هلیوترمال در کشت زمستانه سیب‌زمینی در استان خوزستان است. رقم ساوالان در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه در مراحل فنولوژیک رشد و توسعه جوانه‌ها، رشد سبزینه‌ای و غده‌زایی با شرایط اقلیمی نسبتاً مساعد مواجه گردید. علاوه بر این در هنگام شیوع بیماری لکه مویی، علی‌رغم مبارزه با این بیماری، گیاهان این تیمار در مقایسه با گیاهان رقم ساوالان در سه تاریخ کاشت دیگر جوان‌تر بودند و در نتیجه خسارت کمتری به رقم ساوالان در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه وارد گردید. مجموع این عوامل سبب شد تا عملکرد رقم ساوالان در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه افزایش معنی‌داری نسبت به سه تاریخ کاشت مورد مطالعه دیگر نشان دهد. بر اساس نتایج این پژوهش برای کشت زمستانه سیب‌زمینی در خوزستان کاشت رقم ساوالان در اوایل بهمن‌ماه توصیه می‌شود. تاریخ کاشت مناسب برای ارقام کوزیما و المر سرتاسر دی‌ماه می‌باشد.

نتایج این آزمایش نشان داد که به علت پایین بودن دما در کشت زمستانه سیب‌زمینی در خوزستان مرحله رشد جوانه‌ها طولانی می‌باشد. در مرحله رشد جوانه‌ها بیشترین درجه روز رشد و واحد هلیوترمال به تاریخ کاشت اول دی‌ماه مربوط بود و با به تعویق افتادن تاریخ کاشت، این شاخص‌ها کاهش یافت. قرار گرفتن زود هنگام گیاهان در شرایط مناسب برای غده‌زایی، روز کوتاه و شب خنک، علت کوتاه بودن مرحله رشد سبزینه‌ای در این پژوهش بود. اگرچه مدت زمان مرحله رشد سبزینه‌ای و غده‌زایی در این تحقیق برابر بود ولی به دلیل افزایش دما و تعداد ساعات آفتابی در مرحله غده‌زایی در مقایسه با مرحله رشد سبزینه‌ای، دو شاخص درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در این مرحله در مقایسه با مرحله رشد سبزینه‌ای افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان دادند. در کلیه تاریخ کاشت‌های مورد مطالعه به دلیل افزایش دما و طول مدت ساعات آفتابی در مرحله حجیم شدن غده، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در این مرحله از سایر مراحل بیشتر بود. به علت بالا رفتن دما از اواسط اردیبهشت‌ماه، برداشت سیب‌زمینی قبل از مرحله بلوغ و رسیدن گیاه انجام می‌شود، بنابراین مراحل فنولوژیک سیب‌زمینی در خوزستان فقط شامل چهار مرحله

References

- Amrawat, T., Solanki, N. S., Sharma, S. K., Jajoria, D. K., and Dotaniya, M. L. 2013. Phenology growth and yield of wheat relation to agro-meteorological indices under different sowing date. African Journal of Agricultural Research 8 (49): 6366-6374.
- Anonymus. 2019. Agricultural statistics, first volume-horticultural and field crop, 2015-16. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Programing and Economic Deputy, Statistics and Information Technology Office. pp. 38. (in Persian).

3. Birch, P. R., Bryan, G., Fenton, B., Gilroy, E. M., Hein, I., Jones, J. T., Prashar, A., Taylor, M. A., Torrance, L., and Toth, I. K. 2012. Crops that feed the world 8: Potato: are the trends of increased global production sustainable? *Food Security* 4 (4): 477-508.
4. Brown, P. H. 2007. The Canon of Potato Science: 37. Stolonization, tuber induction and tuberization. *Potato Research* 50: 363-365.
5. Darabi, A. 2007. Effects of planting density and harvesting date on yield and yield components of some potato cultivars in Behbahan. *Seed and Plant* 23 (2): 233-244. (in Persian with English abstract).
6. Darabi, A. 2017. Study on the agro-meteorological indices at different phenological stages and growth analysis of new potato genotypes. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology* 18 (3): 271-286. (in Persian with English abstract).
7. Darabi, A. 2019. The investigation of planting season effect on yield and phenology of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars using thermal indices. *Journal of Crop Production and Processing* 9 (1): 65-77. (in Persian with English abstract).
8. Darabi, A., and Eftekhari, S. A. 2014. Investigation the phenology stages and some growth indices of three potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. *The plant production Agronomy, Breeding and Horticulture (Scientific Journal of Agriculture)* 37 (2): 51-67. (in Persian with English abstract).
9. Darabi, A., Omidvari, Sh., Shafiezargar, A. R., Rafie, M. R., and Javadzadeh, M. 2018. Impact of integrated management of nitrogen fertilizers on yield and nutritional quality of potato. *Journal of Plant Nutrition* 41 (19): 2482-2494.
10. Devi, S., Singh, M., and Aggarwal, R. K. 2019. Thermal requirements and heat use efficiency of pea cultivars under varying environments. *Current World Environment* 14 (3): 376-382.
11. Ewing, E. E., and Struik, P. C. 1992. Tuber formation in potato: induction, initiation and growth. *Horticultural Reviews* 14: 89-98.
12. Friedman, M. 1997. Chemistry, biochemistry and dietary role of potato polyphenols. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45 (5): 1523-1540.
13. Grijesh, G. K., Kumara Swamy, A. S., Sridhara, S., Dinish Kumar, M., Vageesh, T. S., and Nataraju, S. P. 2011. Heat use efficiency and helio thermal units of maize genotypes as influenced by date of sowing under Southern transitional zone of Karanatak state. *International Journal of Science and Nature* 2 (3): 529-533.
14. Hassanpanah, D., Hossienzaded, A. A., and Allahyari, N. 2009. Evaluation of planting date effect on Savalan and Agria potato cultivars in Ardabil region. *Journal of Food Agriculture and Environment* 27 (3 and 4): 525- 528.
15. Jones, J. W., Hogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchlore, W. D., Haunt, L. A., Wilkens, P. W., Singh, U., Gijman, A., and Ritchie, J. T. 2003. The DSSAT cropping system Model. *European Journal of Agronomy* 18: 235-265.
16. Kazemi, M., Hassanabadi, H., and Tavakoli, H. 2011. Potato production management. *Nashr-e-Amozesh and Tarvij Keshavarzi*. Tehran. (in Persian).
17. KleinKopf, G. E., Brandt, T. L., and Olsen, N. 2003. Physiology of tuber bulking. In: *Proceedings of Idaho Potato Conference*. Idaho, ID, 23-January. 4 p.
18. Kolasa, K. 1993. The potato and human nutrition. *American Potato Journal* 70 (5): 375-384.
19. Lambert, E. D. S., Pinoto, C. A. B. P., and Meneze, C. B. D. 2006. Potato improvement for tropical conditions: I. Analysis of stability. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 6: 129-135.
20. Levy, D., and Veilleux, R. E. 2007. Adaptation of potato to high temperature and salinity-a review. *American Journal of Potato Research* 84 (6): 486-506.
21. Loyla Rodríguez P., Danny Sanjuanelo C., Carlos Eduardo Núñez L., and Patricia Moreno-Fonseca, L. 2016. Growth and phenology of three Andean potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) under water stress. *Agronomía Colombiana* 34 (2): 141-154.
22. Maji, S., Bhowmick, M., Chakraborty, P., Jena, S., Dutta, S. K., Nath, R., Bandyopahyay, P., and Chakraborty, P. K. 2014. Impact of agro-meteorological on growth and productivity of potato (*Solanum tuberosum* L.) in Eastern India. *Journal of Crop and Weed* 10 (2): 189-1193.
23. Malakouti, M. J., and Tehrani, M. M. 1999. The Role of micronutrients in increasing yield and quality of agricultural crops. *Tarbiat Modarres University Publication*. Tehran. (in Persain).
24. Mihovilovich, E., Carli, C., de Mendiburu, F., Hualla, V., and Bonierbale, M. 2009. Protocol tuber bulking maturity assessment of elite and advanced potato clones. *International Potato Center*. 18 pp.
25. Mote, B. M., Kumar, M., and Ban. Y. C. 2015. Agro-meteorological indices of rice cultivars under different environmental at Navsari (Gujrat), India. *Plant Archives* 15 (2): 913-917.
26. O'brien, P. J., Allen, E. J., and Firman, D. M. 1998. A review of some studies into tuber initiation in potato (*Solanum tuberosum* L.) crops. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 130: 251-270.
27. Parvizi, K., Souri, J., and Mahmoodi, R. 2011. Evaluation of cultivation date on yield and amount of tuber disorders of potato cultivars in Hamadan province. *Journal of Horticultural Science* 25 (1): 82-93. (in Persian with English abstract).

28. Rao, V. U. M., Singh, D., and Singh, R. 1999. Heat use efficiency of winter crop in Haryana. *Journal of Agrometeorology* 1 (2): 143-148.
29. Sharma, K. D., Mishra, S. R., Singh, A. K., Mishra A. N., Singh, G., Kumar, V., and Jaiswal, P. 2019. Studies on thermal use efficiency, helio thermal unit and photo thermal unit of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars under varying crop growing environment. *International Journal Chemical Studies* 7 (4): 1967-1969.
30. Singh, M. P., Lallu, K. R., and Sign, N. B. 2014. Thermal requirement of Indian mustard (*Brassica juncea*) at different phonological stages under late sown condition. *Indian Journal of Plant Physiology* 19 (3): 238-243.
31. Sreeniavas, G., Devender Redady, M., and Raji Redady, D. 2010. Agro-meteorological indices in relation to phenology of aerobic rice. *Journal of Agrometeorological* 12 (2): 241-244.
32. Van Dam, J., Kooman P. L., and Strik, P. C. 2008. Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Research* 39 (1): 51-62.
33. Waglay, A., Karboune, S., and Alli, I. 2014. Potato protein isolates: recovery and characterization of their properties. *Food Chemistry* 142: 373-382
34. Worthington, C. M., and Hutchinson, C. M. 2005. Accumulated growing degree days as a model to determine key developmental stages and evaluate yield and quality of potato in Northeast Florida. In: *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 18: 98-101.



Effect of Planting Date on Agro-Meteorological Indices at Different Phenological Stages of Potato Cultivars

A. Darabi^{1*}, Sh. Omidvari²

Received: 06-04-2020

Accepted: 26-09-2020

Introduction

Growing degree days (GDD) and helio thermal units (HTU) are the temperature based agro-meteorological indices that play important role in predicting crop growth and yield. Growing degree days is based on the concept that the actual time to achieve a phenological stage is linearly related to base temperature (T_b) and optimum temperature. The efficiency of conversion of heat and radiation energy to dry matter depends on genetics factors and planting date. Heat summation units (HSU), that mainly called growing degree days, and its derivations such as helio thermal units are the most necessary to determine phenological stages and the suitable planting dates for cultivars of different crop. Growth of potato can be divided into five stages: sprout development, vegetative growth, tuber initiation, tuber bulking and maturation. There is little information concerning of growing degree days and helio thermal units for potato in the sub-tropics. This experiment was undertaken to define growing degree days and helio thermal units at phenological stages and effect on yield for potato cultivars established at different planting dates.

Materials and Methods

The research was conducted in the research farm of Behbahan Agriculture Research Station for two years (2015-2017). The experiment was arranged as a split-plot in a randomized complete block design with three replicates. Planting dates from 21 December to 20 January at a 10-day interval were the main plot and the Cozima, Savalan, and Elmera cultivars were considered as sub-plot. When the diameter of the swollen tip of stolon was twice as long as stolon diameter, considered as tuber initiation. Tubers were harvested in mid May. Growing degree days and helio thermal units were calculated at all phenological stages and after harvest thermal use efficiency and helio thermal unit use efficiency. Results from experiments of 2 years were combined for analysis. Data were statistically analyzed by MSTAT-C. Significant differences among treatments means were determined at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple test range.

Results and Discussion

The longest of the sprout development stage was recorded for 21 Dec. planting date. With the postponement of planting date, due to increase temperature, duration of sprout development significantly shortened, and growing degree days and helio thermal unit decreased. The duration of vegetative stage was 15 days. Early exposure of plants to favorable climatic conditions for tuber initiation, short day and cool night temperature, caused the duration of vegetative growth, growing degree days and helio thermal unit were low. Tuber initiation is thought complete within 2-6 weeks of that event, but since the majority of the tubers are formed over a period of 15 days, duration of this stage is usually considered about 15 days. Although the duration of tuber initiation was equal in all planting dates, however there was significant difference between the amount of growing degree days and helio thermal unit in some treatment dates due to unsimultaneous timing of tuber initiation. The duration of tuber bulking, depend on planting date and cultivar, ranged from 38 to 44 percent days. Growing degree days and helio thermal units at tuber bulking stage were higher than previous stages, such as depend on planting date 61.52 to 66.27 percent of total growing degree days belong to tuber bulking stage. Maturation stage was not observed. There were no significant differences for yield and helio thermal unit use efficiency among all planting dates, however the highest thermal use efficiency was recorded in 20 Jan. planting date. The highest yield, thermal use efficiency and helio thermal units use efficiency belong to Savalan cultivar. Climatic conditions at sprout development, vegetative growth and tuber initiation stages were relatively more favorable for Savalan cultivar in 20 Jan. than other planting dates. Moreover, plants of Savalan cultivar in 20 Jan. planting date, during incidence of late blight in effect of less age were more tolerant as compares with other planting dates. Therefore, the yield of Savalan cultivar in 20 Jan. was significantly higher than other planting dates.

Conclusions

The duration of sprout development and vegetative stages are long and short respectively. In this experiment low temperature during sprout development and high temperature from mid tuber bulking stages caused the less tuber yield than temperate regions of the country. According to results, planting of Savalan cultivar in mid

1- Associate Professor, Seed and Plant Research Improvement Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahwaz, Iran

2- Assistant Professor, Water and Soil Research Institute, AREEO, Karaj, Iran

(*- Corresponding Author Email: darabi6872@yahoo.com)

January is recommended for winter potato production in Khuzestan province. Planting from mid December to mid January is recommended for Cozima and Elmera cultivars.

Keywords: Growth degree days, Helio thermal units, Sprout development, Tuber bulking, Yield



مقاله علمی-پژوهشی

تأثیر کشت برنج (*Oriza sativa* L.) توأم با اردک بر عملکرد، بهره‌وری آب و کنترل علف‌های هرز در نظام‌های مختلف کشت

کامران منصورقناعتی^۱، غلامرضا محسن‌آبادی^{۲*}، محمدحسن بیگلویی^۳، محمدباقر فرهنگی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۶

چکیده

تولید برنج توأم با پرورش اردک یک فناوری کشاورزی محسوب شده که می‌تواند سبب افزایش تولید برنج، کیفیت دانه و پایداری زیست‌محیطی در شالیزارها شود. بدین منظور آزمایشی برای بررسی تأثیر کاربرد توأم اردک در نظام‌های مختلف کشت برنج بر عملکرد محصول، بهره‌وری آب و کنترل فراوانی علف‌های هرز غالب شالیزارهای مورد به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ در مزرعه پژوهشی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان اجرا شد. تیمارها شامل سه نظام مختلف کشت (متداول، بهبودیافته و SRI) به‌عنوان عامل اصلی و ترکیب دو سطح اردک (شاهد و ۷۵۰ قطعه در هکتار) و سه سطح کنترل علف‌هرز (شاهد، یک و دو بار وجین) به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج این تحقیق نشان داد که فراوانی و وزن خشک علف‌های هرز اویارسلام، سوروف، بندواش و تیروکمان آبی در تمام سطوح تیماری معنی‌دار بود. در کلیه نظام‌های کشت، کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار همراه با یک‌بار و دوبار وجین موجب کنترل کامل اویارسلام، سوروف، بندواش و تیروکمان آبی نسبت به شرایط عدم کاربرد اردک گردید. کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار نسبت به شرایط عدم کاربرد اردک در نظام‌های کشت متداول، بهبودیافته و SRI به‌ترتیب موجب افزایش ۲۱/۶۱، ۲۰/۸۰ و ۳۰/۸۴ درصد عملکرد شلتوک و نیز افزایش ۳۴/۸۰، ۳۳/۰۱ و ۳۸/۶۹ درصد بهره‌وری آب شد، در حالی که تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف کنترل علف‌هرز در کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار از نظر بهره‌وری آب دیده نشد. به‌طور کلی اردک با کنترل مناسب علف‌های هرز در مزرعه با تحرک و منقار زدن خود (موجب گل‌آلود شدن آب) و همچنین با اضافه کردن فضولات به شالیزار موجب افزایش رشد و نمو و بهبود شرایط رقابتی برنج شده و در نهایت باعث افزایش عملکرد برنج گردید. با توجه به نتایج این مطالعه، انجام یک بار وجین دستی اولیه جهت کنترل بهتر علف‌های هرز غالب در نظام کشت برنج SRI همراه با پرورش ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار می‌تواند برای بهبود نظام تولید برنج و افزایش بهره‌وری آب در شالیزارهای گیلان مناسب باشد.

واژه‌های کلیدی: برنج- اردک، رقم هاشمی، نظام کشت SRI، وجین

مقدمه

عمق غرقابی و درجه کنترل رطوبت (Vergara et al., 1965) و کاربرد اردک به‌همراه کنترل علف‌های هرز به‌منظور کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از علف‌کش‌ها و توسعه کشاورزی سازگار با محیط‌زیست است (Lu et al., 2005).

سطح زیر کشت برنج (*Oryza sativa* L.) در ایران، ۵۸۰۰۰۰ هکتار و عملکرد آن ۴۷۴۵ کیلوگرم شلتوک در هکتار گزارش شده، در حالی که متوسط عملکرد برنج در دنیا ۴۶۷۸/۹ کیلوگرم شلتوک در هکتار بوده است (FAO, 2018). قطب تولید برنج ایران استان‌های گیلان، مازندران، گلستان، خوزستان و فارس است. سطح زیر کشت برنج در استان گیلان ۱۹۷۰۷۸ هکتار و عملکرد آن ۳۷۱۸ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Ministry of Agriculture, 2018).

مهم‌ترین نظام‌های کشت: نظام‌های نشاکاری (روش سنتی غرقاب)، کشت مستقیم غرقابی، کشت مستقیم هوازی و نظام آبیاری متناوب عنوان کرده‌اند. به هر حال براساس نوع رژیم آبیاری، سیستم‌های کشت برنج را می‌توان به سه دسته شامل سیستم کشت غرقابی (سنتی)، سیستم کشت هوازی و سیستم کشت آبیاری متناوب

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت جهان که مطابق پیش‌بینی‌ها در پایان سال ۲۰۵۰ به حدود ۹ میلیارد نفر خواهد رسید، برای تغذیه این جمعیت عظیم، بالا بردن میزان تولید برنج در واحد سطح یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است (Dass et al., 2016). یکی از راهکارهای اصلی در کشاورزی پایدار، استفاده از نظام‌های کشت بهینه در اکوسیستم‌های زراعی با هدف افزایش دامنه سازگاری برنج با

۱- دانشجوی دکترای زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۳- دانشیار گروه آبیاری، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۴- استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: mohsenabadi@guilan.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v18i3.86497

تقسیم‌بندی کرد (Rehman et al., 2012). باید توجه داشت که نظام‌های کشت سنتی و متداول از یک سو، با مشکلاتی نظیر؛ غرقاب نگه داشتن دائم شالیزار، افزایش فرسایش خاک، افزایش مقاومت آفات و عوامل بیماری‌زا و علف‌های هرز به سموم شیمیایی، افزایش آلودگی محیط‌زیست با مصرف بی‌رویه سموم و کودهای شیمیایی، کاهش تنوع زیستی و به خطر افتادن سلامت انسان مواجه بوده (Farooq et al., 2009) و از سویی دیگر، نیازمند نیروی کارگری زیاد، آب فراوان و انرژی بالا هستند که این موضوع ضرورت توجه به روش‌ها و نظام‌های جدید کشت را بیشتر کرده است (Singh et al., 2009). تغییر عمده ایجاد شده در نظام‌های جدید کشت برنج، تغییر در رژیم‌های آبیاری و مدیریت آن است، به‌نحوی که به‌جای غرقاب کردن دائم شالیزار، از روش‌های آبیاری متناوب استفاده شده و در روش نظام افزایش تولید برنج^۱ (SRI) و کشت هوازی دیده می‌شود. از سوی دیگر تغییر اقلیم، تولیدکنندگان برنج را مجبور کرده است که از نظام کشت نشاکاری غرقابی به سمت نظام‌هایی با مزیت صرفه‌جویی در مصرف آب، نظیر آبیاری متناوب و کشت هوازی و خشکه‌کاری حرکت کنند (Rehman et al., 2012). در آزمایشی که به‌منظور مقایسه ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک برنج در دو نظام کشت متداول و SRI در هندوستان انجام شد، گزارش شد که عملکرد در نظام کشت SRI در مقایسه با نظام متداول ۴۸ درصد بیشتر بود. به اعتقاد این پژوهش‌گران علت بیشتر بودن عملکرد در نظام کشت SRI مربوط به بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک برنج در این نظام بود (Thakur et al., 2011). بررسی نتایج تحقیقات نشان داد که کاربرد روش‌های مؤثر در بهره‌وری آب، از جمله؛ نظام کشت SRI با توجه به بهبود مدیریت آبیاری در مزرعه از نظر جلوگیری از آب زهکشی و کاهش نفوذپذیری، کاهش پی‌آمدهای کشت متداول و افزایش حاصلخیزی خاک (وجود اردک) می‌توانند به میزان قابل‌توجهی بهره‌وری آب را افزایش دهند (Monaco and Sali, 2018). متوسط دامنه بهره‌وری آب برای برنج بین ۰/۷۴ تا ۱/۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد شده است (Ahmad et al., 2014). پژوهشگران در تحقیقات خود گزارش دادند که بهره‌وری آب در کشت توأم ماهی- ذرت و ماهی- سبزی، ۲/۱۳ و ۸/۴۶ کیلوگرم بر متر مکعب است، اگرچه بهره‌وری آب در کشت توأم برنج- ماهی مستند نیست اما تصور بر این است که بهره‌وری آب را حداقل ۱۰ درصد افزایش دهد (Abdul-Rahman et al., 2011). از سویی دیگر، بهره‌وری آب در کشت‌های توأم به نوع نظام‌های کشت وابسته بوده و از این رو، بهره‌وری آب در کشت توأم برنج- ماهی بین ۰/۵ تا ۱ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد شده است (Molden et al., 2010).

