نشریه علمی - پژوهشی

بوم شناسی کشاورزی

جلد ۷ شماره ۳

پاییز ۱۳۹٤

۲۰۰۸-۷۷۱۳ :شاپا

عنوان مقالات

بررسی تأثیر کودهای اوره، سولفات‌آهن و ورمی‌کمپوست بر خصوصیات رویشی و عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در شهرستان درگز ۲۸۵

مهدیه زمردی، شاهین شاهسونی، مهدی برادران فیروز آبادی و علی اصغر نادری

بررسی چرخه درازمدت کربن و میزان ترسیب آن در سیستم کشاورزی ایران: II- ترسیب و انتشار کربن برای محصولات زراعی مختلف با استفاده از مدل ICBM ۲۹۹

مهدی نصیری محلاتی، علیرضا کوچکی، روح الله مرادی و حامد منصوری

شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) و خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب و نیتروژن در استان خراسان رضوی با مدل SUCROS ۳۱۵

رضا دیهیم‌فرد، مهدی نصیری محلاتی و علیرضا کوچکی

ارزیابی اثر کود دامی و همزیستی میکوریزایی بر عملکرد کمی و روغن ارقام گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.) ۳۳۱

پرویز رضوانی مقدم، علی نوروزیان و سید محمد سیدی

ارزیابی شاخص‌های رقابت در کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum* L.) و نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) ..... ۳٤٤ تحت تأثیر نیتروژن

طیبه مشهدی، علی نخ زری مقدم و حسین صبوری

ارزیابی توان رقابتی کنجد (*Sesamum indicum* L.) و ماش (*Vigna radiata* L.) ..... ۳٥٦ در دو بوم‌نظام تک‌کشتی و کشت مخلوط

سجاد راستگو، امیر آینه بند و اسفندیار فاتح

پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی بخشی از اراضی قزوین برای کشت گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از RS و GIS ۳٦۸

فریدون سرمدیان و عباس طاعتی

بررسی خصوصیات زراعی و شاخص‌های سودمندی در کشت مخلوط افزایشی نخود (*Cicer arietinum* L.) و سیاهدانه(*Nigella sativa* L.) ۳۸۱

اسماعیل رضایی چیانه و اسماعیل قلی‌نژاد

امکان‌سنجی کشت یونجه یکساله (*Medicago scutellata* L. Mill.) در شهرستان آق‌قلا (استان گلستان) با استفاده از GIS ۳۹۷

نیلوفر نصراللهی، حسین کاظمی و بهنام کامکار

ارزیابی جذب و کارآیی مصرف نور توسط کانوپی کشت مخلوط شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) و شوید (*Anethum graveolens* L.) ٤۱۲

مهدی یوسف‌نیا، محمد بنایان اول و سرور خرم‌دل

چکیده‌های مبسوط ۲۸٥-٤۱۲

نشریه بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)

دانشگاه فردوسی مشهد

با شماره پروانه 89/22515 مورخه 89/9/28 از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی

درجه علمی پژوهشی شماره 89/3/11/52479 مورخه 89/9/8 از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

جلد 7 شماره 3 پاییز 1394

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: دکتر علیرضا کوچکی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

سردبیر: دکتر پرویز رضوانی مقدم، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

اعضای هیات تحریریه (به‌ترتیب حروف الفبا)

دکتر گودرز احمدوند، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

دکتر محمدرضا چائی چی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

دکتر سرور خرم دل، استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر عادل دباغ محمدی‌نسب، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

دکتر پرویز رضوانی‌مقدم، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر احمد زارع فیض‌آبادی، استاد مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی

دکتر سعید زهتاب سلماسی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

دکتر رضا قربانی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر علیرضا کوچکی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر محمد گلوی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

دکتر مهدی نصیری‌محلاتی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر داخلی: دکتر سرور خرم‌دل، استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چاپ: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

شمارگان: 30 نسخه

قیمت: 5000 ریال (دانشجویان 2500 ریال)

نشانی: مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه نشریات علمی، دفتر نشریه بوم شناسی کشاورزی، صندوق پستی: 1163-91775

تلفن: 051-38804654 **نمابر:** 051-38787430

پست الکترونیکی: agroecology@um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت مجله به آدرس زیر بصورت مقاله کامل نمایه شده است.

http://agry.um.ac.ir/index.php/agroecology

این نشریه در پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:

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

بسم الله الرحمن الرحیم

مندرجات

بررسی تأثیر کودهای اوره، سولفات‌آهن و ورمی‌کمپوست بر خصوصیات رویشی و عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در شهرستان درگز 285

مهدیه زمردی، شاهین شاهسونی، مهدی برادران فیروز آبادی و علی اصغر نادری

بررسی چرخه درازمدت کربن و میزان ترسیب آن در سیستم کشاورزی ایران: II- ترسیب و انتشار کربن برای محصولات زراعی مختلف با استفاده از مدل ICBM 299

مهدی نصیری محلاتی، علیرضا کوچکی، روح الله مرادی و حامد منصوری

شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) و خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب و نیتروژن در استان خراسان رضوی با مدل SUCROS 315

رضا دیهیم‌فرد، مهدی نصیری محلاتی و علیرضا کوچکی

ارزیابی اثر کود دامی و همزیستی میکوریزایی بر عملکرد کمی و روغن ارقام گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.) 331

پرویز رضوانی مقدم، علی نوروزیان و سید محمد سیدی

ارزیابی شاخص‌های رقابت در کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum* L.) و نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) تحت تأثیر نیتروژن 344

طیبه مشهدی، علی نخ زری مقدم و حسین صبوری

ارزیابی توان رقابتی کنجد (*Sesamum indicum* L.) و ماش (*Vigna radiata* L.) در دو بوم‌نظام تک‌کشتی و کشت مخلوط 356

سجاد راستگو، امیر آینه بند و اسفندیار فاتح

پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی بخشی از اراضی قزوین برای کشت گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از RS و GIS 368

فریدون سرمدیان و عباس طاعتی

بررسی خصوصیات زراعی و شاخص‌های سودمندی در کشت مخلوط افزایشی نخود (*Cicer arietinum* L.) و سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) 381

اسماعیل رضایی چیانه و اسماعیل قلی‌نژاد

امکان‌سنجی کشت یونجه یک‌ساله (*Medicago scutellata* L. Mill.) در شهرستان آق‌قلا (استان گلستان) با استفاده از GIS 397

نیلوفر نصراللهی، حسین کاظمی و بهنام کامکار

ارزیابی جذب و کارآیی مصرف نور توسط کانوپی کشت مخلوط شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) و شوید (*Anethum graveolens* L.) 412

مهدی یوسف‌نیا، محمد بنایان اول و سرور خرم‌دل

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۲۹۸-۲۸۵

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 285-298

بررسی تأثیر کودهای اوره، سولفات‌آهن و ورمی‌کمپوست بر خصوصیات رویشی و عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در شهرستان درگز

مهدیه زمردی[1*]، شاهین شاهسونی[2]، مهدی برادران فیروز آبادی[3] و علی اصغر نادری[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۶

چکیده

به منظور بررسی اثر کود ورمی‌کمپوست، کودهای اوره و سولفات‌آهن بر خصوصیات رویشی و عملکرد دانه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) آزمایشی در شهرستان درگز واقع در استان خراسان رضوی در سال ۱۳۹۱ اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه عامل و سه تکرار انجام شد. در این آزمایش سه سطح کود اوره (۵۰، ۱۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) به عنوان عامل اول و دو سطح ورمی‌کمپوست (مصرف هفت تن بر هکتار و عدم مصرف) به عنوان عامل دوم و دو سطح سولفات‌آهن (مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار و عدم مصرف) به عنوان عامل سوم در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که اثر ترکیب تیماری اوره × ورمی‌کمپوست بر ارتفاع ساقه، قطر طبق، وزن خشک ساقه و عملکرد آفتابگردان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. ترکیب ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × ورمی‌کمپوست × سولفات‌آهن سبب افزایش ارتفاع ساقه، قطر طبق، وزن خشک دمبرگ و ساقه گردید. ترکیب تیماری ورمی‌کمپوست × سولفات‌آهن بر وزن خشک برگ، دمبرگ، ساقه و طبق بسیار معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود. کاربرد ترکیب تیماری ورمی‌کمپوست × سولفات‌آهن بیشترین میزان قطر ساقه، وزن خشک برگ را به همراه داشت. بیشترین عملکرد دانه به مصرف ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × ورمی‌کمپوست تعلق داشت. کاربرد سولفات‌آهن به همراه مقادیر مختلف کود اوره موجب کاهش عملکرد دانه شد. کمترین میزان عملکرد دانه مربوط به ترکیب تیماری ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × سولفات‌آهن بود. بنابراین چنین به نظر می‌رسد که کاربرد تلفیقی کود آلی ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی اوره و سولفات‌آهن در منطقه درگز می‌تواند در بهبود خصوصیات رویشی و عملکرد دانه آفتابگردان مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: کود آلی، گیاه دانه روغنی، نیتروژن