در حال حاضر یکی از مؤثرترین روش‌های کنترل علف‌های هرز در برنج، وجین دستی است (Wei et al., 2019). وجین دستی یکی از مهم‌ترین اجزای مدیریت علف‌های هرز بوده و با توجه به این‌که دست‌کاری خاک در هنگام اجرای شخم، امکان جوانه‌زنی گونه‌های زیادی از علف هرز را فراهم می‌کند، از این رو لزوم وجین مکانیکی یا وجین دستی برای از بین بردن گیاهچه‌های باقی‌مانده را آشکار می‌سازد. اما در بسیاری از کشورها انجام وجین دستی هزینه‌بر بوده و دسترسی به نیروی کار برای انجام آن مشکل است (Lamour et al., 2007). در نظام کشت برنج و پرورش اردک، برنج نقش اصلی را دارد و اردک یک جزء بسیار مهم است (Long et al., 2013). بررسی‌ها نشان داد که استفاده از اردک به‌عنوان عامل بیولوژیک در بهبود شرایط اکولوژیک رشد برنج، افزون بر افزایش تنوع زیستی، فعالیت موجودات زنده خاک، کارایی انرژی و رشد رویشی برنج، باعث بهبود عملکرد برنج نیز می‌گردد (Lopes et al., 2011). اردک بسیاری از علف‌های هرز کوچک و در حال رشد را که در زیر سطح آب قرار دارند به همراه بذرها در خاک، می‌خورد و با گل‌آلود نمودن آب، مانع از رسیدن نور کافی به سطح خاک شالیزار شده و در نتیجه از جوانه‌زنی و رشد مجدد علف‌های هرز در این مزارع به‌طور چشم‌گیری جلوگیری می‌کند (Flohre et al., 2011). در یک پژوهش تیمار تعداد اردک تأثیر بسیار معنی‌داری بر تراکم سوروف (*Echinochloa crus-galli*) و بندواش (*Paspalum distichum*) در شالیزار داشته است و کم‌ترین میزان تراکم علف‌هرز سوروف در تیمار ۸۰۰ اردک در هکتار و در ارقام طارم و شیروودی (بدون علف هرز سوروف) به‌دست آمد. همچنین تراکم ۸۰۰ اردک در هکتار نسبت به ۴۰۰ اردک در هکتار در رقم بومی طارم نسبت به ارقام پاکوتاه و اصلاح شده مورد ارزیابی در این آزمایش، جمعیت علف‌هرز بندواش را بیشتر تحت‌تأثیر قرار داده بود (Mohamadi et al., 2012). نظام برنج و اردک اثر کنترلی بهتری بر سل‌واش (*Monochoria vaginalis*) داشت (Deng and Pen, 2008). در مطالعه‌ای ثابت شد که تأثیرات کنترل نظام برنج و اردک بر سل‌واش می‌تواند ۱۰۰ درصد باشد، در حالی‌که تأثیرات کنترل در تیر کمان آبی (*Sagittaria sagittifolia*) و جگن‌ها (*Carex*) به‌ترتیب ۶۲/۱۷ درصد و ۴۱/۹۷ درصد است (Yu et al., 2005). در همین راستا، بررسی تأثیر کاربرد اردک در کنترل علف‌های هرز در نظام‌های مختلف کشت شالیزاری به‌منظور افزایش عملکرد و بهره‌وری آب هدف تحقیق حاضر بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد اردک در کنترل علف‌های هرز در نظام‌های مختلف کشت شالیزاری به‌منظور افزایش عملکرد و بهره‌وری آب، پژوهشی به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تکرار طی دو سال زراعی

عملیات گل‌خراپی با تیلر مطابق عرف کشاورزان منطقه انجام شد. جهت تعیین مقدار کود مصرفی، قبل اجرای آزمایش ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه با نمونه‌برداری از عمق صفر الی ۳۰ سانتی‌متری تعیین شد (جدول ۱). خصوصیات پیاده‌سازی نظام‌های مختلف کشت در جدول ۲ آمده است. در تمام کرت‌های مورد آزمایش، ۸۰ درصد کود توصیه شده و در نظام SRI پس از کسر مقادیر کود گاوی (نیتروژن: ۱۶؛ فسفر: ۶۴ و پتاسیم: ۴۰ کیلوگرم در هکتار) مصرف شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کود دامی مورد استفاده در جدول ۳ آمده است.

۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان با موقعیت عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۲۶ متر از سطح دریا اجرا شد. تیمارها شامل سه نظام مختلف کشت (متداول، بهبودیافته و SRI) به‌عنوان عامل اصلی و ترکیب دو سطح اردک (شاهد و ۷۵۰ قطعه در هکتار) و سه سطح کنترل علف‌هرز (شاهد، یک و دو بار وجین در مرحله پنجه‌زنی) به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان عامل فرعی بودند. جهت اجرای آزمایش، ابتدا شخم زمین زراعی تا عمق ۲۰ الی ۲۵ سانتی‌متر با دستگاه روتواتور و

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of soil used in the farm experiments

کلسیم	منیزیم	فسفر	پتاسیم	گوگرد	مواد مغذی کل	نیتروژن معدنی	نیتروژن کل	کربن آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته	بافت خاک
Ca	Mg	P	K	S	T.N.V ⁴	M.N ³	T.N ²	O.C ¹	EC	pH	Texture
		mg.kg ⁻¹				%			ds.m ⁻¹		
10.2	4.3	3.4	169.4	0.12	9.2	35	0.12	2.42	0.465	6.51	Clay

جدول ۲- مقایسه نظام‌های مختلف کشت از نظر پیاده‌سازی

Table 2- Comparison of different planting systems in terms of implementation

خصوصیات نظام‌ها	Properties of Systems	Systems of planting نظام‌های کشت		
		Conventional cultivation	Improved cultivation	SRI
		کشت متداول	کشت بهبودیافته	
بذر مصرفی	US	1.2 kg.m ⁻²	0.12 kg.m ⁻²	0.04 kg.m ⁻²
زمان جوانه‌زنی تا انتقال	T _{GT}	25 DAG	20 DAG	15 DAG
زمان انتقال تا نشاکاری	T _{TT}	>300 min	<100 min	<30 min
تعداد گیاهچه در کپه	NSH	12-15	4-6	1
فاصله کپه	HS	variable intervals	25 cm × 25 cm	25 cm × 25 cm
عمق نشاکاری	PD	>5 cm	3-5 cm	1-2 cm
روش نشاکاری	PM	J method	J method	L method
روش آبیاری	IM	FF1	FF2	AI
کود شیمیایی	CF	80:64:80 NPK kg.ha ⁻¹	80:64:80 NPK kg.ha ⁻¹	16:64:40 NPK kg.ha ⁻¹
زمان کوددهی نیتروژن و پتاسیم	T _{N and KA}	1/3 at 0, 25 DAT and 95 DAG	1/3 at 0, 25 DAT and 95 DAG	1/3 at 0, 25 DAT and 95 DAG
زمان کوددهی فسفر	T _{PA}	7 DBT	7 DBT	7 DBT
کود دامی	MF	-	-	6 ton.ha ⁻¹
زمان کوددهی دامی	T _{MF}	-	-	first plowing

J method: Seedling planting is vertical, root tip is upward and root energy consumption for emergence is much; L method: Seedling planting is horizontal, root tip is along the ground and root energy consumption for emergence is low; IM: Irrigation method; FF1: Full flooding to 15 day before harvesting (3-5 cm water height); FF2: Full flooding to 15 day before harvest (3-5 cm water height), with a one-step drought in tillering until the appearance of capillary cracks; AI: Alternate irrigation, full flooding until 15 day after transplanting (3-5 cm water height), with a multiple-step drought until panicle initiation flooded with a thin layer water 1-2 cm to 15 day before harvest; CF: Chemical fertilizer; N: Nitrogen fertilizer from CH₄N₂O; P: Phosphorus fertilizer from P₂O₅; K: Potassium fertilizer from K₂O; T_{N and KA}: Time of nitrogen and potassium application; T_{PA}: Time of phosphorus application; DAG: Day after germination; DBT: Day before transplanting; 0 DAT: in transplanting time; 25 DAT: Tillering stage; 95 DAT: Milk stage; MF: Manure fertilizer (cow); T_{MF}: Time of manure fertilizer.

روش L: گیاهچه‌ها به‌طور مستقیم در زمین اصلی قرار داده شده، نوک ریشه‌ها در امتداد سطح زمین قرار گرفته و ریشه رو به بالا خم می‌شود؛ روش L: گیاهچه‌ها را به‌طور مستقیم در زمین اصلی نشاکاری نشده، بلکه هر گیاهچه از پهلوی بسیار ملایم و نزدیک به سطح، به‌درون خاک وارد شده و بدین ترتیب ریشه‌ها به‌طور افقی در خاک مرطوب قرار می‌گیرند؛ غرقاب ۱: در تمام طول فصل رشد به صورت غرقاب (۳-۵ سانتی‌متر عمق آب) تا ۱۵ روز قبل از برداشت؛ غرقاب ۲: در تمام طول فصل رشد به‌صورت غرقاب (۳-۵ سانتی‌متر عمق آب) تا ۱۵ روز قبل از برداشت، همراه با یک دوره خشکی تا رسیدن به ترک‌های موئین در زمان حداکثر پنجه‌زنی؛ متناوب: تا ۱۵ روز پس از نشاکاری به‌صورت غرقاب دائم و پس از آن تا زمان گلدهی به‌صورت آبیاری متناوب و پس از گلدهی به میزان یک سانتی‌متر آب تا ۱۵ روز قبل از برداشت.

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کود دامی اعمال شده در آزمایش مزرعه‌ای

Table 3- Physical and chemical properties of manure fertilizer used in farm experiments

کود گاوی	اسیدیته	هدایت الکتریکی	کربن آلی	نیتروژن کل	نیتروژن معدنی	ارزش غذایی کل	گوگرد	پتاسیم	فسفر	منیزیم	کلسیم
Manure	pH	EC ds.m ⁻¹	O.C ¹	T.N ²	M.N ³ %	T.N.V ⁴	S	K	P	Mg	Ca
Cow	7.37	3.6	50.37	1.35	184	28.5	2300	8900	500	40.4	50

حسب رطوبت ۱۴ درصد، عملکرد اندازه‌گیری شد. مقدار آب آبیاری در هر نوبت به‌وسیله کنتور با دقت ۰/۱ لیتر اندازه‌گیری شد. ارتفاع آب در طول دوره رشد گیاه ۲ الی ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Uphoff, 2005). میانگین حجم آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه در تیمارهای مورد نظر (در سطح تیمارهای کنترل علف‌های هرز حجم آب مصرفی یکسان بود) در سال اول و دوم آزمایش در جدول ۴ آمده است.

مجموع میزان بارندگی در طول دوره رشد گیاه در سال اول و دوم آزمایش به‌ترتیب برابر با ۱۶۰/۵ و ۲۵۴/۲۰ میلی‌متر بود و بارندگی در سال اول طی دوره گلدهی حادث نشد و مجموع بارندگی طی دوره گلدهی در سال دوم ۵۳/۶ میلی‌متر بود (ایستگاه هواشناسی کشاورزی، رشت).

طول هر کرت آزمایشی ۴/۵ متر و عرض ۴ متر بود. فاصله بین کرت‌ها و بین تکرارها به‌ترتیب یک و ۲ متر در نظر گرفته شد. خزانه‌گیری در هر سه نظام به‌طور هم‌زمان با استفاده از رقم بومی هاشمی انجام شد. جهت اعمال تیمار اردک، تعداد ۷۵۰ قطعه جوجه اردک در هکتار در نظر گرفته شد. زمان رهاسازی جوجه اردک‌ها در مزرعه، ۲۰ روز پس از انتقال گیاهچه‌ها در شالیزار و در مرحله پنجه‌زنی بود (Long et al., 2013).

در زمان رهاسازی، جوجه اردک‌ها ۲۰ روزه بوده و پس از مدت ۵۰ روز در مرحله ظهور خوشه از مزرعه خارج شدند. برای حفاظت از اردک‌ها و همچنین برای جداسازی بلوک‌ها و کرت‌ها، اطراف شالیزار و کرت‌ها با توری پلاستیکی محصور و از یکدیگر جدا شد. در پایان مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی عملیات برداشت صورت گرفت و بر

جدول ۴- میانگین حجم آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه در تیمارهای مورد نظر در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ (در سطح تیمارهای کنترل علف‌های هرز حجم آب مصرفی یکسان بود).

Table 4- The average volume of water consumed during the growing period of the plant in the intended treatments in 2018 and 2019 (the volume of water consumption was the same at the level of Weed control treatments).

نظام‌های کشت PS	اردک D	کنترل علف‌ه‌ز W	Volume Water (m ³ .ha ⁻¹)	
			حجم آب مصرفی	
			2018 (۱۳۹۷)	2019 (۱۳۹۸)
نظام متداول CC	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	
		Once	یک‌بار وجین	11933.083
		Twice	دو‌بار وجین	11921.111
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha ⁻¹	Control	شاهد	
		Once	یک‌بار وجین	9931.889
		Twice	دو‌بار وجین	9923.519
نظام بهبود یافته IC	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	
		Once	یک‌بار وجین	11538.741
		Twice	دو‌بار وجین	11324.667
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha ⁻¹	Control	شاهد	
		Once	یک‌بار وجین	9770.767
		Twice	دو‌بار وجین	9753.685
SRI	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	
		Once	یک‌بار وجین	8015.970
		Twice	دو‌بار وجین	8002.056
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha ⁻¹	Control	شاهد	
		Once	یک‌بار وجین	7114.515
		Twice	دو‌بار وجین	7102.531

معنی‌دار شد، برای تفسیر بهتر نتایج و برای جلوگیری از مقایسه میانگین‌های طولانی و پیچیده، برش‌دهی فیزیکی برای اثرات دو و سه‌گانه انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد و بهره‌وری آب بر پایه شلتوک

میانگین داده‌های عملکرد شلتوک در سطوح تیماری سال، نظام‌های کشت، اردک، کنترل علف‌های هرز، برهمکنش نظام‌های کشت و اردک و برهمکنش اردک و کنترل علف‌های هرز در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۵). بهره‌وری آب از نظر نظام‌های مختلف کشت، اردک، کنترل علف‌هرز، برهمکنش‌های نظام‌های کشت و اردک، و اردک و کنترل علف‌هرز در سطح احتمال یک درصد و از نظر سال و برهمکنش نظام‌های کشت و کنترل علف‌هرز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های عملکرد شلتوک در برهمکنش نظام‌های کشت و اردک نشان داد که کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار نسبت به شرایط عدم کاربرد اردک در نظام‌های کشت متداول، بهبود یافته و SRI به‌ترتیب موجب افزایش ۲۱/۶۱، ۲۰/۸۰ و ۳۰/۸۴ درصدی عملکرد شلتوک شد (جدول ۶).

به‌منظور تعیین بهره‌وری آب بر پایه عملکرد شلتوک، از تقسیم میزان دانه تولید شده از هر کرت به مقدار کل آب مصرفی انشعاب شده از کانال سر مزرعه در طول دوره رشد گیاه برای تولید دانه بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Sepaskhah et al., 2006).

$$WP = PY / VW \quad (1)$$

در این رابطه، WP: بهره‌وری آب، PY: عملکرد شلتوک و VW: حجم آب مصرفی است. در زمان برداشت برنج، جهت تعیین میانگین فراوانی علف‌های هرز از کادر ۰/۲۵ متر مربع (۰/۵ × ۰/۵ متر) استفاده گردید و در هر کرت جمعیت انواع علف‌های هرز شمارش شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌های علف‌هرز تا رسیدن به وزن ثابت در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار گرفت و وزن آن‌ها بر حسب گرم محاسبه شد.

داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ تجزیه شد. قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، تست نرمال بودن داده‌ها انجام گرفته و پس از اطمینان از توزیع نرمال باقی‌مانده‌ها، تجزیه واریانس از طریق مدل خطی عمومی (GLM) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد احتمال استفاده شد. در مواقعی که اثر متقابل دوگانه

جدول ۵- تجزیه واریانس اثرات کشت توأم برنج-اردک در نظام‌های مختلف کشت بر عملکرد، فراوانی علف‌های هرز و بهره‌وری آب در برنج
Table 5- Analysis of variance (mean squares) for the effects of rice-duck cultivation in different planting system on yield, weed abundance and water productivity in Rice

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی d.f	عملکرد شلتوک Paddy yield	بهره‌وری آب Water productivity	تعداد اویارسلام No. UMBERELLA sedge	تعداد سوروف No. Barnyard grass	تعداد بندواش No. Knot weed	تعداد تیر و کمان آبی No. Arrow leaf
سال (Y)	1	922312.88**	0.01*	9532.73**	5053.55**	127.50**	1.06 ^{ns}
Error (Y)	4	73896.00	0.001	114.23	45.63	15.74	0.26
نظام‌های کشت (PS)	2	3145533.57**	0.51**	128350.37**	9895.78**	105.38**	22.67**
Y×PS	2	7349.25 ^{ns}	0.00 ^{ns}	1876.06*	284.53 ^{ns}	1.84 ^{ns}	0.11 ^{ns}
Error (A)	8	420593.50	0.005	161.58	347.66	16.62	0.16
اردک (D)	1	31411752.31**	0.89**	512218.69**	95911.41**	9045.32**	98.98**
PS×D	2	1203303.00**	0.04**	118151.50**	5579.95**	170.21**	8.35**
کنترل علف‌هرز (W)	2	8245936.19**	0.08**	19729.99**	52327.07**	3584.55**	14.47**
PS×W	4	448243.38 ^{ns}	0.008*	1374.95 ^{ns}	4342.17**	243.84**	7.54**
D×W	2	4059524.01**	0.03**	15788.94**	42969.40**	3268.13**	13.79**
PS×D×W	4	520347.69 ^{ns}	0.005 ^{ns}	2602.46**	3803.46**	338.32**	2.73**
Y×D	1	976.79 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	7772.76**	2429.04**	121.84**	2.36*
Y×PS×D	2	4486.30 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	1655.32 ^{ns}	45.73 ^{ns}	2.03 ^{ns}	0.14 ^{ns}
Y×W	2	6013.22 ^{ns}	0.00009 ^{ns}	504.22 ^{ns}	726.08 ^{ns}	43.99*	0.01 ^{ns}
Y×PS×W	4	1180.89 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	25.14 ^{ns}	23.70 ^{ns}	2.80 ^{ns}	0.18 ^{ns}
Y×D×W	2	946.91 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	362.06 ^{ns}	281.76 ^{ns}	40.77*	0.34 ^{ns}
Y×PS×D×W	4	974.00 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	35.24 ^{ns}	128.47 ^{ns}	3.23 ^{ns}	0.11 ^{ns}
Error (B)	60	217236.67	0.002	599.21	280.95	10.02	0.51
CV (%)	-	12.22	12.77	33.23	46.45	33.59	49.60

*, Significant at the 0.05 probability levels. **, Significant at the 0.01 probability levels. ns, not significant

*, معنی‌داری در سطح پنج درصد، **, معنی‌داری در سطح یک درصد، ns، غیر معنی‌دار

جدول ۶- مقایسه میانگین عملکرد شلتوک و بهره‌وری آب در برهمکنش نظام‌های کشت و اردک (برش‌دهی در سطح نظام‌های کشت)
Table 6- Means comparison of the paddy yield and water productivity in interaction of planting system and duck (slice in planting system levels)

نظام‌های کشت Planting systems	اردک Duck	عملکرد شلتوک Paddy Yield (kg.ha ⁻¹)	بهره‌وری آب Water Pproductivity (kg.m ⁻³)
Conventional Cultivation کشت متداول	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	3097.23±196.06 ^b	0.25945±0.016 ^b
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha ⁻¹	3951.05±134.23 ^a	0.39797±0.013 ^a
Improved Cultivation کشت بهبود یافته	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	3355.50±167.27 ^b	0.29078±0.014 ^b
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha ⁻¹	4236.98±87.97 ^a	0.43408±0.009 ^a
SRI	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	3364.46±225.71 ^b	0.41900±0.027 ^b
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha ⁻¹	4864.99±87.69 ^a	0.68341±0.012 ^a

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.
میانگین±خطای استاندارد، ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال پنج درصد از مومن LSD غیر معنی‌دار هستند.

پژوهشگران در بررسی کشت توأم اردک- برنج به این نتیجه رسیدند که در کرت‌های دارای اردک درصد عملکرد شلتوک نسبت به کرت‌های بدون اردک بیشتر بوده است (Liang *et al.* 2014; Sheng *et al.* 2018). فرآیندهای ناشی از حضور اردک در شالیزار؛ اردک با مصرف بذر علف‌های هرز، حشرات و دفع فضولات، عرضه مواد غذایی را برای رشد گیاه فراهم کرده که سبب افزایش فتوسنتز، زیست‌توده و بهبود وضعیت اقلیم خرد می‌گردد (Long *et al.* 2013; Zhang *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2019).

حرکت و نوک زدن اردک سبب بر هم زدن خاک و افزایش اکسیژن (Zhang, 2013)، کاهش هدررفت نیتروژن و فسفر از طریق کاهش دنیتریفیکاسیون و افزایش نیتریفیکاسیون، افزایش تعداد و فعالیت جمعیت میکروبی خاک از جمله باکتری‌های هوازی و بی‌هوازی؛ افزایش تعداد باکتری‌های ازتوباکتر^۱، آزسپریلوم^۲ و فسفوباکتر^۳، افزایش فعالیت قارچ‌های مایکوریزا^۴ و پروتوزوا^۵، افزایش ترشح هورمون‌های گیاهی توسط ریشه برنج، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط میکروارگانیسم‌های خاک (Yang *et al.* 2018; Randriamiharisoa *et al.*, 2007) و تحریک مکانیزم‌های فیزیولوژیک گیاه از طریق افزایش حجم ریشه، افزایش میزان کلروفیل برگ، افزایش فتوسنتز و تجمع ماده خشک، افزایش سرعت نمو فیزیولوژیک و کاهش فیلوکرون، افزایش شاخص سطح برگ، کاهش ضریب استهلاک نوری، افزایش راندمان جذب و متابولیسم عناصر غذایی، افزایش مقدار پروتئین محلول، افزایش مقدار و فعالیت

مقایسه میانگین عملکرد برنج در برهمکنش اردک و کنترل علف‌های هرز نیز نشان داد که در شرایط عدم کاربرد اردک، یک‌بار و دوبار کنترل علف‌هرز به‌ترتیب موجب افزایش ۲۷/۸۸ و ۴۰/۱۲ درصد عملکرد شلتوک شد، در حالی که، در شرایط کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار تفاوت معنی‌داری بین دفعات کنترل علف‌هرز نسبت به شاهد مشاهده نگردید (جدول ۷). بیشترین میزان بهره‌وری آب در سال اول (۰/۴۲۴۹۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب) دیده شد که ۵/۱۰ درصد نسبت به سال دوم افزایش داشت (جدول ۸). با توجه به داده‌های هواشناسی، باید دقت داشت که به‌دلیل وقوع بارندگی در زمان گلدهی در سال دوم، عمل تلقیح و باروری گل‌ها با نقصان مواجه شده و در نتیجه پوکی دانه‌ها افزایش یافت. کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار نسبت به شرایط عدم کاربرد اردک در نظام‌های کشت متداول، بهبود یافته و SRI به‌ترتیب موجب افزایش ۳۴/۸۰، ۳۳/۰۱ و ۳۸/۶۹ درصد بهره‌وری آب شد (جدول ۶). در نظام‌های کشت متداول و بهبود یافته، بین یک‌بار و دو بار کنترل علف‌هرز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و بیشترین مقادیر بهره‌وری آب در دوبار کنترل علف‌های هرز به‌ترتیب (۰/۳۵۸۹۳ و ۰/۳۹۱۸۶ کیلوگرم بر متر مربع) دیده شد. در نظام کشت SRI بیشترین میزان بهره‌وری آب در دوبار کنترل علف‌هرز (۰/۶۳۳۴۷ کیلوگرم بر متر مربع) دیده شد که ۱۶/۱۹ و ۲۲/۷۶ درصد نسبت به یک‌بار کنترل علف‌هرز و شاهد افزایش داشت (جدول ۹). تفاوت معنی‌داری از نظر بهره‌وری آب بین سطوح مختلف کنترل علف‌هرز در کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار دیده نشد، این در حالی است که در شرایط بدون کاربرد اردک، بیشترین میزان بهره‌وری آب در دوبار کنترل علف‌هرز (۰/۴۰۲۰۷ کیلوگرم بر متر مربع) دیده شد که نسبت به یک‌بار کنترل علف‌هرز و شاهد به‌ترتیب ۱۹/۱۳ و ۳۹/۸۰ درصد افزایش داشت (جدول ۷).

- 1- Azotobacter
- 2- Azospirillum
- 3- Phosphobacteria
- 4- Mycorrhizal fungi
- 5- Protozoa

و به‌علت توسعه بیشتر ریشه‌ها و بهبود کارایی فیزیولوژیک گیاه، میزان جذب و کارایی مصرف نیتروژن نیز افزایش می‌یابد (Thakur et al., 2011; Styger et al., 2011). سایر محققین نیز در این زمینه دریافته‌اند که روش آبیاری متناوب حدود ۳۸ درصد مصرف آب آبیاری شالیزار را بدون کاهش عملکرد و سود کشاورزان، کاهش داده است (Roderick et al., 2011). بررسی‌ها نشان داد که با کاهش حدود ۵۰ درصدی در مصرف آب در روش SRI، نه‌تنها کاهش عملکرد شلتوک به‌وجود نیامد بلکه افزایش بهره‌وری آب نیز نسبت به روش‌های کشت متداول و توصیه شده ایجاد کرد (Kumar et al., 2019).

آنزیم نیترات رداکتاز شده (Randriamibarisoa, 2002) و در نهایت این تغییرات، در میزان پروتئین محلول، پرولین و سایر مواد تنظیم‌کننده اسمزی و فعالیت‌های آنزیمی روی می‌دهد (Huang et al., 2012).

نتایج مقایسه دو نظام کشت متداول و SRI بیان‌گر آن بود که بیشترین عملکرد شلتوک و کم‌ترین درصد پوکی در نظام SRI مشاهده گردید و مدیریت آب نیز در این نظام بالاتر از نظام کشت متداول حاصل شد (Nayak and Biswal, 2018). در صورتی که نتایج بررسی نظام کشت SRI نشان داد که، بسیاری از ویژگی‌های فیزیولوژیک برنج از جمله عملکرد شلتوک در این نظام افزایش یافته

جدول ۷- مقایسه میانگین عملکرد شلتوک و بهره‌وری آب در برهمکنش اردک و کنترل علف‌های هرز (برش‌دهی در سطح اردک)

Table 7- Means Comparison of paddy yield and water productivity in duck interaction and weed control (slice in duck level)

اردک Duck	کنترل علف‌هرز Weed	عملکرد شلتوک Paddy yield (kg.ha ⁻¹)	بهره‌وری آب Water productivity (kg.m ⁻³)
بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	2420.03±148.82 ^c	0.24202±0.023 ^c
	Once	3355.69±92.11 ^b	0.32514±0.011 ^b
	Twice	4041.48±107.26 ^a	0.40207±0.026 ^a
۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha ⁻¹	Control	4188.13±120.08 ^a	0.48422±0.028 ^a
	Once	4396.96±122.67 ^a	0.51047±0.032 ^a
	Twice	4467.93±164.92 ^a	0.52078±0.037 ^a

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level. میانگین±خطای استاندارد، ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال پنج درصد از مومن LSD غیر معنی‌دار هستند.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر اصلی سال بر بهره‌وری آب

Table 8- Means comparison of the main effect of year on water productivity

سال Year	بهره‌وری آب Water productivity (kg.m ⁻³)
۱۳۹۶-۹۷	0.424950±0.021 ^a
۱۳۹۷-۹۸	0.403279±0.020 ^b

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

میانگین±خطای استاندارد، ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال پنج درصد از مومن LSD غیر معنی‌دار هستند.

شالیزار در سطح خاک رسوب کرده و موجب مسدود شدن خلل و فرج خاک می‌شود و از نفوذ آب جلوگیری می‌کنند (Hedayatipour et al., 2007).

فراوانی علف‌های هرز غالب منطقه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تعداد علف‌های هرز اوپارسلام، سوروف، بندواش و تیر و کمان آبی تحت تأثیر اثرات ساده نظام‌های کشت، اردک، کنترل علف‌هرز، برهمکنش دوگانه نظام‌های کشت و اردک و برهمکنش سه‌گانه نظام‌های کشت، اردک و کنترل علف‌هرز قرار گرفت، تعداد سوروف، بندواش و تیر و کمان آبی تحت تأثیر برهمکنش دوگانه نظام‌های کشت و کنترل علف‌هرز بود. همچنین، تعداد علف هرز بندواش تحت تأثیر برهمکنش سال و

محققین در مورد کشت مستقیم و نشایی برنج گزارش نمودند که نگهداری مداوم رطوبت خاک در حالت نزدیک به اشیاع باعث کاهش پنج درصدی عملکرد شده، در حالی که درصد آب مصرفی در مقایسه با شرایط غرقابی و سنتی را ۳۵ درصد کاهش داده است (Tabbal et al., 2002). هر چند نفوذ عمقی آب در اراضی شالیزاری به دلیل وجود لایه سخت^۱ خیلی کم است ولی نظام کشت توأم برنج- اردک، به دلیل تحرک اردک و نوک زدن آن، موجب گل آلود شدن آب مزارعه شالیزاری می‌شود (Rao et al. 2017; Mohammadi et al., 2012; Zhang, 2013). ذرات معلق در آب گل آلود کرت‌های

1- Hard pan

شرایط کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار، فراوانی کلیه علف‌های هرز غالب در مزرعه برنج به شدت کاهش یافت (جدول ۶). در کلیه نظام‌های کشت، کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار، یک‌بار و دوبار کنترل علف‌های هرز موجب از بین رفتن کامل اویارسلام، سوروف، بندواش و تیر و کمان آبی نسبت به شرایط عدم کاربرد اردک گردید (جدول ۱۰).

نظام‌های کشت، و اویارسلام، سوروف و بندواش تحت تأثیر برهمکنش سال و اردک (در سطح احتمال یک درصد) بود. تعداد سوروف در ترکیبات تیماری برهمکنش سال و نظام‌های کشت و بندواش در برهمکنش سال و کنترل علف‌های هرز و برهمکنش سال و اردک و کنترل علف‌های هرز اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۵). مقایسه میانگین فراوانی علف‌های هرز برنج در برهمکنش نظام‌های کشت، اردک و کنترل علف‌های هرز نشان داد که در هر سه نظام کشت، در

جدول ۹- مقایسه میانگین بهره‌وری آب در برهمکنش نظام‌های کشت و کنترل علف‌هرز (برش‌دهی در سطح نظام‌های کشت)

Table 9- Means comparison of the water productivity in interaction of planting system and duck (slice in planting system)

نظام‌های کشت Planting systems	کنترل علف‌هرز Weed	بهره‌وری آب Water productivity (kg.m ⁻³)
Conventional cultivation کشت متداول	Control شاهد	0.28046±0.036 ^b
	Once یک‌بار وجین	0.34673±0.016 ^a
	Twice دوبار وجین	0.35893±0.021 ^a
Improved cultivation کشت بهبودیافته	Control شاهد	0.31962±0.031 ^b
	Once یک‌بار وجین	0.37581±0.023 ^a
	Twice دوبار وجین	0.39186±0.017 ^a
SRI	Control شاهد	0.48928±0.050 ^b
	Once یک‌بار وجین	0.53086±0.049 ^b
	Twice دوبار وجین	0.63347±0.030 ^a

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.
میانگین ± خطای استاندارد، ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال پنج درصد از مون LSD غیر معنی‌دار هستند.

مزرعه، ناشی از تحرک اردک، می‌تواند جوانه‌زنی علف‌های هرز و رشد گیاهچه‌های جوان را از طریق جلوگیری از رسیدن نور کافی به سطح شالیزار کنترل کند. از ویژگی‌های خوب انجام وجین دستی، توزیع لکه‌ای آن است که فقط در نقاطی که علف‌هرز به صورت پراکنده وجود دارد اعمال می‌شود.

استفاده از این روش به‌ویژه برای علف‌های هرزی که روی ردیف‌ها رشد کرده‌اند مؤثر است زیرا امکان کنترل آن‌ها توسط عملیات مکانیکی کمتر است. افزون بر این، در طی عملیات وجین نه‌تنها علف‌های هرز مزرعه حذف می‌شوند، بلکه با بهم زدن خاک هوادهی خاک بهتر صورت گرفته و نفوذ هوا به داخل خاک آسان می‌گردد (Thakur et al., 2011). در این میان، اردک به‌عنوان عامل بیولوژیک در مزارع برنج و ارائه مکانیسم‌های موفق در کنترل عوامل زنده خسارت‌زا (آفات و علف‌های)، نظام زراعی را به سمت پایداری در تولید و حفاظت از محیط‌زیست سوق می‌دهد (Li et al., 2019). بنابراین بر گسترش علف‌های هرز به‌طور مستقیم در یک نظام کشاورزی برنج- اردک تأثیر می‌گذارد (Hossain et al., 2004; Zhang et al., 2009). فعالیت اردک‌ها در شالیزار موجب تحریک رشد ریشه‌های برنج می‌شود؛ یک سیستم ریشه‌ای قوی برای تسهیل جذب مواد غذایی توسط ریشه را فراهم می‌کند (Quan et al., 2008).

مقایسه میانگین فراوانی علف‌های هرز برنج، در برهمکنش سال و اردک نشان داد که در هر دو سال زراعی ۹۷ و ۹۸ کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار موجب از بین رفتن کامل علف‌های هرز اویارسلام، سوروف و تیر و کمان آبی گردید (جدول ۱۱). مقایسه میانگین فراوانی علف هرز بندواش در برهمکنش سال، اردک و کنترل علف‌های هرز نیز نشان داد که در هر دو سال زراعی ۹۷ و ۹۸، یک‌بار و دوبار کنترل علف‌هرز در شرایط کاربرد اردک موجب از بین رفتن کامل علف‌هرز بندواش نسبت به شرایط عدم کاربرد اردک گردید (جدول ۱۲). مقایسه میانگین فراوانی علف هرز بندواش در برهمکنش سال، نظام‌های کشت و اردک نیز نشان داد که کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در کلیه نظام‌های کشت طی دو سال زراعی ۹۷ و ۹۸ موجب از بین رفتن کامل علف‌هرز بندواش نسبت به شرایط عدم کاربرد اردک گردید (جدول ۱۳). پژوهشگران نشان دادند که کاربرد اردک تأثیر بسیار معنی‌داری بر فراوانی علف‌های هرز غالب مزارع برنج از جمله؛ اویارسلام، سوروف، بندواش و تیر و کمان آبی داشته و کاربرد اردک همراه با وجین دستی موجب کاهش چشمگیر این گونه علف‌های هرز می‌گردد (Mohammadi et al., 2012; Zhang et al., 2009; Tojo et al., 2004). فعالیت اردک در شالیزار موجب بهبود محیط‌زیست در سطح ریشه، ریزوسفر و افزایش قدرت رقابت برنج نسبت به علف‌های هرز مزارع برنج شده و همچنین گل‌آلود بودن آب

جدول ۱۰- مقایسه میانگین فراوانی علف‌های هرز برنج در برهمکنش نظام‌های کشت، اردک و کنترل علف‌های هرز (برش‌دهی در سطح نظام‌های کشت و اردک)

Table 10- Means comparison of the weed abundance of Rice in interaction of planting system, duck and weed control (slice in planting system and duck levels)

نظام‌های کشت Planting systems	اردک Duck	کنترل علف‌هرز Weed	اویارسلام Umberella sedge (No. m ⁻²)	سوروف Barnyard grass (No. m ⁻²)	بندواش Knot weed (No. m ⁻²)	تیر و کمان آبی Arrow leaf (No. m ⁻²)	
کشت متداول CC	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	111.98±8.45 ^a	202.42±23.15 ^a	47.32±3.25 ^a	0.44±0.27 ^b
		Once	یک‌بار وجین	51.31±7.26 ^b	35.09±6.33 ^b	12.87±1.90 ^b	3.09±0.28 ^a
		Twice	دو بار وجین	27.54±3.45 ^c	9.99±0.74 ^b	0.66±0.29 ^c	0.00±0.00 ^b
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha ⁻¹	Control	شاهد	0.44±0.43 ^a	6.20±1.17 ^a	0.00±0.00 ^a	1.10±0.40 ^a
		Once	یک‌بار وجین	2.44±1.76 ^a	5.31±0.68 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^b
		Twice	دو بار وجین	0.00±0.00 ^a	3.32±0.57 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^b
کشت بهبود یافته IC	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	159.09±17.88 ^a	71.76±8.55 ^a	50.64±3.57 ^a	2.42±0.41 ^{ab}
		Once	یک‌بار وجین	61.53±7.82 ^b	16.64±2.61 ^b	11.98±1.38 ^b	3.54±0.44 ^a
		Twice	دو بار وجین	24.65±3.65 ^c	9.54±2.24 ^b	1.32±0.34 ^c	1.32±0.34 ^b
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha ⁻¹	Control	شاهد	0.44±0.43 ^a	1.54±0.40 ^{ab}	0.00±0.00 ^a	0.22±0.21 ^a
		Once	یک‌بار وجین	2.00±1.99 ^a	1.99±0.95 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
		Twice	دو بار وجین	0.00±0.00 ^a	0.88±0.43 ^b	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
SRI	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	294.20±23.14 ^a	171.31±13.16 ^a	22.87±2.60 ^a	4.43±0.44 ^a
		Once	یک‌بار وجین	278.20±24.43 ^a	60.20±11.22 ^b	13.98±2.03 ^b	3.32±0.30 ^{ab}
		Twice	دو بار وجین	251.76±19.38 ^a	15.98±4.59 ^c	5.54±0.93 ^c	3.09±0.28 ^b
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha ⁻¹	Control	شاهد	14.20±2.77 ^a	23.09±5.49 ^a	2.43±0.80 ^a	3.09±0.28 ^a
		Once	یک‌بار وجین	0.44±0.43 ^b	8.42±1.48 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b
		Twice	دو بار وجین	0.67±0.66 ^b	5.76±1.07 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

میانگین ± خطای استاندارد، ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال پنج درصد از مون LSD غیر معنی‌دار هستند.

جدول ۱۱- مقایسه میانگین فراوانی علف‌های هرز برنج در برهمکنش سال و اردک (برش‌دهی در سطح سال)

Table 11- Means comparison of the weed abundance of Rice in interaction of year and duck (slice in year levels)

سال Year	اردک Duck	اویارسلام Umberella sedge (No. m ⁻²)	سوروف Barnyard grass (No. m ⁻²)	تیر و کمان آبی Arrow leaf (No. m ⁻²)
2017-2018 ۱۳۹۶-۹۷	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	122.15±18.36 ^a	54.30±12.59 ^a	2.65±0.31 ^a
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha ⁻¹	1.38±0.75 ^b	4.18±0.86 ^b	0.44±0.20 ^b
2018-2019 ۱۳۹۷-۹۸	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	157.90±23.45 ^a	77.46±15.22 ^a	2.16±0.30 ^a
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha ⁻¹	3.20±1.20 ^b	8.38±1.90 ^b	0.54±0.21 ^b

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

میانگین ± خطای استاندارد، ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال پنج درصد از مون LSD غیر معنی‌دار هستند.

تغذیه از علف‌های هرز سبب کاهش فراوانی و زیست‌توده آن‌ها و همچنین افزودن مکمل‌های نیتروژن، فسفر و پتاسیم گردید (Thakur et al., 2011; Li et al., 2019). گزارش‌های متعددی نشان از نقش بسیار مهم و مؤثر اردک در کنترل فراوانی علف‌های

در بررسی ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک برنج در دو نظام کشت متداول و SRI در هندوستان گزارش شد که فراوانی علف‌های هرز و میزان عملکرد شلتوک برنج در نظام کشت SRI افزایش داشته، که علت افزایش عملکرد به بهبود ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک برنج در این نظام مرتبط بود، در حالی که اردک با

هرز مزارع برنج به عنوان عامل بیولوژیک دارد (Teng et al., 2016).

جدول ۱۲- مقایسه میانگین فراوانی و وزن خشک علف‌های هرز برنج در برهمکنش سال، اردک و کنترل علف‌های هرز (برش‌دهی در سطح سال و اردک)

Table 12- Means comparison of the weed dry weight and abundance of Rice in interaction of planting system, duck and weed control (slice in year and duck levels)

سال	اردک	کنترل علف‌هرز		بندواش	وزن خشک اویار سلام	وزن خشک تیر و کمان آبی
Year	Duck	Weed		Knot weed (No. m ⁻²)	DW of Umbrella sedge (g.m ⁻²)	DW of Arrow leaf (g.m ⁻²)
2017-2018 ۱۳۹۶-۹۷	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	35.68±4.66 ^a	56.99±8.60 ^a	11.45±2.45 ^a
		Once	یک‌بار وجین	11.53±1.57 ^b	23.71±5.27 ^b	8.93±1.36 ^a
		Twice	دو بار وجین	2.06±0.70 ^c	17.12±5.21 ^b	6.71±1.92 ^a
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha ⁻¹	Control	شاهد	0.74±0.59 ^a	2.05±1.08 ^a	1.16±0.38 ^a
		Once	یک‌بار وجین	0.00±0.00 ^a	0.04±0.04 ^b	0.00±0.00 ^b
		Twice	دو بار وجین	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b
2018-2019 ۱۳۹۷-۹۸	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	44.87±4.89 ^a	70.24±9.84 ^a	9.96±2.63 ^a
		Once	یک‌بار وجین	14.35±1.10 ^b	33.22±6.98 ^b	7.82±1.20 ^a
		Twice	دو بار وجین	2.95±0.96 ^c	21.30±6.25 ^b	2.17±1.10 ^b
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha ⁻¹	Control	شاهد	0.88±0.49 ^a	3.20±1.50 ^a	0.97±0.26 ^a
		Once	یک‌بار وجین	0.00±0.00 ^b	0.37±0.20 ^b	0.00±0.00 ^b
		Twice	دو بار وجین	0.00±0.00 ^b	0.13±0.13 ^b	0.00±0.00 ^b

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level. میانگین ± خطای استاندارد، ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال پنج درصد از مون LSD غیر معنی‌دار هستند.