مقدمه

در میان عناصر غذایی نیتروژن مهمترین عامل محدودکننده رشد گیاهان است. چرا که گیاهان به این عنصر بیش از تمام عناصر دیگر نیازمند می‌باشند. میان اتم‌های موجود در گیاه که از خاک گرفته شده‌اند نیتروژن بعد از هیدروژن بیشترین سهم را داراست (Malakouti & Homayi, 1994). نیتروژن در خاک، به خصوص در لایه سطحی بیشتر به صورت ترکیبات آلی وجود دارد، بنابراین فرآیند تجمع نیتروژن در خاک با تجمع مواد آلی رابطه نزدیک دارد (Salardini, 2003). میزان ماده آلی در خاک‌های کشور به دلایل مختلفی از جمله بارندگی کم، تناوب زراعی نامناسب و عدم استفاده از کودهای آلی کم است (Salardini, 2003).

اوره منبع نیتروژن است که به طور گسترده‌ای در سراسر جهان در بخش کشاورزی استفاده می‌شود. نیتروژن یک ماده معدنی مغذی و بسیار مهم برای گیاهان می‌باشد و به عنوان یک منبع مناسب رسیدن به عملکرد بالا به ویژه برای ارقام اصلاح شده ضروری است؛ در حال حاضر مشکلات اقتصادی ناشی از روند رو به رشد هزینه کودهای شیمیایی و اثرات سوء زیست‌محیطی ناشی از استفاده بی‌رویه و غیراصولی این کودها از جمله مشکلات کشاورزی پایدار می‌باشد

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار گروه علوم خاک، استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات و مربی گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود
(*- نویسنده مسئول: Email: mzsoil53@live.com)

(Mulvaney et al., 2009). مطالعات نگو و همکاران (Ngo et al., 2012) نشان داد که کاربرد کودهای غیرآلی می‌تواند اثرات منفی همچون اسیدی شدن خاک، افزایش تلفات آبشویی و کاهش جوامع میکروبی خاک را به همراه داشته باشد. جایگزین کردن کودهای غیرآلی و اصلاح خاک با مواد آلی به شکل کمپوست، منجر به کاهش این اثرات منفی می‌شود.

کمپوست‌ها مواد آلی هستند که مزیت آن‌ها در ثبات و همگن بودن آن‌ها است (Arancon & Edwards, 2005). نتایج مطالعات در مورد افزایش کمپوست به خاک نشان می‌دهند که کمپوست باعث بهبود حاصلخیزی خاک (Caravaca et al., 2002)، تغذیه گیاه و پوشش گیاهی (Larchevêque et al., 2005) می‌شود. علاوه بر این می‌تواند عوامل خاک را مانند هدایت الکتریکی (Celik et al., 2004)، ثبات خاکدانه و مقاومت در برابر فرسایش (Bresson et al., 2001) را بهبود ببخشد. در دیدگاه مهندسی محیط زیست، کرم‌های خاکی اپی‌جیک[1] می‌تواند برای تبدیل مواد آلی طی فرآیند کمپوست شدن مورد استفاده قرار گیرند. این روش را ورمی‌کمپوست شدن گویند. ورمی‌کمپوست موادی پیت مانند، بسیار ریز با تخلخل بالا، هوادهی، زهکشی، ظرفیت نگهداری آب بالا می‌باشد (Arancon & Edwards, 2005). تحریک رشد مستقیم باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGRP[2])، باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (Han et al., 2005) و انحلال مواد مغذی (Rodriguez & Fraga, 1999) از دیگر فواید کاربرد ورمی‌کمپوست می‌باشد.

خاک‌های زراعی کشور به دلایلی از قبیل آهکی بودن، بی‌کربناته بودن آب آبیاری، پایین بودن مواد آلی و مصرف بی‌رویه کودهای فسفاته دچار کمبود شدید ریزمغذی‌ها به ویژه آهن و روی می‌باشد از آن‌جا که آهن یکی از مهمترین عناصری است که در متابولیسم نیتروژن و در نتیجه افزایش سطح برگ گیاه نقش دارد، پس می‌توان انتظار داشت که با اعمال تیمار آهن در گیاهانی که علایم کمبود این عنصر را نشان می‌دهند پروتئین‌سازی افزایش یابد (Kalbasi, 1986).