جدول ۱۳- مقایسه میانگین فراوانی علف‌های هرز برنج در برهمکنش سال، نظام‌های کشت و اردک (برش‌دهی در سطح سال و نظام‌های کشت)

Table 13- Means comparison of the weed abundance of Rice in interaction of year, planting system and duck (slice in year and planting system levels)

سال	نظام‌های کشت	اردک	بندواش	
Year	Planting systems	Duck	Knot weed (No. m ⁻²)	
2017-2018 ۱۳۹۶-۹۷	کشت متداول	Control	بدون اعمال اردک	21.35±5.34 ^a
	Conventional cultivation	750 No.ha ⁻¹	۷۵۰ قطعه در هکتار	0.04±0.04 ^b
	کشت بهبودیافته	Control	بدون اعمال اردک	19.07±4.97 ^a
	Improved cultivation	750 No.ha ⁻¹	۷۵۰ قطعه در هکتار	0.00±0.00 ^b
	SRI	Control	بدون اعمال اردک	57.39±8.62 ^a
		750 No.ha ⁻¹	۷۵۰ قطعه در هکتار	2.05±1.08 ^b
2018-2019 ۱۳۹۷-۹۸	کشت متداول	Control	بدون اعمال اردک	27.56±6.20 ^a
	Conventional cultivation	750 No.ha ⁻¹	۷۵۰ قطعه در هکتار	0.27±0.18 ^b
	کشت بهبودیافته	Control	بدون اعمال اردک	25.10±6.47 ^a
	Improved cultivation	750 No.ha ⁻¹	۷۵۰ قطعه در هکتار	0.27±0.17 ^b
	SRI	Control	بدون اعمال اردک	72.11±9.60 ^a
		750 No.ha ⁻¹	۷۵۰ قطعه در هکتار	3.17±1.51 ^b

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

میانگین ± خطای استاندارد، ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال پنج درصد از مون LSD غیر معنی‌دار هستند.

علف‌هرز، اردک و کنترل علف‌هرز، نظام‌های کشت، اردک و کنترل

علف‌هرز قرار گرفت (جدول ۱۴). همچنین وزن خشک تیر و کمان

آبی تحت‌تأثیر سال و وزن خشک اویار سلام تحت‌تأثیر سال،

برهمکنش‌های سال و اردک و سال و کنترل علف‌هرز در سطح

احتمال یک درصد و وزن خشک سوروف از نظر سال و وزن خشک

وزن خشک علف‌های هرز غالب

وزن خشک علف‌های هرز اویار سلام، سوروف، بندواش و

تیروکمان آبی، همچنین وزن خشک کل علف‌های هرز موجود در

مزرعه تحت‌تأثیر تیمارهای نظام‌های کشت، اردک، کنترل علف‌هرز،

برهمکنش نظام‌های کشت و اردک، نظام‌های کشت و کنترل

از بین رفتن کامل اویارسلام، سوروف، بندواش و تیر و کمان آبی و وزن خشک کل علف‌های هرز نسبت به شرایط عدم کاربرد اردک گردید (جدول ۱۵). مقایسه میانگین وزن خشک علف‌های هرز اویارسلام و تیر و کمان آبی در برهمکنش سال، اردک و کنترل علف‌های هرز نیز نشان داد که در هر دو سال زراعی ۹۷ و ۹۸، یک‌بار و دوبار کنترل علف‌هرز در شرایط کاربرد اردک موجب کاهش شدید و یا از بین رفتن کامل علف‌های هرز اویارسلام و تیر و کمان آبی نسبت به شرایط عدم کاربرد اردک گردید (جدول ۱۲).

اویارسلام از نظر سال و برهمکنش‌های سال، نظام‌های کشت و سال، اردک و کنترل علف‌های هرز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۴).

مقایسه میانگین وزن خشک علف‌های هرز برنج در برهمکنش نظام‌های کشت، اردک و کنترل علف‌های هرز نشان داد که در هر سه نظام کشت، در شرایط کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار، وزن خشک کلیه علف‌های هرز غالب در مزرعه برنج به‌شدت کاهش یافت (جدول ۱۵). در کلیه نظام‌های کشت، کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار، یک‌بار و دوبار کنترل علف‌های هرز موجب کاهش شدید و یا

جدول ۱۴- تجزیه واریانس اثرات کشت توأم برنج-اردک در نظام‌های مختلف کشت بر وزن خشک علف‌های هرز در برنج

Table 14- Analysis of variance (mean squares) for the effects of rice-duck cultivation in different planting system on Weeds dry weight in Rice

وزن خشک کل علف‌های هرز Total weed dry weight	وزن خشک نیر و کمان آبی Dry weight of Arrow leaf	وزن خشک بندواش Dry weight of Knot weed	وزن خشک سوروف Dry weight of Barnyard grass	وزن خشک اویارسلام Dry weight of Umbrella sedge	درجه آزادی d.f	منابع تغییرات SOV
1052.96 ^{ns}	40.23 ^{**}	3.40 ^{ns}	2214.09 [*]	611.50 ^{**}	1	سال (Y)
391.22	0.83	2.93	329.04	1.62	4	خطای سال
134269.40 ^{**}	250.62 ^{**}	162.91 ^{**}	105480.49 ^{**}	5806.32 ^{**}	2	نظام‌های کشت (PS)
660.55 ^{ns}	2.59 ^{ns}	0.88 ^{ns}	196.88 ^{ns}	67.33 ^{**}	2	Y×PS
355.85	1.39	1.90	248.64	4.12	8	خطای اصلی
1775812.13 ^{**}	1512.75 ^{**}	4485.90 ^{**}	884944.95 ^{**}	35244.88 ^{**}	1	اردک (D)
27229.10 ^{**}	283.50 ^{**}	231.39 ^{**}	24425.15 ^{**}	4577.63 ^{**}	2	PS×D
747558.45 ^{**}	121.18 ^{**}	1748.87 ^{**}	454333.34 ^{**}	5559.31 ^{**}	2	کنترل علف‌هرز (W)
6867.93 ^{**}	21.99 ^{**}	352.77 ^{**}	11627.80 ^{**}	243.42 ^{**}	4	PS×W
516856.18 ^{**}	66.18 ^{**}	1548.87 ^{**}	298624.49 ^{**}	4358.29 ^{**}	2	D×W
20020.30 ^{**}	28.88 ^{**}	451.70 ^{**}	15369.24 ^{**}	53.33 ^{**}	4	PS×D×W
142.22 ^{ns}	36.22 ^{**}	2.67 ^{ns}	439.61 ^{ns}	481.75 ^{**}	1	Y×D
387.51 ^{ns}	3.24 ^{ns}	0.99 ^{ns}	18.57 ^{ns}	44.90 [*]	2	Y×PS×D
62.43 ^{ns}	7.60 ^{ns}	1.91 ^{ns}	170.31 ^{ns}	57.40 ^{**}	2	Y×W
41.93 ^{ns}	6.07 ^{ns}	1.42 ^{ns}	78.18 ^{ns}	1.57 ^{ns}	4	Y×PS×W
128.52 ^{ns}	8.36 ^{ns}	1.38 ^{ns}	198.59 ^{ns}	37.44 [*]	2	Y×D×W
47.59 ^{ns}	5.99 ^{ns}	1.79 ^{ns}	58.01 ^{ns}	2.81 ^{ns}	4	Y×PS×D×W
314.82	3.25	4.15	369.07	10.24	60	خطای باقی‌مانده
11.3	43.9	30.5	16.55	16.8	-	ضریب تغییرات (درصد)
						CV (%)

*, Significant at the 0.05 probability levels. **, Significant at the 0.01 probability levels. ns, not significant

*, معنی‌داری در سطح پنج درصد، **, معنی‌داری در سطح یک درصد، ns، غیر معنی‌دار

است (Mohammadi *et al.* 2012). اثر اردک روی کاهش زیست‌توده علف‌های هرز در اثر حرکت و جستجو برای یافتن غذا توسط محققین گزارش شده است (Endriany, 2018). بررسی نتایج دو نظام کشت متداول و کشت SRI نشان داد که کاهش وزن خشک علف‌های هرز موجود در مزارع برنج در نظام کشت SRI به افزایش راندمان تولید از طریق تلفیق فعالیت‌های مدیریتی گیاه، آب، خاک، تغذیه، علف‌های هرز و اجرای توأم آن‌ها نسبت داده شد (Styger *et al.*, 2011). اثر کنترلی نظام برنج و پرورش اردک بر پهن‌برگ‌ها و جگن‌ها بسیار بهتر از علف‌های هرز نازک برگ است (Qu, 2010). اردک با کنترل مستقیم از طریق تغذیه از بذر علف هرز سوروف و گیاهچه‌های جوان، کوچک و تازه سوروف که در زیر آب قرار دارند، موجب کاهش تراکم و زیست‌توده آن می‌شود. نتایج نشان داده است

محققین در بررسی تأثیر کاربرد اردک همراه با وجین دستی در مزارع برنج به این نتیجه رسیدند که وزن خشک علف‌های هرز غالب مزارع برنج به همراه وزن خشک کل زیست‌توده علف‌های هرز برنج تحت تأثیر معنی‌دار کاربرد اردک و وجین قرار داشته و به‌عنوان عاملی مؤثر در کنترل علف‌های هرز شناخته شده است (Long *et al.*, 2013; Furuno, 1996; Quan *et al.*, 2008). اردک در برخی از کرت‌ها، وزن خشک علف‌های هرز همچون؛ بندواش، تیر و کمان آبی و اویارسلام کاهش داد. همچنین، از طریق تغذیه از بذر و گیاهچه‌های جوان و تازه سبز شده سوروف و با گل آلود کردن آب به کمک منقار و شکل خاص پاهای خود، مانع از رشد علف‌های هرز سوروف در شالیزار شده و به‌طور چشم‌گیری بر تراکم علف هرز سوروف تأثیر گذاشته

که اثر کنترلی روی علف‌های هرز با تعداد اردک چرانیده رابطه دارد و تعداد بیشتری از اردک‌ها موجب می‌شود که تراکم علف‌های هرز کاهش داشته باشد که مفهوم آن اثر معنی‌دار کنترل علف هرز است (Long et al., 2013).

جدول ۱۵- مقایسه میانگین وزن خشک علف‌های هرز برنج در برهمکنش نظام‌های کشت، اردک و کنترل علف‌های هرز (برش‌دهی در سطح نظام‌های کشت و اردک)
Table 15- Means comparison of the weed dry weight of Rice in interaction of planting system, duck and weed control (slice in planting system and year levels)

وزن خشک کل علف‌های هرز Total weed dry weight (g.m ⁻²)	وزن خشک تیر و کمان آبی Dry weight of Arrow leaf (g.m ⁻²)	وزن خشک بندواش Dry weight of Knot weed (g.m ⁻²)	وزن خشک سوروف Dry weight of Barnyard grass (g.m ⁻²)	وزن خشک اویارسلام Dry weight of Umberella sedge (g.m ⁻²)	کنترل علف‌هرز Weed	اردک Duck	نظام‌های کشت Planting system
596.11±11.38 ^a	1.37±0.86 ^b	36.41±1.49 ^a	494.54±10.98 ^a	47.05±2.54 ^a	شاهد	بدون اعمال اردک	کشت متداول Conventional Cultivation
113.25±2.61 ^b	5.01±0.56 ^a	7.27±0.95 ^b	78.55±3.40 ^b	16.46±1.56 ^b	یک‌بار وجین	Un-Use Duck	
42.41±2.72 ^c	0.00±0.00 ^b	0.53±0.24 ^c	30.52±2.44 ^c	9.86±0.70 ^c	دو بار وجین		
21.37±1.96 ^a	1.29±0.43 ^a	0.00±0.00 ^a	17.77±1.72 ^a	0.16±0.16 ^a	شاهد	۷۵۰ قطعه در هکتار	
10.37±0.62 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^a	9.27±1.29 ^b	0.30±0.23 ^a	یک‌بار وجین	750 No.ha ⁻¹	
3.03±0.32 ^c	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^a	2.81±0.38 ^c	0.00±0.00 ^a	دو بار وجین		
529.93±11.82 ^a	18.33±0.96 ^a	40.97±2.09 ^a	323.90±10.86 ^a	43.90±3.02 ^a	شاهد	بدون اعمال اردک	کشت بهبودیافته Improved Cultivation
87.16±2.99 ^b	12.54±1.26 ^b	8.33±0.70 ^b	45.25±2.19 ^b	16.28±1.58 ^b	یک‌بار وجین	Un-Use Duck	
39.08±2.41 ^c	8.02±2.06 ^b	1.03±0.24 ^c	21.47±2.11 ^c	6.08±0.72 ^c	دو بار وجین		
12.16±2.88 ^a	0.17±0.16 ^a	0.00±0.00 ^a	10.83±2.68 ^a	0.16±0.16 ^a	شاهد	۷۵۰ قطعه در هکتار	
4.21±1.94 ^b	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	3.64±1.65 ^b	0.23±0.23 ^a	یک‌بار وجین	750 No.ha ⁻¹	
2.89±1.33 ^b	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	2.37±1.12 ^b	0.00±0.00 ^a	دو بار وجین		
625.60±12.96 ^a	12.41±0.26 ^a	8.05±0.52 ^a	491.97±11.67 ^a	99.90±4.99 ^a	شاهد	بدون اعمال اردک	SRI
359.46±11.10 ^b	7.58±0.61 ^b	8.38±0.52 ^a	271.32±15.70 ^b	52.65±4.13 ^b	یک‌بار وجین	Un-Use Duck	
171.21±10.88 ^c	5.30±2.00 ^c	7.20±0.99 ^a	101.55±11.58 ^c	41.70±2.75 ^c	دو بار وجین		
134.25±12.56 ^a	1.74±0.24 ^a	2.17±0.69 ^a	120.14±12.56 ^a	7.56±1.06 ^a	شاهد	۷۵۰ قطعه در هکتار	
44.14±4.46 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	40.34±5.50 ^b	0.08±0.08 ^b	یک‌بار وجین	750 No.ha ⁻¹	
23.66±2.57 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	22.53±2.65 ^b	0.20±0.19 ^b	دو بار وجین		

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

میانگین±خطای استاندارد، ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال پنج درصد از مومن LSD غیر معنی‌دار هستند.

نتیجه‌گیری

اعظم آن در کنترل علف‌های هرز مصرف می‌گردد، مؤثر باشد. همچنین، استفاده از یک نظام کشت مؤثر جهت پیش‌برد اهداف کشاورزی پایدار جهت حصول بیشترین میزان عملکرد شلتوک و بهره‌وری آب برای شالیزارهای شمال کشور به‌ویژه استان گیلان مورد توجه است.

به‌طور کلی از آزمایش فوق می‌توان دریافت که کاربرد توأم اردک در نظام‌های مختلف کشت موجب کاهش فراوانی و زیست‌توده علف‌های هرز غالب مزارع برنج در مناطق مرکزی استان گیلان خواهد شد و می‌تواند در کاهش هزینه‌های تولید برنج که قسمت

References

- Abdul-Rahman, S., Saoud, I. P., Owaied, M. K., Holail, H., Farajalla, N., Haidar, M., and Ghanawi, J. 2011. Improving water use efficiency in semi-arid regions through integrated aquaculture/agriculture. *Journal of Applied Aquaculture* 23: 212-230.
- Ahmed, N., Ward, J. D., and Saint, C. P. 2014. Can integrated aquaculture-agriculture (IAA) produce “more crop per drop”? *Food Security* 6 (6): 767-779.
- Bouman, B. A. M., Lampayan, R. M., and Tuong, T. P. 2007. Water management in irrigated rice: coping with water scarcity. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute, 54 pp.
- Dass, A., Chandra, S., Choudhary, A. K., Singh, G., and Sudhishri, S. 2016. Influence of field re-ponding pattern and plant spacing on rice rootshoot characteristics, yield, and water productivity of two modern cultivars under SRI management in Indian Mollisols. *Paddy Water Environ* 14: 45-59.
- Deng, Q. H., and Pan, X. H. 2008. Effects of rice-duck mutualism on diseases insect pests and weeds and economic benefits. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* 36: 7752-7755.
- Endriany, E. 2018. Effects of duck density and foraging frequency on rice production systems in East Java, Indonesia. MSc Thesis, University of Wageningen, The Netherlands 35PP.

7. FAO, 2018. FAO statistical database. Available at: www.fao.org.
8. Farooq, M., Kobayashi, N. K., Wahid, A., Ito, O., and Basra, S. M. A. 2009. Strategies for producing more rice with less water. *Advance Agron* 101: 351-388.
9. Flohre, A., Rudnick, M., Traser, G., Tschardtke, T., and Eggers, T. 2011. Does soil biota benefit from organic farming in complex vs. Simple Landscapes *Agriculture, Ecosystems and Environment* 141 (1-2): 210-214.
10. Furuno, T. 1996. Significance and practice of integrated rice cultivation and duck farming-sustainable agriculture. Kyushu International Center, Japan International Cooperation Agency and Kitakyushu Forum on Asian Women. pp. 12.
11. Hedayatipour, A., and Bahrami, M. 2007. The effect of padding frequency on specific apparent weight and water permeability and rice yield in paddy fields. Third Student Conference on Agricultural Machinery Engineering, Shiraz University.
12. Hossain, S., Sugimoto, H., Uddin Ahmed, G. J., and Islam, M. R. 2004. Effect of integrated rice-duck farming on rice yield, farm productivity, and rice-provisioning ability of farmers. *Asian Journal of Agriculture and Development* 2 (1): 79-86.
13. Huang, Z., Tang, X., Wang, Y., Chen, M., Zhao, Z., Duan, M., and Pan, S. 2012. Effects of increasing aroma cultivation on aroma and grain yield of aromatic rice and their mechanism. *Scientia Agricultura Sinica* 45 (6): 1054-1065.
14. Kumar, A., Nayak, A. K., Das, B. S., Panigrahi, N., Dasgupta, P., Mohanty, S., Kumar, U., Panneerselvam, P., and Pathak, H. 2019. Effects of water deficit stress on agronomic and physiological responses of rice and greenhouse gas emission from rice soil under elevated atmospheric CO₂. *Science of the Total Environment* 650: 2032-2050.
15. Lamour, A., and Lotz, L. A. P. 2007. The importance of tillage depth in relation to seedling emergence in stale seedbeds. *Ecological Modeling* 201 (3-4): 536-546.
16. Li, M., Li, R., Liu, S., Zhang, J., Luo, H., and Qiu, S. 2019. Rice-duck co-culture benefits grain 2-acetyl-1-pyrroline accumulation and quality and yield enhancement of fragrant rice. *The Crop Journal* 7: 419-430.
17. Liang, K., Zhang, J., Song, C., Luo, M., Zhao, B., Quan, G., and An, M. 2014. Integrated management to control golden apple snails (*Pomacea canaliculata*) in direct seeding rice fields: An approach combining water management and rice-duck farming. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 38: 264-282.
18. Long, P., Huang, H., Liao, X., Fu, Z., Zheng, H., Chen, A., and Chen, C. 2013. Mechanism and capacities of reducing ecological cost through rice-duck cultivation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93: 2881-2891.
19. Lopes, A. R., Faria, C., Fernandez, A. P., Cepeda, C. T., Manaia, C. M., and Nunes, O. C. 2011. Comparative study of the microbial diversity of bulk paddy soil of two rice fields subjected to organic and conventional farming. *Soil Biology and Biochemistry* 43: 115-125.
20. Lu, J. X., Zhang, J. E., and Huang, Z. X. 2005. Anauxiliary control method of rice-duck farming system leaf roller: the rope scraping of rice tail. *China Rice* 3: 39-46.
21. Ministry of Agriculture. 2018. Programs and Achievements. Achievements of the agricultural sector in the twelfth government. Available at: <http://www.pr.maj.ir/portal/Home/>. (in Persian).
22. Mohammadi, M., Pirdashti, H., Aqajani mazandarani, M., and Musavi taghany, S. Y. 2012. Performance evaluation as an agent of biological diversity and density of duck weed in cultivated rice combination- ducks. *Journal of Agricultural Ecology* 4 (4): 335-346. (in Persian with English abstract).
23. Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M. A., and Kijne, J. 2010. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. *Agricultural Water Management* 97: 528-535.
24. Monaco, F., and Sali, G. 2018. How water amounts and management options drive Irrigation Water Productivity of rice. A multivariate analysis based on field experiment data. *Agricultural Water Management* 195: 47-57.
25. Nayak, A., and Biswal, S. 2018. Performance of Rice in Modified Conventional System over System of Rice Intensification (SRI). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6: 2163-2168.
26. Qu, J. L. 2010. Research on rice-duck commensalisms to control weed and Pests. *Heilongjiang Agricultural Science* 6: 67-69.
27. Quan, G. M., Zhang, J. E., Teng, L. L., Chen, R., and Xu, R. B. 2008. Effects of integrated Rice-duck farming on rice root growth. *Journal South China Agricultural University* 29: 1-5.
28. Randriamibarisoa, R. P. 2002. Research results on biological nitrogen fixation with the system of rice intensification. Proceedings of an International Conference on the system of rice intensification (SRI) held in Sanya, china.
29. Randriamiharisoa, R., Barison, J., and Uphoff, N. 2007. Soil biological contributions to the system of rice intensification. Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development.
30. Rao, K. V. R., Gangwar, S. K., Chourasia, L. B. R., and Soni, K. A. 2017. Effects of drip irrigation system for Enhancing Rice. Yield Under System of Rice Intensification Management. *Applied Ecology and Environmental Research* 15: 487-495.

31. Rehman, H. U., Aziz, T., Farooq, M., Wakeel, A., and Rengel, Z. 2012. Zinc nutrition in rice production systems: a review. *Plant and Soil* 361 (1-2): 203-226.
32. Roderick, M., Florencia, G. R., Rodriguez, G. D. P., Lampayan, R. M., and Bouman, B. A. M. 2011. Impact of the alternate wetting and drying (AWD) water-saving irrigation technique: Evidence from rice producers in the Philippines. *Food Policy* 36 (2): 280-288.
33. Sepaskhah, A. R., Tavakko, A. R., and Mosavi, F. 2006. Principles and application of deficit irrigation. Iranian National Committee of Irrigation and Drainage Press, 1th Ed. 288 pp. (in Persian).
34. Sheng, F., Cao, C., and Li, C. 2018. Integrated rice-duck farming decreases global warming potential and increases net ecosystem economic budget in central China. *Environmental Science and Pollution Research* 23: 22744-22753.
35. Singh, Y., Humphreys, E., Kukal, S. S., Singh, B., Kaur, A., Thaman, S., Prashar, A., Yadav, S., Timsina, J., Dhillon, S. S., and Kaur, N. 2009. Crop performance in permanent raised bed rice-wheat cropping system in Punjab, India. *Field Crops Research* 110 (1): 1-20.
36. Styger, E., Attaher, M. A., Guindo, H., Ibrahim, H., Diaty, M., Abba, I., and Traore, M. 2011. Application of system of rice intensification practices in the arid environment of the Timbuktu region in Mali. *Paddy and Water Environment* 9: 137-144.
37. Tabbal, D. F., Bouman, B. A. M., Bhuiyan, S. I., Sibayan, E. B., and Sattar, M. A. 2002. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice; case studies in the Philippines. *Agricultural Water Management* 56: 93-112.
38. Teng, Q., Hu, X. F., Cheng, C., Luo, F., Xue, Y., Jiang, Y., Mu, Z., Liu, L., and Yang, M. 2016. Ecological effects of rice-duck integrated farming on soil fertility and weed and pest control. *Journal of Soils and Sediments* 16: 2395-2407.
39. Thakur, A. K., Sreelata Rath, D. U., and Patil Ashwani, K. 2011. Effects of rice plant morphology and physiology of water and associated management practices of the system of rice intensification and their implications for crop performance. *Paddy and Water Environment* 9: 13-24.
40. Tojo, S., Yoshizawa, M., Motobayashi, T., and Watanabe, K. 2004. Effects of loosing Aigamo ducks on the growth of rice plants, weeds, and the number of arthropods in paddy fields. *Weed Biology and Management* 7: 38-43.
41. Uphoff, N. 2005. Features of the system of rice intensification (SRI) apart from increases in yield. Cornell international institute for food, Agriculture and development.
42. Vergara, B. S., puranabhavung, S., and Lilis, R. 1965. Faktors determining the growth duration of rice varieties. *Phyton* 22: 177-185.
43. Wei, H., Bai, W., Zhand, J., Chen, R., Xiang, H., and Quan, G. 2019. Integrated Rice-Duck Farming Decreases Soil Seed Bank and Weed Density in a Paddy Field. *Agronomy Journal* 9 (5): 259
44. Yang, H., YU, D., Zhou, J., Zhai, S., Bian, X., and Weih, M. 2018. Rice-duck co-culture for reducing negative impacts of biogas slurry application in rice production systems. *Journal of Environmental Management* 213: 142-150.
45. Yu, S. M., Ouyang, Y. N., Zhang, Q. Y., Peng, G. D., Xu, H., and Jin, Q. Y. 2005. Effects of rice-duck farming system on *Oryza sativa* growth and its yield. *Chinese Journal of Applied Ecology* 16 (7): 1252-1256.
46. Zhang, J. 2013. Progresses and perspective on research and practice of rice-duck farming in China. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* 1: 70-79
47. Zhang, J. E., Xu, R., Chen, X., and Quan, G. 2009. Effects of duck activities on a weed community under a Transplanted rice-duck farming system in southern China. *Weed Biology and Management* 9: 250-257.
48. Zhang, J., Quan, G., Huang, Z., and Luo, S. 2013. Evidence of duck activity induced anatomical structure change and lodging resistance of rice plant. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 37: 975-984.



Effect of Rice-Duck co-Cultivation on Rice Yield, Water Productivity and Weed Control in Different Cultivation Systems

K. Mansour Ghanaei-Pashaki¹, Gh. Mohsen-abadi^{2*}, M. H. Biglouei³, M. B. Farhang⁴

Received: 21-04-2020

Accepted: 27-10-2020

Introduction

Rice-duck cultivation is an integrated farming technology, which could increase rice production, grain quality and ecological sustainability in paddy fields. One of the main strategies in sustainable agriculture is the use of optimal cultivation systems in agricultural systems which could be increased the range of adaptation of rice to flooding depth and degree of moisture control. Rice-duck cultivation could be affective to weed control as well as reducing environmental pollution which caused by herbicides and providing the development of environmentally friendly agriculture. It should be noted that traditional and conventional cultivation systems have been faced with problems such as permanent flooding of paddy fields, soil erosion, resistance to pests and pathogens and weeds to chemical pesticides, and environmental pollution. Moreover, they require a lot of labor and water, and high energy, which has increased the need to pay attention to new approach. Studies have showed that the application of effective methods in water productivity, including SRI due to improved irrigation management in the field in terms decreased drainage water, permeability and the consequences of conventional cultivation and increasing soil fertility (duck) can significantly increase the water productivity. The aim of this study was to investigate the effect of duck application and weed control in different planting systems on yield and abundance of dominant weeds under field conditions.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a split plot factorial in a randomized complete block design with three replications during two years of 2017-2018 and 2018-2019 at Guilan University. Treatments included three different cultivation systems (conventional, improved, and SRI) as the main factor, and factorial combination of two duck density (un-use and 750 No ha⁻¹) and three weed control (control (un-weed control), once and twice of weed control) as the sub factor. The experiment had three replications and the length of each plot was 4.5 meters and the width was 4 meters. In order to carry out the experiment, first plowing in the land to a depth of 20 to 25 cm with a rotator and paddling with a tiller was done according to the custom of the farmers of the region. In all plots, 80% of the recommended fertilizer was applied in SRI system after deducting the values of cow.

Results and Discussion

The results showed that abundance and dry biomass of weeds (Umbrella sedge, Barnyard grass, Knot weed and Arrow leaf) were significant in terms of planting system. In all planting systems, 750 ducks ha⁻¹, once and twice weed control, caused complete loss of ovaries, Umbrella sedge, Barnyard grass, Knot weed, and Arrow leaf due to ducks' non-use conditions. 750 ducks ha⁻¹ compared to un-use duck in conventional, improved and SRI planting systems increased grain yield of 21.61, 20.80 and 30.84%, respectively. Also, the application of 750 ducks ha⁻¹ in compared to the conditions of un-used of duck in the cultivation systems of conventional, improved and SRI, increased by 34.80, 33.01, and 38.69% of water productivity, respectively, while there was no significant difference between different levels of weed control in the 750 ducks ha⁻¹ in terms of water productivity.

Conclusions

In general, duck increased plant growth, improved power of rice and finally increased rice yield by proper weed control in the field with muddy water and beak, as well as adding rubbish to the paddy field. According to the results of this study, probably do once the initial hand weeding to control dominant weeds in SRI rice cultivation system with 750 ducks ha⁻¹ to improve rice production systems and to increase water productivity in fields of Guilan province is appropriate.

Keywords: Hashemi cultivar, Rice-Duck, SRI cultivation system, Weeding

1- PhD. Student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Guilan University, Rasht, Iran

2- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Guilan University, Rasht, Iran

3- Associate Professor, Department of water engineering, Faculty of Agricultural Sciences, Guilan University, Rasht, Iran

4- Assistant Professor, Department of Soil science, Faculty of Agricultural Sciences, Guilan University, Rasht, Iran

(*- Corresponding Author Email: mohsenabadi@guilan.ac.ir)



مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی صفات مورفولوژی و عملکرد گیاه دارویی مرزه بختیاری تحت تاثیر تراکم و کودهای آلی در شرایط دیم

احمد میرجلیلی^۱، محمدحسین لباسچی^{۲*}، محمدرضا اردکانی^۳، حسین حیدری شریف آباد^۴، مهدی میرزا^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۲

چکیده

به منظور بررسی صفات مورفولوژیک و عملکرد گیاه دارویی مرزه بختیاری (*Satureja bachtiarica*) تحت تاثیر کودهای آلی و تراکم‌های مختلف در شرایط دیم، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات مرتع همدان در سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ انجام شد. کود آلی شامل سه سطح کود دامی پوسیده ۳۰ تن در هکتار، کاه گندم فراوری شده با سولفات آمونیوم ۱۰ تن در هکتار و شاهد (بدون کود) به عنوان عامل اصلی و تراکم بوته شامل سه سطح تراکم ۲۶۶۶۶ و ۴۰۰۰۰ و ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار به عنوان عامل فرعی محسوب گردید. صفات اندازه‌گیری شده شامل ارتفاع بوته، سطح تاج پوشش، تعداد شاخه اصلی، عملکرد ماده خشک اندام‌های هوایی، درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه و درصد رطوبت نسبت به خاک خشک در عمق‌های ۲۰-۴۰ سانتی‌متر بود. نتایج بیانگر تفاوت معنی‌دار تیمارها در صفات اندازه‌گیری شده بود. در میان صفات اندازه‌گیری شده اثر کود آلی و تراکم بر ارتفاع بوته، سطح تاج پوشش، تعداد شاخه‌های اصلی، عملکرد ماده خشک در سطح ۱٪ معنی‌دار شد. بررسی اثر متقابل سال، کود آلی و تراکم نشان داد، بیشترین عملکرد ماده خشک اندام‌های هوایی (۴۲۶ کیلوگرم در هکتار) مربوط به مصرف کود دامی و تراکم زیاد در سال دوم و بیشترین مقدار ارتفاع بوته و تعداد شاخه اصلی به ترتیب ۳۴ سانتی‌متر و ۲۹ عدد در تیمار کود دامی و سال دوم مشاهده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد درک موقعیت در استقرار و تحمل کامل گیاه در شرایط دیم به واسطه صفات اندازه‌گیری شده و نیز رطوبت بسیار کم خاک در برداشت محصول سرشاخه گلدار، با متوسط بارندگی حدود ۳۴۰ میلی‌متر در سال و استفاده از کود دامی و تراکم زیاد می‌تواند به افزایش عملکرد اقتصادی گیاه مرزه بختیاری در سال دوم کشت، منجر گردد.

واژه‌های کلیدی: درصد وزن خشک، سطح تاج پوشش، عملکرد ماده خشک، کود دامی، نمودار آمبروترمیک

مقدمه

دیم به شیوه‌ای از کشاورزی اطلاق می‌شود که صرفاً متکی به بارندگی است. امکان کشت دیم برای مناطقی که با محدودیت آب‌های سطحی زیرزمینی مواجه می‌باشند مزیت فوق‌العاده‌ای محسوب می‌شود. بخش گسترده‌ای از اراضی زیر کشت کشور ایران به کاشت دیم اختصاص دارد که متأسفانه به علت عدم رعایت اصول دیم‌کاری و مدیریت صحیح عملکرد کمی دارند، سطوح وسیع دیم‌زارهای کم بازده از نظر تولیدات ناهمگون با شرایط طبیعی، لزوم انتخاب کشت گیاهان مناسب و سازگار را آشکار می‌سازد. بنابراین کشت گیاهان دارویی چند ساله سازگار با شرایط دیم هر منطقه به عنوان کشت جایگزین گیاهان یک ساله غلات می‌تواند بهترین گزینه باشد، با استقرار گیاهان دارویی چند ساله می‌توان ضمن ایجاد پوشش گیاهی مناسب، از فرسایش ناشی از شخم‌های مکرر سالانه جلوگیری نمود (Lebaschi, 2008).

یکی از ارکان اصلی در کشاورزی پایدار، استفاده از کودهای آلی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف از بین بردن یا کاهش چشمگیر مضرات کودهای شیمیایی است (Emami Bistgani et al., 2018). کودهای آلی سبب تامین سلامت انسان و محیط زندگی می‌گردند و اهمیت کاربرد آن‌ها در مورد گیاهان دارویی که به طور مستقیم با

گیاه مرزه بختیاری (*Satureja bachtiarica*) از خانواده Lamiaceae و جنس *Satureja* و به عنوان گیاه دارویی با ارزش محسوب می‌شود و از شاخه‌های گل‌دار آن به طور وسیعی در صنایع غذایی و دارویی استفاده می‌شود. مرزه بختیاری انحصاری ایران بوده و پراکنش نسبتاً گسترده‌ای در ایران دارد و در مناطق غربی، جنوب غربی و مرکزی ایران به خوبی رشد می‌کند (Jamzad, 2009). کشت

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دانشیار، بخش گیاهان دارویی و محصولات فرعی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- استاد گروه زراعت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۴- استاد گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۵- استاد، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

(*) نویسنده مسئول

Email: lebaschy@rifr-ac.ir

DOI: 10.22067/gsc.v18i3.86519

نیمه استپی سرد بوده به طوری که بارندگی از اواسط آبان تا اول آذر شروع شده و تا اواسط خرداد ادامه دارد. پراکنش باران نسبتاً مناسب بوده و متوسط بارندگی سالیانه حدود ۳۴۰ میلی متر و دوره یخبندان حدود ۵ ماه و دوره خشکی ۴ ماه می باشد. حداقل درجه حرارت در ماه های دی و بهمن ۱۵- درجه سانتی گراد و حداکثر دما در ماه های تیر و مرداد ۳۵+ درجه سانتی گراد و میانگین دمای سالیانه حدود ۱۲+ درجه سانتی گراد است. متوسط تبخیر سالیانه حدود ۱۲۲۶ میلی متر و میانگین ساعات آفتابی در سال روزانه ۸ ساعت می باشد. در این آزمایش میزان بارندگی از مهر ۹۶ تا مهر ۹۷ برابر ۳۴۸ میلی متر و میزان بارندگی بهار ۹۷ به عنوان بارندگی موثر در طول دوره رشد مرزه بختیاری ۲۰۹ میلی متر و میزان بارندگی مهر ۹۷ تا مهر ۹۸ برابر ۴۸۷ میلی متر و میزان بارندگی بهار ۹۸ به عنوان بارندگی موثر در طول دوره رشد مرزه بختیاری ۱۶۵ میلی متر بود (مستخرج از آمار ایستگاه هواشناسی مستقر در محل آزمایش) (شکل ۱).

جدول ۱ نتایج فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش از عمق ۰ تا ۴۰ سانتی متری خاک تهیه گردید و همچنین جدول ۲ آنالیز کود دامی مصرف شده را نشان می دهد.

آزمایش به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات مرتع همد (دماوند) اجرا گردید. گونه مورد بررسی در این تحقیق مرزه بختیاری (*Satureja bachtiarica*) بود. مساحت هر کرت فرعی ۳*۴ = ۱۲ مترمربع، هر کرت اصلی برابر ۳۶ مترمربع و مساحت خالص هر تکرار ۳ * ۳۶ = ۱۰۸ مترمربع است. مساحت کل طرح (سه تکرار) بدون فواصل بین کرت ها و تکرارها برابر ۳۲۴ مترمربع و با احتساب فواصل بین کرت ها و تکرارها برابر ۶۹۰ مترمربع بود. تیمارهای عامل اصلی عبارتند از: الف: کود گاوی پوسیده ۳۰ تن در هکتار، ب: کاه گندم ۱۰ تن در هکتار (فرآوری شده با کود سولفات آمونیوم)، ج: شاهد بدون کود مصرف کود گاوی پوسیده مورد نیاز برای اجرای طرح بر اساس ۳۰ تن در هکتار، برای هر کرت فرعی برابر ۳۶ کیلوگرم برای هر کرت اصلی ۱۰۸ کیلوگرم و برای کل طرح (سه تکرار) برابر ۹۷۲ کیلوگرم تعیین شد. تیمارهای عامل فرعی شامل سه تراکم ۲۶۶۶۶، ۴۰۰۰۰ و ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی متر برای همه تیمارها و روی ردیف با فواصل ۷۵، ۵۰ و ۲۵ سانتی متر می باشد. تعداد بوته ها برای تراکم کم در هر کرت فرعی ۳۲ عدد، برای تراکم متوسط ۴۸ عدد و برای تراکم زیاد برابر ۹۶ بوته تعیین گردید که در ۶ خط ایجاد شده در هر کرت فرعی و در کف جوی کشت شد. تعداد نشاءهای لازم برای هر کرت اصلی برابر ۱۷۶ و جمعاً تعداد نشاءهای لازم برای کل طرح (سه تکرار) برابر ۱۵۸۴ عدد بود. نشاءهای لازم به تعداد مورد نیاز با کشت بذر در سینی های کشت، تهیه گردید و برای انتقال به زمین اصلی آماده شد. نشاءهای تهیه شده در اواخر سال ۹۶ (بیستم اسفند ماه) به منظور گذر از خطر

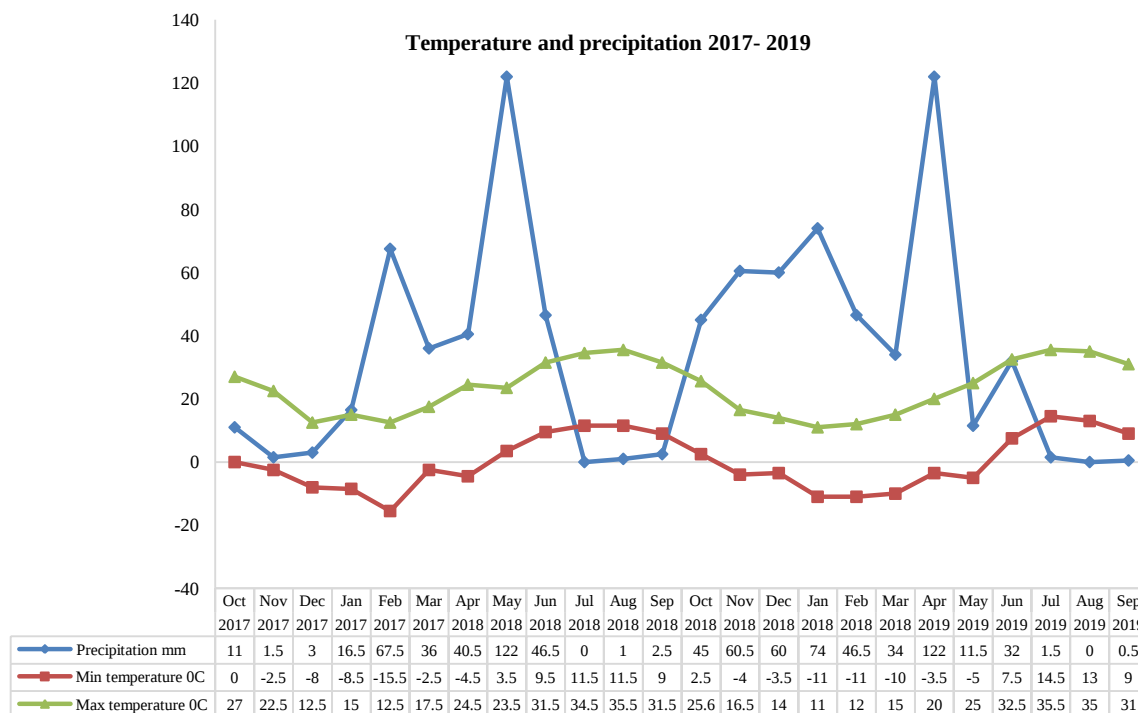
سلامت انسان در ارتباط هستند محرز است (Sharma and Singh, 2002). مواد آلی به علت داشتن خصوصیتی مانند قدرت جذب و نگهداری بالای مواد آلی و عناصر معدنی و آزادسازی تدریجی آنها (خصوصاً نیتروژن) و نیز ظرفیت بالای نگهداری آب، استفاده از آن در کشاورزی پایدار برای بهبود رشد و کیفیت محصولات زراعی و باغی متداول می باشد (Jami et al., 2018). در شرایط دیم تراکم گیاه یک استراتژی موثر در بهبود عملکرد گیاه می باشد که به اقلیم و بارندگی بستگی دارد، در تراکم مطلوب، گیاهان از عوامل محیطی مانند نور، رطوبت و مواد غذایی حداکثر استفاده را می کنند. تراکم گیاه در واحد سطح یکی از عوامل مهم ایجاد رقابت در میان گیاهان زراعی است و فاصله مناسب بین ردیف های کاشت و بین بوته ها در روی ردیف تعیین کننده فضای رشد قابل استفاده هر بوته و تاثیر تراکم مناسب در موفقیت زراعت دیم گیاهان دارویی می باشد، از این رو رسیدن به تراکم مناسب در مناطق مختلف دیم کاری دارای اهمیت زیادی می باشد. فواصل مختلف کاشت و تراکم بر عملکرد *Thymus spicata* نشان داد، بهترین عملکرد اسانس و وزن تر خشک در کمترین فاصله بین و روی ردیف حاصل می شود (Kizil and Toncer, 2005). بررسی فواصل کاشت (فاصله بین ردیف ۵۰ و ۷۰ سانتی متر و فاصله روی ردیف ۲۰ و ۳۰ سانتی متر) در دو ناحیه و طی دو سال نشان داد که بالاترین عملکرد رویشی در فواصل بین ردیف ۵۰ و روی ردیف ۳۰ سانتی متر به دست می آید (Todorovic et al., 2008). کاربرد و مدیریت کود آلی و مواد مغذی آن می تواند یک فناوری امیدوارکننده برای تولید گیاهان دارویی به همراه حفظ منابع طبیعی باشد (Basak et al., 2019). همچنین بررسی شد میزان مواد مغذی در کودهای ارگانیک بسیار متفاوت است و با کاربرد آن گیاهان به راحتی از منابع مغذی بهتری استفاده می کنند (Pandey and Patra, 2015). در پژوهشی دیگر نیز در تراکم های بالا به دلیل کاهش درصد حضور علف های هرز و حفظ رطوبت خاک، منجر به افزایش عملکرد ماده خشک گیاه مرزه موتیکا در شرایط دیم شد (Saki et al., 2019). این تحقیق با هدف تعیین تراکم مطلوب و نوع کود آلی بر عملکرد مرزه بختیاری در شرایط دیم انجام شد.