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) یکی از پنج گیاه روغنی ایران بوده که به دلیل مقاوم بودن در برابر خشکی و سازگار بودن شرایط آب و هوایی مختلف کشور، رشد و نمو در طیف وسیعی از خاک‌ها، بالا بودن کیفیت روغن (بدون کلسترول) امکان کوتاه بودن دوره رشد (۱۵۰–۸۵ روز) و کشت آن به عنوان محصول دوم بعد از کاشت گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) مورد توجه کشاورزان می‌باشد (Rahimizadeh et al., 2010).

عملکرد گیاهان در شرایط ایران نیز به دلایل متعددی پایین می‌باشد. به علت هزینه‌های رو به افزایش کودهای شیمیایی، لازم است که جذب و مصرف نیتروژن از راندمان بالایی برخوردار باشد تا بدین وسیله از هزینه نهاده‌ها کاسته و سود بالایی عاید کشاورزان گردد. برای رسیدن به هدف فوق لازم است راندمان جذب عناصر غذایی و عوامل مؤثر بر آن را شناخته و راه‌های افزایش آن را در روش‌های نوین تولید گیاهان زراعی تشخیص داد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی عکس‌العمل آفتابگردان هایسان ۳۳ نسبت به سطوح مختلف کود اوره و سولفات‌آهن در شرایط حضور و عدم حضور ورمی‌کمپوست، آزمایشی در مزرعه‌ای واقع در شهرستان درگز (استان خراسان رضوی) در سال ۱۳۹۱ اجرا شد. نتایج حاصل از تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه عامل و سه تکرار انجام شد. در این آزمایش سه سطح کود اوره شامل ۵۰، ۱۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان عامل اول و دو سطح از سولفات‌آهن شامل مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار و عدم مصرف آن به عنوان عامل دوم و نیز ورمی‌کمپوست در دو سطح مصرف هفت تن بر هکتار بر اساس توصیه شرکت سازنده و عدم مصرف به عنوان عامل سوم در نظر گرفته شدند. کود ورمی‌کمپوست همزمان با آماده‌سازی زمین در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک پشته‌ها قرار داده شد. تیمار نیتروژن در سه مرحله اعمال شد. مقدار کود هر خط کشت محاسبه و در حجم مشخصی آب حل شد و به صورت کناری اعمال گردید. مرحله اول، شامل یک سوم از مقادیر معلوم شده در زمان کاشت بود که اضافه شد، یک سوم دیگر در مرحله هشت برگی گیاه بود و یک سوم پایانی در زمان آغاز گل‌دهی اضافه گردید. تیمار سولفات‌آهن نیز یک‌باره و در زمان آغاز گل‌دهی به روش کناری اعمال گردید. کاشت در تاریخ دو اردیبهشت با دست در عمق ۵–۳ سانتی‌متری روی پشته انجام شد. فاصله بین بلوک‌ها ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین تکرارها ۲۰۰ سانتی‌متر انتخاب شد. در هر کرت آزمایشی

1- Epigeic (leaf litter- or compost-dwelling worms that are non-burrowing, live at soil-litter interface, and eat decomposing OM (called Epigeic) e.g. *Eiseniafetida*)
2- Plant growth promoting rizobacteria

چهار خط کاشت به طول شش متر قرار داشت. فاصله بین خطوط ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر انتخاب شد. آبیاری به صورت جوی و پشته هر ۱۲ روز بر اساس عرف منطقه انجام گردید. مقادیر آب برای تمام تیمارها یکسان بود. پس از استقرار بوته‌ها اقدام به تنک کردن بوته‌های اضافی گردید. طی مرحله کاشت شش مرتبه وجین کامل علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد.