مواد و روش ها

این آزمایش در ایستگاه تحقیقات مرتع همد آبسرد در طی سال های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ در موقعیت جغرافیایی کیلومتر ۷ جاده فیروزکوه در شرق دماوند با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵ دقیقه و ۳۵ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه و ۹۰ ثانیه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۹۶۰ متر با توپوگرافی، دشت بدون عارضه و شیب ۴٪ انجام شد. براساس تحقیقات جامع خاک شناسی، خاک آبرفتی، قهوه ای با طبقات آهکی در لایه زیرین و لایه رویی با بافت لومی (سنگین) با pH قلیایی (۸/۳) است. آب و هوای منطقه،

شده کاشته شد. آماربرداری‌های سالانه فنولوژیک، مورفولوژیک و عملکرد از کلیه واحدهای آزمایشی صورت گرفت. پس از گلدهی ۵۰ درصد از گونه‌های مختلف مرزه، نسبت به جمع‌آوری و خشک کردن محصول و توزین آن‌ها اقدام گردید.

سرمازدگی پاییز و زمستان‌های بدون پوشش برف و با توجه به پیش‌بینی‌های هواشناسی و قبل از وقوع بارندگی موثر به زمین اصلی منتقل گردید. با توجه به طرح دیم‌کاری این پژوهش و نیز در راستای استفاده بهینه گیاه از نزولات جوی، نشاءها در کف جوی‌های ایجاد



شکل ۱- نمودار آمبروترمیک در سال ۲۰۱۷-۲۰۱۹

Figure 1- The ambrothermic diagram during 2017- 2019

جدول ۱- نتایج آزمایش نمونه خاک - ایستگاه تحقیقات همد

Table 1- Soil sample test results -Homand research station

مشخصات نمونه	pH	عصاره اشباع EC (dS.m ⁻¹)	نیتروژن N %	کربن آلی OC %	آهک Caco ₃ %	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	کلسیم Ca (mg.kg ⁻¹)	رس Clay %	لای Silt %	ماسه Sand %
عمق خاک ۰-۲۰ depth 0-20	8.3	0.8	0.97	1.1	6.5	34.0	834.0	3.1	33	46	21
عمق خاک ۲۰-۴۰ Depth 20-40	8.4	0.4	0.98	1.1	8.2	38.0	653.7	3.2	37	42	21

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی کود دامی مصرف شده

Table 2- Chemical properties of animal manure used

نوع کود Fertilizer	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	pH	فسفر کل P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم کل K (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن کل N %	کلسیم Ca %	خاکستر Ash %	ماده خشک DM %	گوگرد S %	ماده آلی OM %
دامی Cattel manure	16.4	8.2	1299.5	2583.97	2.1	1.2	14	92	1.78	39

شده میانگین آن‌ها محاسبه شد.

عملکرد ماده خشک

برای اندازه‌گیری عملکرد ماده خشک، ابتدا از اندام هوایی ۱۰ بوته به‌طور تصادفی و در مرحله گلدهی کامل گیاه، نمونه‌برداری و با ترازوی دیجیتال توزین گردید و سپس نمونه‌ها به مدت زمان لازم در سایه خشک شده و سپس برگ و سرشاخه‌های گلدار آن توزین گردید (Nooshkam *et al.*, 2014).

درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه

درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید

$$(۲) \quad 100 \times \frac{\text{وزن خشک}}{\text{وزن تر}} = \text{درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه}$$

درصد رطوبت نسبت به خاک خشک در عمق‌های ۲۰-۴۰ سانتی‌متر

با استفاده از اوگر دستی نمونه‌های خاک از تمامی کرت‌ها، در عمق‌های ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متر برداشت و وزن گردید و سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک و مجدداً وزن گردیدند، پس از به‌دست آوردن وزن‌های خشک و مرطوب نمونه‌ها، درصد رطوبت نسبت به خاک خشک با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید.

$$(۳) \quad 100 \times \frac{\text{وزن خاک خشک} - \text{وزن خاک مرطوب}}{\text{وزن خاک مرطوب}} = \text{درصد رطوبت نسبت به خاک خشک}$$

محاسبات آماری

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم‌افزار SPSS و ترسیم نمودارها با نرم‌افزار EXCEL انجام شد.

نتایج و بحث صفات مورفولوژیک و عملکرد مرزه بختیاری

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر ساده سال، کود آلی و تراکم بر صفات، ارتفاع بوته، سطح تاج پوشش، تعداد شاخه اصلی و عملکرد ماده خشک در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. اثر ساده سال و تراکم بر صفت درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه در سطح ۵ درصد و اثر ساده کود آلی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد، همچنین اثر ساده سال بر درصد رطوبت نسبت به خاک خشک در عمق‌های ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متر در سطح ۱ درصد و فقط اثر ساده کود آلی بر درصد رطوبت نسبت به خاک خشک در عمق ۰-۲۰ در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل سال و کود بر ارتفاع بوته، سطح تاج پوشش، تعداد شاخه اصلی، عملکرد ماده خشک و درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل سال و تراکم بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه اصلی، عملکرد ماده خشک و درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه در سطح ۱ درصد و بر صفت سطح تاج پوشش در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. اما اثر

برای اعمال تیمار کود ۳۶ کیلوگرم کود گاوی پوسیده برای هر کرت فرعی در نظر گرفته و درون شیارهای ایجاد شده به‌طور یکنواخت پخش و سپس روی کود با خاک پشته پوشانده شد. مقدار کاه گندم لازم برای اجرای هر طرح بر اساس ۱۰ تن در هکتار، برای هر کرت فرعی برابر ۱۲ کیلوگرم و برای هر کرت اصلی ۳۶ کیلوگرم و برای کل طرح (سه تکرار) برابر ۳۲۴ خواهد بود. به‌منظور اجرای تیمار کاه غنی شده، مصرف ۱۲ کیلوگرم کاه گندم خرد شده را درون شیارهای ایجاد شده هر کرت فرعی به‌طور یکنواخت پخش و مقدار ۲۴۰ گرم سولفات آمونیوم (براساس ۲ کیلوگرم برای هر ۱۰۰ کیلو کاه گندم)، پس از حل کردن در ۲۰ لیتر آب به‌وسیله آب‌پاش به‌طور یکنواخت روی کاه‌های کف جوی پاشیده شد. سپس روی آن را با خاک پشته پوشانده شد. پس از اعمال تیمارهای مورد نظر تهیه بذر و نشاء از اکسشن‌های سازگار گونه مرزه بختیاری انجام پذیرفت سپس کاشت با رعایت تراکم‌های مورد نظر و قبل از بارندگی موثر انجام شد. در هنگام رشد بوته‌ها، وجین اطراف بوته‌ها در دو نوبت در ماه‌های اردیبهشت و تیر انجام گردید. آماربرداری مورفولوژیک و عملکرد سالانه گیاه مرزه بختیاری در زمان گلدهی کامل بوته‌ها، شامل ارتفاع بوته، سطح تاج پوشش، تعداد شاخه اصلی، عملکرد ماده خشک اندام‌های هوایی، درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه و درصد رطوبت نسبت به خاک خشک در عمق‌های ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متر از کلیه واحدهای آزمایشی انجام شد.

اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه

اندازه‌گیری ارتفاع بوته

ارتفاع بوته با استفاده از خط‌کش و بر اساس حداقل ۱۰ بوته به‌طور تصادفی در مرحله گلدهی کامل گیاه انجام شد و سپس میانگین آن‌ها برحسب سانتی‌متر محاسبه شد.

اندازه‌گیری سطح تاج پوشش

اندازه‌گیری سطح تاج پوشش، در مرحله گل‌دهی کامل گیاه انجام شد. در این خصوص تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و سپس سطح تاج پوشش تک بوته با استفاده از رابطه (۱) بر حسب سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری و بر اساس تعداد بوته‌های اندازه‌گیری شده میانگین آن‌ها محاسبه شد (Mokhtari Asl *et al.*, 2007).

$$(۱) \quad S_{cm}^2 = \frac{1}{4} P(X+Y)^2$$

$$P = 3/14$$

$$X_{cm} = \text{قطر بزرگ بوته}$$

$$Y_{cm} = \text{قطر کوچک بوته}$$

اندازه‌گیری تعداد شاخه اصلی

اندازه‌گیری تعداد شاخه اصلی، در مرحله گل‌دهی کامل گیاه انجام شد. تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و سپس تعداد شاخه اصلی هر بوته شمارش و بر اساس تعداد بوته‌های اندازه‌گیری

متقابل سال و کود و همچنین اثر متقابل سال و تراکم بر درصد رطوبت نسبت به خاک خشک در عمق‌های ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متر معنی‌دار نشد. اثر متقابل کود و تراکم تنها بر صفات عملکرد ماده خشک و درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک و عملکرد گیاه دارویی مرزه بختیاری

 Table 3- Results of analysis variance of morphological traits and yield of medicinal plant *Satureja bachtiarica*

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	سطح تاج پوشش Canopy area	تعداد شاخه اصلی Number of main shoots	عملکرد ماده خشک Dry weight yield	درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه Percentage of dry weight compared to plant fresh weight %	درصد رطوبت نسبت به خاک خشک در عمق‌های ۰-۲۰ سانتی‌متر Moisture content relative to dry soil at 0-20cm	درصد رطوبت نسبت به خاک خشک در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متر Moisture content relative to dry soil at 20-40cm
سال Year	1	2216.936**	294521.185**	2787.852**	135200.074**	158.329*	95.228**	50.344**
خطا (سال) Rep(Y)	4	5.148 ^{ns}	503.852 ^{ns}	6.796 ^{ns}	184.370*	7.934 ^{ns}	0.355 ^{ns}	2 ^{ns}
کود Fertilizer	2	323.556**	88141.352**	332.074**	14501.556**	189.591**	2.470*	0.633 ^{ns}
سال × کود Fer*Year	2	124.963**	6014.685**	176.963**	11489.407**	165.515**	2.126 ^{ns}	1.082 ^{ns}
خطا (سال × کود) E(fer)	8	2.926 ^{ns}	532.796 ^{ns}	1.852 ^{ns}	31.565 ^{ns}	6.804 ^{ns}	0.484 ^{ns}	4.516 ^{ns}
تراکم Density	2	220.500**	98.130**	98.130**	119384.722**	67.729*	0.780 ^{ns}	6.905 ^{ns}
سال × تراکم Den*Year	2	37.574**	26390.519*	41.796**	37028.574**	314.211**	2.403 ^{ns}	2.218 ^{ns}
کود × تراکم Den*Fer	4	4.472 ^{ns}	1049.741 ^{ns}	3.713 ^{ns}	1372.944**	77.703**	0.808 ^{ns}	8.409*
سال × کود × تراکم Year*Fer*Den	4	1.491 ^{ns}	1141.685 ^{ns}	0.824 ^{ns}	2955.074**	98.448**	1.753 ^{ns}	4.273 ^{ns}
خطا E	24	1.917	1282.315	1.472	129.889	12.465	0.937	2.354
ضریب تغییرات % % C.V	-	6.9	4.6	9.1	7.2	8.3	20.6	19.7

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

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

شاخه اصلی، عملکرد ماده خشک و درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه را به‌طور معنی‌داری تغییر داد (جدول ۴). در بین تراکم‌های مختلف، تراکم زیاد به‌طور معنی‌دار سبب بیشترین افزایش ارتفاع بوته به میزان ۴۲ درصد و نیز بالاترین افزایش عملکرد ماده خشک به مقدار ۱۷۷ درصد در مقایسه با تراکم کم گیاه گردید. پس از این تیمار، تراکم متوسط مناسب‌ترین تیمار بود، همچنین بیشترین میزان تعداد شاخه اصلی، سطح تاج پوشش و درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه در تیمار تراکم متوسط به‌دست آمد. مقایسه میانگین اثر ساده تراکم بر درصد رطوبت نسبت به خاک خشک در عمق‌های ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متر معنی‌دار نبود (جدول ۴).

مقایسه میانگین اثر ساده کود آلی نشان داد که در گیاه مرزه بختیاری با عدم مصرف کود دامی کاهش معنی‌دار در صفات ارتفاع بوته، سطح تاج پوشش، تعداد شاخه اصلی و عملکرد ماده خشک صورت گرفت. اما با کاربرد کود دامی اختلاف معنی‌دار در افزایش صفات اشاره شده مشاهده شد، به طوری که بیشترین صفات مذکور با ۲۴/۸۸ سانتی‌متر در تیمار کود دامی به‌دست آمد، همچنین مقایسه میانگین اثر ساده کود آلی بر صفات درصد رطوبت نسبت به خاک خشک در عمق‌های ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر ساده تراکم بوته نشان داد که تراکم، شاخص صفات ارتفاع بوته، سطح تاج پوشش، تعداد

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک و عملکرد گیاه دارویی مرزه بختیاری تحت تاثیر عوامل اصلی کود آلی و تراکم
Table 4- Comparison of the average traits of morphological traits and yield of medicinal plant *Satureja bachtiarica* under the influence of the main factors of organic fertilizer and density

صفات Traits	ارتفاع بوته Plant height (cm)	سطح تاج پوشش Canopy area (cm ²)	تعداد شاخه Number of branches	عملکرد ماده خشک Dry yield (kg.ha ⁻¹)	درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه Percentage of dry weight to compared plant fresh weight %	درصد رطوبت نسبت به خاک خشک در عمق‌های ۲۰-۰ سانتی‌متر Moisture content relative to dry soil at 0-20cm	درصد رطوبت نسبت به خاک خشک در عمق‌های ۴۰-۲۰ سانتی‌متر Moisture content relative to dry soil at 20-40cm
کود آلی Organic fertilizer							
کود دامی Cattle manure	24.88 ^a	856.11 ^a	18.22 ^a	190.55 ^a	39.11 ^c	4.9 ^a	7.64 ^a
کاه غنی شده Wheat straw	17.77 ^b	717.94 ^c	10.33 ^c	145 ^b	45.60 ^a	4.91 ^a	7.73 ^a
شاهد Control	17.33 ^b	767.72 ^b	11.33 ^b	138.44 ^b	42.11 ^b	4.26 ^a	8 ^a
تراکم Density							
تراکم زیاد High density	23.5 ^a	753.78 ^b	13.88 ^b	248 ^a	40.77 ^b	4.66 ^a	7.07 ^a
تراکم متوسط Medium density	20 ^b	824.44 ^a	15.27 ^a	136.61 ^b	44.46 ^a	4.91 ^a	8.17 ^a
تراکم کم Low density	16.5 ^c	763.56 ^b	10.72 ^c	89.38 ^c	41.58 ^b	4.50 ^a	8.12 ^a

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشد.

In each column the similar letters indicated no significant difference among the means (by using Duncan at the 5% level)

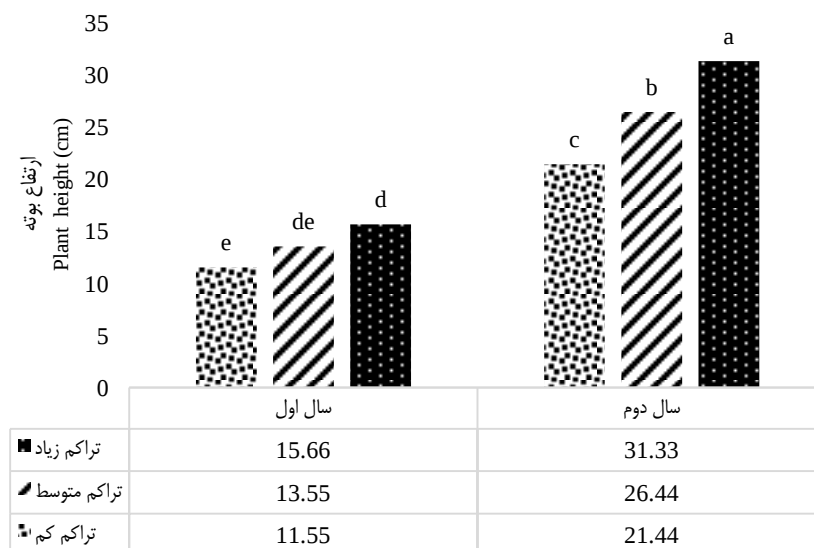
ارتفاع بوته

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر متقابل سال و کود آلی و اثر متقابل سال و تراکم بر ارتفاع بوته معنی‌دار شد. در نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال و کود آلی بر ارتفاع بوته، بیشترین میزان ارتفاع بوته با ۳۴/۱۱ سانتی‌متر در تیمارهای کود دامی در سال دوم مشاهده شد. نتایج نشان داد که در سال دوم اختلاف معنی‌داری بین تیمار کودهای دامی و کاه غنی‌شده مشاهده شد. کمترین میزان ارتفاع بوته نیز با ۱۱/۷۷ سانتی‌متر در سال اول و تیمار کاه غنی‌شده مشاهده شد. به نظر می‌رسد که علت افزایش ارتفاع بوته در اثر مصرف کود دامی، مربوط به بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین افزایش فعالیت ریز موجودات خاکزی می‌باشد. همچنین Singh and Ramesh, (2002) نشان دادند کاربرد کود آلی باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه ریحان نسبت به شاهد می‌گردد. در پژوهشی دیگر علت این امر را فراهمی عناصر غذایی این کودها به‌ویژه محتوی نیتروژن نسبت دادند (Hekmati et al., 2012). در گیاه سنبل الطیب (*Valeriana officinalis*) تیمارهای کود آلی، با تأمین تدریجی عناصر غذایی این عمل را به خوبی انجام داده و باعث افزایش ارتفاع گیاه شدند (Mirmostafaei et al., 2013). بر اساس

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر متقابل سال و تراکم بر ارتفاع بوته معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال و تراکم بر ارتفاع بوته نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سال دوم بین تراکم زیاد و متوسط وجود داشت. بیشترین میزان ارتفاع بوته با ۳۱/۳۳ سانتی‌متر در سال دوم و تراکم زیاد مشاهده شد. کمترین میزان ارتفاع بوته با ۱۱/۵۵ سانتی‌متر در سال اول و تراکم کم مشاهده شد. به نظر می‌رسد به دلیل دایمی بودن گیاه و استقرار کامل آن در سال دوم موجب رشد مطلوب ارتفاع بوته در تمامی تراکم‌های مورد بررسی نسبت به سال اول شد (شکل ۲). افزایش تراکم به دلیل سایه‌اندازی و ورود کمتر نور به داخل تاج پوشش، رقابت بوته‌ها را برای جذب نور افزایش داده که این امر باعث بهبود ارتفاع بوته شده است. نتایج El-Gendy et al. (2001) نشان داد که با افزایش تراکم کاشت ریحان، ارتفاع گیاه بهبود یافت که دلیل آن را به افزایش رقابت درون گونه‌ای بوته‌ها برای جذب نور نسبت داد. بهبود کارایی جذب انرژی خورشیدی نیاز به وجود سطح برگ کافی داشته که با توزیع مناسب سطح خاک را پوشانیده باشد و این هدف با تغییر تراکم بوته در بوم‌نظام‌های زراعی میسر می‌گردد. نتایج نشان داد که با افزایش تراکم گیاهی ارتفاع بوته گیاه دارویی اروانه بزقی افزایش یافت

تراکم گیاه و رقابت درون و برون گونه‌ای گیاهان نقش اصلی در به حداکثر رساندن عملکرد ماده خشک گیاهان دارند (Ferreira and Abreu, 2001, Emami Bistgani et al., 2012).

(Sabet Teimouri et al., 2012). Zokaei et al. (2014) در بررسی اثر تراکم کاشت و الگوهای کاشت بر صفات فیزیولوژیکی و زراعی گیاه ریحان گزارش کردند که اثر تراکم و الگوی کاشت بر ارتفاع بوته معنی‌دار شد. همچنین در تحقیقات دیگر آمده است، در



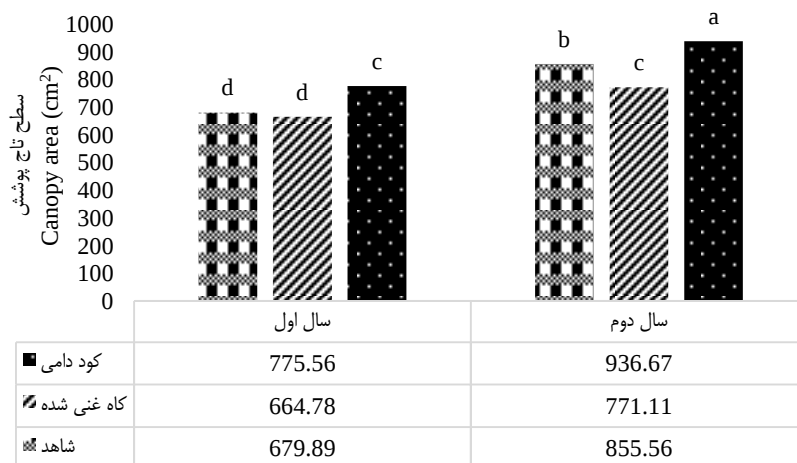
شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال و تراکم بر ارتفاع گیاه دارویی مرزه بختیاری

Figure 2- Results of comparing average interaction effect in year and density on the plant height of the medicinal plant *Satureja bachtiarica*

پوشش معنی‌دار شد. نتایج نشان داد بیشترین میزان سطح تاج پوشش در تیمار تراکم متوسط و سال دوم مشاهده شد، همچنین در سال دوم اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کود دامی و شاهد مشاهده نشد. بیشترین میزان میانگین سطح تاج پوشش تک بوته با ۹۱۷ سانتی‌متر مربع، در تیمار تراکم متوسط و سال دوم و کمترین میزان میانگین سطح تاج پوشش تک بوته نیز با ۶۹۴ سانتی‌متر مربع، در سال اول و تیمار تراکم کم که با تیمار زیاد در سال اول اختلاف معنی‌داری نداشت. به نظر می‌رسد که در تراکم متعادل گیاهی، ضمن تسریع در رشد سطح تاج پوشش، بهره‌وری از عوامل محیطی و فتوسنتز گیاه بهبود یافته که در نتیجه موجب افزایش سطح تاج پوشش شده است. از طرف دیگر افزایش بیش از حد مطلوب تراکم با کاهش فضای مورد نیاز برای رشد هر بوته به دلیل بروز رقابت، موجب کاهش رشد و سطح تاج پوشش گردید. (Mir, et al. (2011 در بررسی اثر تراکم بر رشد گیاه دارویی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) گزارش کردند که با افزایش فاصله بین ردیف، قطر تاج پوشش افزایش یافت. Hekmati et al. (2012) بررسی اثر فاصله بین و روی ردیف در گیاه مرزه (*Satureja montana*) گزارش کردند که بیشترین قطر تاج پوشش در فاصله روی ردیف ۴۵ سانتی‌متر مشاهده شد.

سطح تاج پوشش

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد، اثر متقابل سال و کود آلی و اثر متقابل سال و تراکم بر سطح تاج پوشش معنی‌دار شد. براساس نتایج بیشترین میزان سطح تاج پوشش در تیمار کود دامی و سال دوم مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که در سال دوم اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کاه غنی‌شده و شاهد مشاهده شد. بیشترین میزان میانگین سطح تاج پوشش تک بوته با ۹۳۶ سانتی‌متر مربع، در سال دوم و تیمار کود دامی و کمترین میزان میانگین سطح تاج پوشش تک بوته نیز با ۶۶۴ سانتی‌متر مربع، در سال اول و تیمار کاه غنی‌شده مشاهده شد که با شاهد (بدون کود) در سال اول اختلاف معنی‌دار نداشت (شکل ۳). افزایش سطح تاج پوشش در تیمار کود دامی در سال دوم به سبب تجزیه کامل کود دامی توسط ریز موجودات خاکری به واسطه وجود مواد آلی در کود دامی که با رهاسازی عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف موجب افزایش مواد مغذی خاک و همچنین افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، که در نهایت باعث افزایش سطح تاج پوشش در گیاه مرزه بختیاری شد. (Saki (2019 نیز اظهار داشت که بیشترین قطر تاج پوشش مرزه موتیکا (*Satureja mutica*) در تیمار کود گاوی به‌دست آمد. براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر متقابل سال و تراکم بر سطح تاج



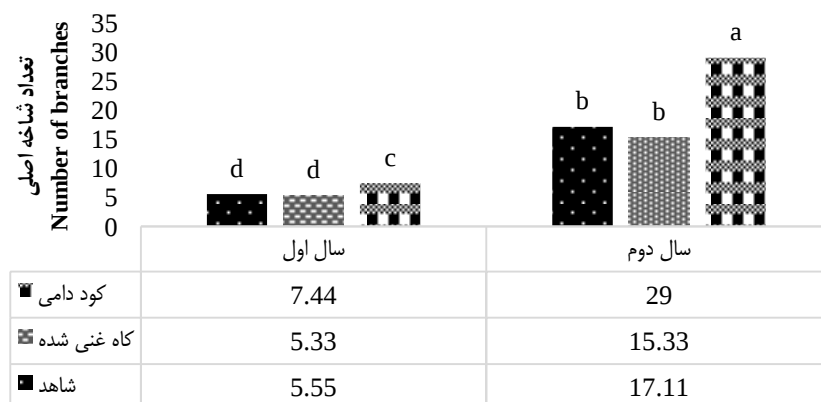
شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال و کود آلی بر سطح تاج پوشش گیاه دارویی مرزه بختیاری

Figure 3- Results of comparing average interaction effect in year and fertilizer on the Canopy area of the medicinal plant *Satureja bachtiarica*

به عنوان یک مکانیسم سازگاری برای گیاه دارویی مرزه بختیاری نیز در نظر گرفته شود. Ogbonnaya *et al.* (1998) محدود شدن شاخه‌دهی تحت شرایط خشکی را به عنوان یک مکانیسم سازگاری در نظر گرفتند که به وسیله آن گیاه تلاش می‌کند پتانسیل خود را برای مراحل بحرانی تر نمو، نظیر مرحله گل‌دهی حفظ نماید. براساس گزارشات Rahmani *et al.* (2009) و Shokrani and Pirzad (2012) در گیاه همیشه بهار تنش آبی موجب محدودیت تعداد شاخه‌ها شد. همچنین به نظر می‌رسد کود دامی به دلیل افزایش نفوذپذیری آب در خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و فراهم نمودن شرایط مناسب ریشه‌زایی و ساقه‌دهی و همچنین بهبود تغذیه گیاه موجب افزایش رشد و همچنین افزایش تعداد شاخه اصلی گیاه گردید. Sabet Teimouri *et al.* (2012) نیز اظهار داشتند که بیشترین شاخه‌دهی و تاج پوشش بوته گل اروانه بزاقی *(Hymenocrater platystegius)* در تیمار کود گاوی به دست آمد.

تعداد شاخه اصلی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد، اثر متقابل سال و کود آلی و اثر متقابل سال و تراکم بر تعداد شاخه اصلی معنی‌دار شد. براساس نتایج بیشترین میزان تعداد شاخه اصلی در تیمار کود دامی و سال دوم مشاهده شد. نتایج نشان داد که در سال دوم اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کاه غنی‌شده و شاهد مشاهده نشد. بیشترین میزان تعداد شاخه اصلی ۲۹ عدد در سال دوم و تیمار کود دامی و کمترین میزان تعداد شاخه اصلی نیز با ۵/۳۳ عدد در سال اول و تیمار کاه غنی‌شده که با شاهد (بدون کود) در سال اول اختلاف معنی‌داری نداشت، مشاهده شد (شکل ۴). افزایش تعداد شاخه اصلی در گیاه مرزه در سال دوم احتمالاً به دلیل دایمی بودن گیاه و رشد مطلوب آن به لحاظ استقرار کامل مرزه در سال دوم و همچنین تجزیه کامل کود دامی در این سال و سازگاری گیاه با شرایط محیط باشد. بنابراین کاهش شاخه‌دهی ناشی از کاهش رشد در شرایط دیم می‌تواند



شکل ۴- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال و کود آلی بر تعداد شاخه اصلی گیاه دارویی مرزه بختیاری

Figure 4- Results of comparing average interaction effect in year and fertilizer on the number of branches of the medicinal plant *Satureja bachtiarica*

از سال اول بود. بیشترین میزان عملکرد ماده خشک با ۳۵۰/۱۱ کیلوگرم در هکتار در سال دوم و تراکم زیاد مشاهده شد. با افزایش تراکم بوته در واحد سطح علی‌رغم کاهش وزن تک بوته، به دلیل افزایش تعداد بوته در هکتار و همچنین رقابت درون‌گونه‌ای بوته‌ها و استفاده بهینه از فضاهای موجود موجب بالا رفتن عملکرد ماده خشک مرزه شد. همچنین پژوهش شده‌است، در بین عوامل زراعی، تراکم گیاه در یک دامنه بهینه برای استفاده موثر از منابع محیطی مانند تابش خورشیدی، آب و مواد مغذی مهم است و نقش مهمی در تنظیم رقابت درون‌گونه‌ای گیاهان دارد (Ghiassy-Oskoei et al., 2018). همچنین گزارش شد در تراکم‌های بالا به دلیل کاهش درصد حضور علف‌های هرز، عملکرد ماده خشک بهبود یافته است (Martin and Deo, 2000). همچنین Bullock et al. (2000) نیز گزارش کردند که با افزایش تراکم به دلیل استفاده بهتر از منابع، مقدار عملکرد ماده خشک ریحان تحت تأثیر افزایش فتوسنتز، افزایش یافت.

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر متقابل کود و تراکم بر عملکرد ماده خشک گیاه معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تراکم زیاد و متوسط وجود دارد. بیشترین عملکرد ماده خشک در تیمار کود دامی و تراکم زیاد و کمترین میزان عملکرد ماده خشک گیاه در تیمار شاهد و تراکم کم مشاهده شد که با دیگر تیمارها در تراکم کم اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵). اگرچه در کود دامی پتانسیل بازگشت عناصر غذایی نسبتاً بالا است، ولی سرعت آزاد شدن نیتروژن و سایر عناصر غذایی از این کودها تدریجی و آهسته می‌باشد، به طوری که این مواد برای تجزیه شدن نیاز به گذشت زمان دارند (Markewich et al., 2010). Singh et al. (2010) بیان داشتند که مصرف کودهای آلی سبب افزایش تولید محصول گیاه نعناع (*Mentha arvensis* L.) گردید. Al-Ramamneh (2009) بیان کرد که با افزایش تراکم طی دو سال اول رشد آویشن، عملکرد ماده خشک افزایش یافت. در گل‌گاوزبان نیز با افزایش تراکم وزن خشک تک بوته کاهش یافت، به عبارت دیگر با افزایش تراکم عملکرد بیولوژیک افزایش نشان داد (Latmahalleh et al., 2011). گیاهان در تراکم پایین، شاخه و غلاف بیشتری تولید کرده، اما تعداد غلاف در واحد سطح کاهش می‌یابد بنابراین عملکرد کاهش خواهد یافت (Taufiq and Kristiono, 2016).

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر متقابل سال، کود و تراکم بر عملکرد ماده خشک معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان عملکرد ماده خشک با ۴۲۶ کیلوگرم در هکتار در سال دوم و تیمار کود دامی و تراکم زیاد مشاهده شد. Rezvani Moghaddam et al. (2015) در بررسی تأثیر کودهای زیستی و آلی بر برخی صفات گیاه دارویی مرزه نشان دادند که فرآیند

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر متقابل سال و تراکم بر تعداد شاخه اصلی معنی‌دار شد. بیشترین تعداد شاخه اصلی ۲۴/۲۲ عدد در سال دوم و تراکم متوسط مشاهده شد. کمترین میزان شاخه اصلی ۴/۴۴ عدد در سال اول و تراکم کم مشاهده شد که با تراکم‌های متوسط و زیاد در سال اول اختلاف معنی‌دار نداشت. Lebaschy et al. (2001) در بررسی‌های خود بر روی گل راعی بیشترین تعداد ساقه را در کمترین تراکم مشاهده کردند. Nurzynska-wierdak and Dzida (2009) در بررسی‌های خود روی گیاه مرزنگوش بیشترین تاج پوشش را در تراکم کمتر مشاهده نمودند که با نتایج این بررسی مطابقت داشت. Al-Ramamneh (2009) در بررسی اثر تراکم روی گیاه آویشن بیشترین قطر کانوپی را در بالاترین تراکم به‌دست آورد که با نتایج این تحقیق مطابقت نداشت.

عملکرد ماده خشک

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر متقابل سال و کود بر عملکرد ماده خشک گیاه معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که عملکرد ماده خشک در تمامی تیمارهای کود آلی در سال دوم به‌طور متوسط ۹۲ درصد بیشتر از سال اول بود. بیشترین میزان عملکرد ماده خشک گیاه با ۲۶۹/۳۳ کیلوگرم در هکتار در سال دوم و تیمار کود دامی مشاهده شد. در سال دوم زراعی بین تیمار کاه غنی شده و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بر اساس نتایج به‌دست آمده افزایش عملکرد ماده خشک گیاه مرزه در تیمار کود دامی و سال دوم می‌تواند ناشی از تجزیه کامل کود دامی در سال دوم و قابل جذب شدن آن باشد. Rezvani Moghaddam et al. (2015) در بررسی تأثیر کودهای زیستی و آلی بر برخی صفات گیاه دارویی مرزه نشان دادند که فرآیند افزایش رشد گیاه به میزان زیادی وابسته به محتوای رطوبتی گیاه است. بنابراین به نظر می‌رسد کودهای آلی با افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت موجود در خاک باعث ایجاد شرایط مناسب‌تر برای رشد گیاه و افزایش عملکرد زیستی شده باشد، همچنین بهبود ساختمان خاک و رشد بهتر ریشه‌ها نیز در افزایش رشد گیاهان در اثر کاربرد کودهای آلی مؤثر هستند. El Asgharipour and Rafiei (2011) و Gendy et al., (2001) نشان دادند که کاربرد کودهای آلی باعث افزایش وزن خشک گیاه ریحان شد. در گیاه دارویی چای نمسه یا چای آلمانی (*Orthosiphon stamineus* Benth.) نیز کود گاوی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد ماده خشک نسبت به سایر کودهای آلی شد (Affendy et al., 2010). براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر متقابل سال و تراکم بر عملکرد ماده خشک معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد با افزایش تراکم کاشت، عملکرد ماده خشک گیاه افزایش پیدا کرد که این مقدار در سال دوم زراعی بیشتر

معنی دار داشت و سبب افزایش عملکرد ماده خشک گیاه مرزه گردید. هنگامی که تعداد بوته در واحد سطح از حد مطلوب فراتر رود، رقابت درون گونه‌ای برای جذب منابع محدود غذایی افزایش می‌یابد (Jiang et al., 2013). همچنین (Naghdi Badi et al., 2002) نیز دریافتند که در گیاه دارویی آویشن با کاهش فاصله ردیف و افزایش تراکم بوته، عملکرد ماده خشک افزایش پیدا کرد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

رشد گیاه به میزان زیادی وابسته به محتوای رطوبتی گیاه است. بنابراین به نظر می‌رسد کودهای آلی با افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت موجود در خاک باعث ایجاد شرایط مناسب‌تر برای رشد مرزه و افزایش عملکرد زیستی شده باشد. بهبود ساختمان خاک و رشد بهتر ریشه‌ها نیز در افزایش رشد و عملکرد گیاهان در اثر کاربرد کودهای آلی مؤثر هستند. اثر تراکم بر عملکرد ماده خشک به لحاظ افزایش بوته در واحد سطح و استقرار و رشد بیشتر بوته‌ها در سال دوم افزایش

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کود آلی و تراکم بر عملکرد ماده خشک (کیلوگرم در هکتار) گیاه مرزه بختیاری
Table 5- Results of comparing average interaction effect in fertilizer and density on the dry yield of the medicinal plant *Satureja bachtiarica*

Density تراکم کود آلی Organic fertilizer	تراکم زیاد High density	تراکم متوسط Medium density	تراکم کم Low density
کود دامی Cattle manure	290.66 ^a	176.83 ^{bc}	104.16 ^d
کاه گندم غنی شده Enriched wheat straw	223.50 ^b	127.33 ^{cd}	84.16 ^d
شاهد Control	229.83 ^b	105.66 ^d	79.83 ^d

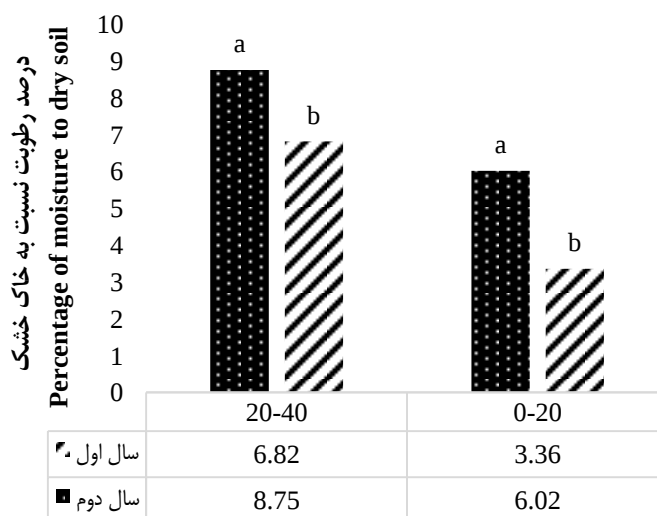
وزن تر گیاه مشاهده شد که با یکدیگر اختلاف معنی دار نداشتند. براساس نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل کود آلی و تراکم بر درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه معنی دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه با ۵۲/۵۸ درصد در تیمار کاه غنی شده و تراکم متوسط و در سایر تیمارها کمترین میزان درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه مشاهده شد.

درصد رطوبت نسبت به خاک خشک در عمق‌های ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر متقابل سال و درصد رطوبت نسبت به خاک خشک در عمق‌های ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ گیاه معنی دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان درصد رطوبت نسبت به خاک خشک در عمق‌های ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ درصدی در سال دوم مشاهده شد که دلیل آن می‌تواند افزایش ۴۰ درصدی میزان بارندگی در سال دوم نسبت به سال اول باشد که در نهایت سبب افزایش عملکرد اقتصادی مرزه بختیاری در سال دوم شد (شکل ۶).

درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه

بر اساس نتایج موجود در جدول ۳ درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه به‌طور معنی دار تحت تاثیر مصرف کود آلی و تراکم‌های مختلف قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر متقابل سال و کود بر درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه معنی دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین میزان درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه با ۵۰/۶۳ درصد در سال اول و تیمار کود کاه غنی شده مشاهده شد، که دلیل آن می‌تواند میزان ۲۸ درصد بارندگی کمتر در سال اول و تنش گیاه به لحاظ کمبود رطوبت قابل دسترس گیاه باشد، همچنین نیز در سال دوم زراعی بین تمامی تیمارها اختلاف معنی داری وجود نداشت. براساس نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل سال و تراکم بر درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه معنی دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد با افزایش تراکم کاشت، درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه افزایش پیدا کرد که این مقدار در سال اول زراعی بیشتر از سال دوم بود. بیشترین میزان درصد وزن خشک نسبت به وزن تر گیاه با ۵۰/۹۷ درصد در سال اول و تراکم متوسط به‌دست آمد و در سایر تیمارها در سال اول و دوم کمترین میزان درصد وزن خشک نسبت به



شکل ۶- مقایسه میانگین درصد رطوبت نسبت به خاک خشک در عمق‌های ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متر در سال‌های اول و دوم
Figure 6- Comparison of mean moisture content relative to dry soil at depths of 0-20 and 20-40 cm in the first and second years

نتیجه‌گیری

زراعی نسبت به سال اول به‌طور معنی‌داری بالاتر بود، همچنین نیز تیمار کود گاوی و تراکم زیاد بهترین تیمار جهت بهبود صفات اندازه‌گیری شناخته شد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. Lebaschi *et al.* (2017) در پژوهش تاثیر تراکم بوته بر عملکرد کمی و کیفی سه گونه آویشن در شرایط دیم سه استان کشور دریافتند افزایش عملکرد ماده خشک در تراکم بالا در شرایط دیم استان‌های کرمانشاه، کردستان و تهران نشان‌دهنده ظرفیت بالای تولید آویشن در شرایط دیم بوده و به عبارت دیگر کاهش میزان تولید در سال اول و افزایش تولید در سال سوم آزمایش می‌تواند نشان‌دهنده توان سازگاری و تولید بالاتر این گونه در شرایط اقلیمی متفاوت در سال‌های مورد آزمایش در شرایط دیم باشد.

در این تحقیق که مقایسه‌ای بین تیمارهای مختلف کود آلی و تراکم‌های مختلف بود مشخص گردید که تیمار کود دامی همراه با تراکم زیاد دارای برتری در کلیه صفات مورفولوژیک و عملکرد اقتصادی (ماده خشک) نسبت به سایر تیمارها بود، که این امر حکایت از موفقیت در افزایش پتانسیل حفظ رطوبت و تامین عناصر غذایی در خاک به لحاظ کاربرد کود دامی و همچنین کودپذیری مناسب گیاه و نیز تناسب و رقابت بهینه درون گونه‌ای در راستای سازگاری، استقرار و عملکرد بهتر مرزه بختیاری در تراکم‌های زیاد از ویژگی‌هایی است که می‌توان از گیاه دارویی مرزه بختیاری در برنامه‌های آبی دیم‌کاری گیاهان دارویی در دیم‌زارهای کم بازده مناطق نیمه استپی سرد کشور مورد توجه و استفاده قرار گیرد.

در دیم‌کاری انتخاب گیاهی که بتواند در شرایط کمبود بارندگی، تابستان طولانی و گرم و همچنین افزایش پتانسیل منفی آب در خاک با ایجاد پتانسیل منفی‌تر در گیاه آب مورد نیاز برای رشد و انجام مراحل کامل فنولوژیک خود را تأمین نماید یک اصل مهم و تعیین‌کننده است. بنابراین به نظر می‌رسد گیاه مرزه بختیاری با توجه به برخی خصوصیات مورفولوژیک مانند شکل بوته و نوع برگ و طول ریشه به‌عنوان یک گیاه دارویی مقاوم و سازگار با شرایط دیم مناطق نیمه استپی سرد همانند منطقه دماوند که از لحاظ اکولوژیکی با حداقل و حداکثر دمای مطلق 15°C - و 35°C + و میانگین بارندگی حدود ۳۴۰ میلی‌متر در سال که حدود ۱۶۵ میلی‌متر آن در فصل بهار به‌عنوان فصل رشد و استقرار گیاه بارش می‌شود، می‌تواند مورد کشت قرار گیرد. با توجه به نتایج این تحقیق، در شرایط دیم مناطق نیمه استپی سرد می‌توان تیمار کود دامی همراه با تراکم زیاد را با بیشترین عملکرد اقتصادی (ماده خشک) در طول تابستان نسبتاً طولانی و رطوبت بسیار کم زمین، به‌عنوان تیمار مقاوم به خشکی با توان تولید کمی و کیفی بالا (به لحاظ عدم استفاده از کودهای شیمیایی) معرفی کرد. Saki (2019) در بررسی تأثیر تراکم و کودهای آلی بر صفات کمی و کیفی گیاه دارویی مرزه موتیکا (*Satureja mutica*) در شرایط دیم نشان داد مقادیر صفات اندازه‌گیری شده به دلیل سازگاری گیاه با شرایط محیطی در سال دوم

References

- Affendy, H., Aminuddin, M., Arifin, A., Mandy, M., Julius, K., and Tamer, A. T. 2010. Effects of light intensity on *Orthosiphon stamineus* Benth. seedlings treated with different organic fertilizers. International Journal of Agricultural Research 5: 201-207.

2. Al-Ramamneh, E. A. D. M. 2009. Plant growth strategies of *Thymus vulgaris* L. in response to population density. *Industrial Crops and Products* 30: 389-394.
3. Asgharipour, M., and Rafiei, M. 2011. Effect of different organic amendments and drought on the growth and yield of basil in the greenhouse. *Advances in Environmental Biology* 5: 1233-1239. (in Persian with English abstract).
4. Basak, B. B., Jat, R. S., Gajbhiye, N. A., Saha, A., and Manivel, P. 2019. Organic nutrient management through manures, microbes and biodynamic preparation improves yield and quality of Kalmegh (*Andrographis paniculata*), and soil properties. *Journal of Plant Nutrition* 43: 548-562.
5. Bullock, D. G., Nielson, R. I., and Nyquist, W. E. 2000. A growth analysis comparison of sweet basil growth in conventional and equidistant plant spacing. *Crop Science* 29: 256-258.
6. El Gendy, S. A., Hosni, A. M., Omer, E. A., and Reham, M. S. 2001. Variation in herbage yield, essential oil yield and oil composition on sweet basil (*Ocimum basilicum*) grown organically in a newly reclaimed land in Egypt. *Arab Universities Journal of Agricultural Science* 9: 915-933.
7. Emami Bistgani, Z., Siadat, A., Torabi, M., Bakhshandeh, A., Alami Saeed, K. H., and Shiresmaeili, H. 2012. Influence of plant density on light absorption and light extinction coefficient in sunflower cultivars. *Research on Crops* 13 (1): 174-179.
8. Emami Bistgani, Z. E., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., Pirbalouti, A. G., Hashemi, M., Maggi, F., and Morshedloo, M. R. 2018. Application of combined fertilizers improves biomass, essential oil yield, aroma profile, and antioxidant properties of *Thymus daenensis* Celak. *Industrial Crops and Products* 121: 434-440.
9. Ferreira, A. M., and Abreu, F. G. 2001. Description of development, light interception and growth of sunflower at two sowing dates and two densities. *Mathematics and Computers in Simulation* 56: 369-84.
10. Ghiasy-Oskoei, M., Aghaalkhani, M., Sefidkon, F., Mokhtassi-Bidgoli, A., and Ayyari, M. 2018. Blessed thistle agronomic and phytochemical response to nitrogen and plant density. *Industrial Crops and Products* 122: 566-573.
11. Hekmati, M., Hadian, J., and Tabaei Aghdaei, S. R. 2012. Evaluating the effect of planting density on yield and morphology of savory (*Satureja khuzistanica* Jamzad). *Annals of Biological Research* (in Persian with English abstract).
12. Jami, M. Gh., Ghavavand, A., Modares sanavi, A. M., and Mokhtas Bigdeli, A. 2018. Evaluation of agronomic traits and quality of sunflower seed in response to nitrogen and zeolite under different irrigation regimes. (in Persian with English abstract).
13. Jamzad, Z. 2009. Thyme and Horses of Iran. *Forests and Rangelands Research Institute of Iran Publications*, Tehran, 171 p. (in Persian).
14. Jiang, W., Wang, K., Wu, Q., Dong, S., Liu, P., and Zhang, J., 2013. Effects of narrow plant spacing on root distribution and physiological nitrogen use efficiency in summer maize. *Crop Journal* 1: 77-83.
15. Kizil, S., and Tonçer, O. 2005. Effect of different planting densities on yield and yield components of wild thyme (*Thymbra spicata* var. *spicata*). *Acta Agronomica Hungarica* 53 (4): 417-422.
16. Latmahalleh, D. A., Niyaki, S. A. N., and Vishekaei, M. N. S. 2011. Effects of plant density and planting pattern on yield and yield components of Iranian ox-tongue (*Echium amoenum* Fisch and Mey) in north of Iran. *Journal of Medicinal Plant Research* 5: 932-937.
17. Lebaschy, M. H., Matin, A., Amin, Gh., Sharifi, E., and Ahmadi, L. 2001. Effects of manure, chemical fertilizer and plant density on hypericin content of *Hypericum perforatum*. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research Quarterly* 10: 64-39. (in Persian with English abstract).
18. Lebaschi, M. H. 2008. Dry farming of Medicinal Plants. Pooneh Publications. 96 pages. -13. (in Persian).
19. Lebaschy, M. H., Sharifi Ashoorabadi, E., Makizadeh Tafti, M., Asadi Sanam, S., and Karimzadeh Asl, Kh. 2017. effect of plant density on quantitative and qualitative yield of three species of (*Thymus*) in dry farming conditions of three provinces. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 33 (6). (in Persian with English abstract).
20. Markewich, H. A., Mbugua, D., and Cherney, D. October 2010. Effects of storage methods on chemical composition of manure and manure decomposition in soil in small-scale Kenyan systems.
21. 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.
22. Mir, B., Ghanbari, A., Ravan, S., and Asgharipour, M. 2011. Effects of plant density and sowing date on yield and yield components of *Hibiscus sabdarij* in Zabol region. *Advances in Environmental Biology* 5: 1156-1161.
23. Mirmostafaei, S., Azizi Errani, M., Bahreyni, M., Aruei, H., and Orojalian, P. 2013. Effect of manure and urban areas compost on growth, yield and essential oil content and microorganisms of valerian. *Journal of Plant Production-agricultural Science* 10 (2): 1-10. (in Persian with English abstract).
24. Mokhtari Asl, A., and Mesdaghi, M. 2007. Estimation of production of two species of rangeland, *Atriplex verruciferum* and *Salsola dendroides*, using crown and volume coverage parameters. *Journal of Research and Construction in Natural Resources* 77: 141-147.

25. Naghdi Badi, H., Yazdani, F., and Nazari, S. 2002. Seasonal changes in yield and composition of thyme essential oil (*Thymus vulgaris* L.). Planted at different densities. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research Quarterly 5: 51-56. (in Persian with English abstract).
26. Nooshkam, A., Majnoun Hoseini, J., Hadian, M. R., Jahansooz, and Khavazi, K. 2014. The effects of irrigated and dryland farming conditions on vegetative and essential oil yield of two medicinal species, *Satureja khuzistanica* Jamzad and *S. rechingeri* Jamzad in North of Khuzestan. (in Persian with English abstract).
27. Nurzynska-wierdak, R., and Dzida, K. 2009. Influence of plant density and term of harvest on yield and chemical composition of sweet marjoram (*Origanum majorana* L.). Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus 8 (1): 51-61.
28. Ogbonnaya, C. L., Nwalozie, M. C., Roy-Macauley, H., and Annerose, D. J. M. 1998. Growth and water relations of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) under water deficit on a sandy soil. Industrial Crops and Products. 8: 65-76.
29. Pandey, V., Patel, A., and Patra, D. D. 2015. Amelioration of mineral nutrition productivity, antioxidant activity and aroma profile in marigold (*Tagetes minuta* L.) with organic and chemical fertilization. Industrial Crops and Products 76: 378-385.
30. Pirzad, A., and Shokrani, F. 2012. Effects of iron application on growth characters and flower yield of *Calendula officinalis* L. under water stress. World Applied Sciences Journal 18 (9): 1203-1208. (in Persian with English abstract).
31. Rahmani, N., Valadabadi, A. R., Daneshian, J., and Bigdeli, M. 2009. The effect of different levels of drought and nitrogen stress on oil yield in medicinal plants is (*Calendula Officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 24 (1): 108-101. (in Persian with English abstract).
32. Rezvani Moghaddam, P., Ghafouri, A., Bakhshai, S., and Jafari, L. 2015. Effects of Organic and Organic Fertilizers on Quantitative and Essential Characteristics of (*Satureja hortensis* L.). Journal of Agricultural Ecology 5 (2): 105-112. (in Persian with English abstract).
33. Sabet Teimouri, M., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2012. Comparison of essential oil percent of Gol-e-Arvaneh Bezghi (*Hymenocrater platistegius* Rech. F.) in six habitats of Khorasan province, Iran. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 12: 643-646. (in Persian with English abstract).
34. Saki, A. 2019. The effect of organic fertilizers on quantitative and qualitative plant density and Drug Savory *satureja mutica* under dryland conditions of Damavand. PhD Thesis. Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University. 210 pp.
35. Saki, A., Mozafari, H., Karimzadeh Asl, Kh., Sani, B., and Mirza, M. 2019. Plant Yield, Antioxidant Capacity and Essential Oil Quality of *Satureja Mutica* Supplied with Cattle Manure and Wheat Straw in Different Plant Densities. Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis 0010-3624.
36. Sharma, V. K., and Singh, R. 2002. Effect of farmyard manure and fertilizers applied to maize on grain yield and available nutrient status in maize-wheat sequence in dryland farming submontane conditions of Himachal Pradesh. Journal of Hill Research 9: 395-399.
37. Singh, M., and S. Ramesh. 2002. Response of sweet basil (*Ocimum basilicum*) to organic and inorganic fertilizer in semi-arid tropical conditions. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science 24 (4): 947-950.
38. Singh, M., Singh, A., Singh, S., Tripathi, R. S., Singh, A. K., and Patra, D. D. 2010. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) as a green manure to improve the productivity of a menthol mint (*Mentha arvensis* L.) intercropping system. Industrial Crops and Products 31 (2): 289-293.
39. Taufiq, A., and Kristiono, A. 2016. Effect of plant population on character expression of five mungbean genotypes under different soil fertility. Agritva Journal of Agricultural Science 38 (3): 251-260.
40. Todorovic, G., Jevdjovic, R., and Kostic, M. 2008. Effects of sowing densities and locations on common thyme (*Thymus vulgaris* L.). Poljoprivredne aktuelnosti 1-2: 83-89.
41. Zokaei, A., Ahmadian, A., Seifzadeh, S., and Taheri, M. 2014. The effect of densities and planting patterns on physiological and crop traits of basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Crop Research 6 (2): 143-158. (in Persian with English abstract).



Evaluation of Morphological Traits and Yield of *Satureja bachtiarica* Affected by Density and Organic Fertilizers under Dryland Farming Conditions

A. Mirjalili¹, M. H. Lebaschi^{2*}, M. R. Ardakani³, H. Heidari Sharifabad⁴, M. Mirza⁵

Received: 22-04-2020

Accepted: 23-08-2020

Introduction

Savory plant (*Satureja bachtiarica*) belonging to the Lamiaceae family and the genus *Satureja* is considered as a valuable medicinal plant. Flowering branches are widely used in food and pharmaceutical industries. This plant is native of Iran and grows well in the western, southwestern and central regions of Iran. Cultivation of permanent medicinal plants adapted to the dryland farming conditions of each region can be the best option for alternative annual cereal cultivation. Establishment of permanent medicinal plants, while creating suitable vegetation, can prevent erosion caused by repeated annual plowing. One of the main pillars in sustainable agriculture is the use of organic fertilizers in crop ecosystems with the aim of eliminating or significantly reducing the harms of chemical fertilizers. Organic fertilizers help to human health and environment. Also it is absolutely evident the importance of their application to medicinal plants that are directly related to human health. In dryland farming condition, plant density is an effective strategy to improve plant yield, which depends on climate and rainfall. At optimum density, plants make the most of environmental factors such as light, moisture, and nutrients. Plant density per unit area is one of the important factors in creating competition among plants. The appropriate distance between planting rows and between plants on the row are usable growth space of each plant. Proper density is one of the important factors in the success of dry farming of medicinal plants. Therefore, achieving proper density in different areas is very important.

Materials and Methods

An experiment was conducted as a split plot based on randomized complete block design with three replications at Homand rangeland research station of Damavand in 2017 and 2018 in dryland farming conditions. Organic fertilizer as a main factor included three levels of cattle manure (30 tons ha⁻¹), wheat straw (10 tons ha⁻¹) enriched with ammonium sulfate, and control (no fertilizer). Plant density included three levels of 26666, 40000, and 80000 plants ha⁻¹ as a sub-factor. Measured traits included plant height, canopy area, number of main branches, shoot dry matter yield, percentage of dry weight to fresh weight of plant, and percentage of moisture to dry soil at 0-20 and 20-40 cm depths. Analysis of variance was performed using SPSS software. The statistical significance of differences in mean values was assessed by Duncan's multiple range test.

Results and Discussion

The results showed significant differences between treatments in measured traits. Among the measured traits, the effect of organic fertilizer and plant density on plant height, canopy area, number of main branches, shoot dry matter yield were significant at 1% level. The interaction effect of year, organic fertilizer and plant density showed that the highest of shoot dry matter yield (426 kg ha⁻¹) was related to cattle manure application and high plant density in second year. The highest plant height and number of main branches were observed 34 cm and 29 numbers, respectively in treatment of cattle manure and second year. Organic fertilizers increased the storage capacity of soil moisture and created suitable conditions for growth and increased the biological *Satureja bachtiarica* yield. Improving soil structure and nutrients and better root growth increased plant growth and yield due to the use of organic fertilizers. The plant density due to higher plant per unit area, plant competition, optimal use of available space, and also establishment and more plant growth in the second year increased significantly the *Satureja bachtiarica* yield.

Conclusions

This study showed that understanding the success of establishment and full tolerance of this plant under dryland farming conditions and the minimum soil moisture in the cold semi-steppe region (Damavand) with an

- 1- PhD student of Agronomy, Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
 - 2- Associate Professor of Medicinal Plants and by Products Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
 - 3- Professor in Department of Agronomy, Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj, Iran
 - 4- Professor in Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
 - 5- Professor of Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran
- (* - Corresponding Author Email: lebaschy@rifr-ac.ir)

average rainfall about 340 mm per year and also the use of cattle manure and high plant density can increase the economic yield of *Satureja bachtiarica* in second year of cultivation.

Keywords: Ambrothermic diagram, Canopy area, Cattle manure, Dry weight, Percentage of dry weight

Contents

Full Research Papers

Effect of Different Arrangements of Intercropping for Sunflower (<i>Helianthus annus</i> L.), Common Bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) and Pumpkin (<i>Cucurbita pepo</i> L.) on Yield and Yield Components	266
A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, M. Hooshmand, S. Khorramdel	
Effect of Iron and Zinc Nano Chelates on Yield and Yield Components of Black Cumin Medicinal Plant (<i>Nigella sativa</i> L.)	278
S. H. Davoodi, A. Biyabani, A. Rahemi karizaki, S. A. M. Modares sanavi, E. Gholamalipour Alamdari, M. Zaree	
Evaluation of Plant Growth Bacteria (PGPR) on Number of node Leaves and Capsules in Sesame Plant under Field Condition	294
S. F. Fazeli Kakhki, M. Eskandari, J. Daneshian, S. Anahid	
Evaluation of Weed Control on Biochemical Characteristics, Relative Water Content, and Grain Yield of Mixed Cropping of Wheat Cultivars	307
A. Rezaie, E. Bijanzadeh, A. Behpouri	
Evaluation of Biomass Yield and Nitrogen and Phosphorus Efficiency Indicators of <i>Portulaca oleracea</i> L.) Affected by Organic, Chemical and Biological Fertilizers	321
H. Javadi, P. Rezvani Moghaddam, M. H. Rashed Mohasel, M. J. Seghatoleslami	
Effect of Planting Date on Agro-Meteorological Indices at Different Phenological Stages of Potato Cultivars	338
A. Darabi, Sh. Omidvari	
Effect of Rice-Duck co-Cultivation on Rice Yield, Water Productivity and Weed Control in Different Cultivation Systems	355
K. Mansour Ghanaei-Pashaki, Gh. Mohsen-abadi, M. H. Biglouei, M. B. Farhangi	
Evaluation of Morphological Traits and Yield of <i>Satureja bachtiarica</i> Affected by Density and Organic Fertilizers under Dryland Farming Conditions	370
A. Mirjalili, M. H. Lebaschi, M. R. Ardakani, H. Heidari Sharifabad, M. Mirza	

Iranian Journal of Field Crops Research

Ferdowsi University of Mashhad
Center of Excellence for Special Crops (CESC)

Vol. 18

No. 3

2020

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

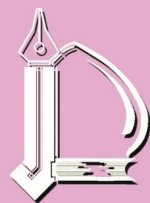
Emam, Y.	Crop Physiology	Prof., Shiraz University
Bagheri, A.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Behdani, M.A.	Crop Ecology	Prof., University of Birjand
Banayan Awal, M.	Agro-Environment Modeling	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Jami Alahmadi, M.	Crop Physiology	Assoc. 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
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://jcesc.um.ac.ir>



Ferdowsi University
of Mashhad

Vol.18 No.3

2020

Iranian Journal of Field Crops Research

ISSN:2008-1472

Contents

Full Research Papers

- Effect of Different Arrangements of Intercropping for Sunflower (*Helianthus annus* L.), Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) on Yield and Yield Components.....** 266
A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, M. Hooshmand, S. Khorramdel

- Effect of Iron and Zinc Nano Chelates on Yield and Yield Components of Black Cumin Medicinal Plant (*Nigella sativa* L.).....** 278
S. H. Davoodi, A. Biyabani, A. Rahemi karizaki, S. A. M. Modares sanavi, E. Gholamalipour Alamdari, M. Zaree

- Evaluation of Plant Growth Bacteria (PGPR) on Number of node Leaves and Capsules in Sesame Plant under Field Condition** 294
S. F. Fazeli Kakhki, M. Eskandari, J. Daneshian, S. Anahid

- Evaluation of Weed Control on Biochemical Characteristics, Relative Water Content, and Grain Yield of Mixed Cropping of Wheat Cultivars** 307
A. Rezaie, E. Bijanzadeh, A. Behpour

- Evaluation of Biomass Yield and Nitrogen and Phosphorus Efficiency Indicators of Portulaca (*Portulaca oleracea* L.) Affected by Organic, Chemical and Biological Fertilizers.....** 321
H. Javadi, P. Rezvani Moghaddam, M. H. Rashed Mohasel, M. J. Seghatoleslami

- Effect of Planting Date on Agro-Meteorological Indices at Different Phenological Stages of Potato Cultivars.....** 338
A. Darabi, Sh. Omidvari

- Effect of Rice-Duck co-Cultivation on Rice Yield, Water Productivity and Weed Control in Different Cultivation Systems** 355
K. Mansour Ghanaei-Pashaki, Gh. Mohsen-abadi, M. H. Biglouei, M. B. Farhangi

- Evaluation of Morphological Traits and Yield of *Satureja bachtiarica* Affected by Density and Organic Fertilizers under Dryland Farming Conditions.....** 370
A. Mirjalili, M. H. Lebaschi, M. R. Ardakani, H. Heidari Sharifabad, M. Mirza