پس از سپری شدن ۱۳۵ روز از زمان کاشت، با تغییر رنگ پشت طبق از سبز به قهوه‌ای صفات رویشی آفتابگردان شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه، قطر طبق، وزن خشک برگ، وزن خشک دمبرگ، وزن خشک ساقه و وزن خشک طبق اندازه‌گیری شد. جهت تعیین وزن خشک نیز اجزای گیاه به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

برای تجزیه آماری و رسم نمودارها به ترتیب از نرم‌افزارهای SAS ver. 9.1 و Excel استفاده شد. مقایسه میانگین در سطح احتمال پنج درصد و بر اساس آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع ساقه

اثر متقابل نیتروژن و ورمی‌کمپوست بر ارتفاع ساقه آفتابگردان معنی‌دار ($p\leq۰/۰۱$) بود. بیشترین ارتفاع ساقه در ترکیب تیماری ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × ورمی‌کمپوست با ۱۹۱/۳ سانتی‌متر مشاهده شد. افزایش در سطوح کود نیتروژن در حالت عدم استفاده از ورمی‌کمپوست افزایش ارتفاع ساقه را باعث گردید (شکل ۱- الف).

تأثیر توأمان نیتروژن و سولفات‌آهن بر ارتفاع ساقه معنی‌دار ($p\leq۰/۰۱$) بود. به طوری‌که تأثیر همزمان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و سولفات‌آهن موجب افزایش ارتفاع ساقه گیاه آفتابگردان با میانگینی معادل ۱۹۱/۶ سانتی‌متر شد. در سطح دوم نیتروژن استفاده و عدم استفاده از سولفات‌آهن سبب ایجاد یک اختلاف ارتفاع ۱۲ سانتی‌متری شد. به طوری‌که در اثر متقابل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × سولفات‌آهن ارتفاع گیاه ۱۷۰/۴ سانتی‌متر رسید (شکل ۱- ب). به نظر می‌رسد که افزایش توانایی فتوسنتزی گیاه در پاسخ به افزایش نیتروژن باعث بهبود فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش ارتفاع گیاه شده است. نیتروژن به واسطه نقشی که در تولید و صدور هورمون سیتوکنین از ریشه به اندام هوایی دارد، موجب افزایش سرعت تقسیم سلولی در رشد و ارتفاع گیاه می‌شود (Sabeti Amizhendeh et al., 2011). عنصر آهن یکی از عناصر ضروری برای گیاه است و نقش اساسی در تعداد گرانای کلروپلاست دارد. در اثر کمبود آهن اندازه کلروپلاست کاهش می‌یابد و در نهایت در اثر کاهش فرآورده‌های فتوسنتزی منجر به کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (Sommer, 1995).

اثر سه جانبه تیمارهای آزمایشی بر صفت ارتفاع گیاه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. در مجموع با افزایش سطح نیتروژن در ترکیب با دو تیمار دیگر طول ساقه افزایش یافت.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک قبل از کاشت

Table 1- Physical and chemical characteristics of soil before planting

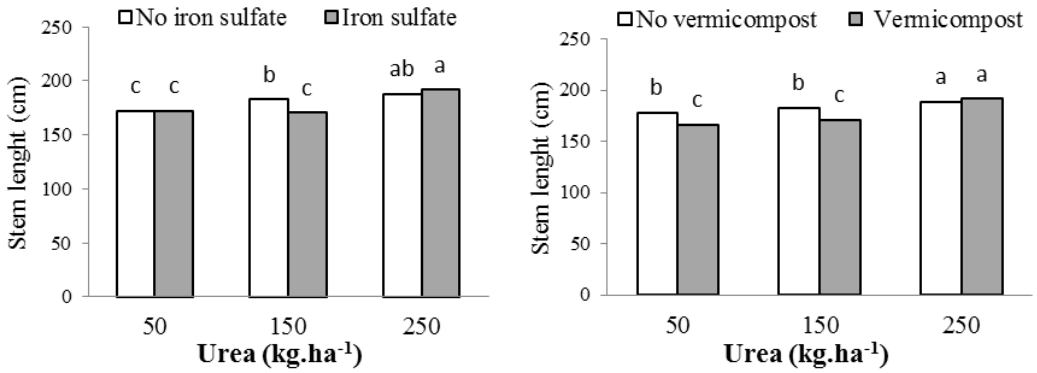
عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر) Sampling depth (cm)	بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت‌الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	ماده آلی (درصد) OM (%)	آهک (درصد) Lime (%)	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Iron ($mg.kg^{-1}$)
0-30	رسی- سیلتی Silty- clay	7.7	1.2	1.1	29	11	1.7

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی کود ورمی‌کمپوست

Table 2- Analysis of chemical fertilizer vermicompost

کربن آلی (درصد) OC (%)	فسفر (درصد) P (%)	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	پتاسیم (درصد) K (%)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته گل اشباع pH Paste	اسیدیته عصاره pH Extract	نسبت کربن به نیتروژن C/N ratio
29	0.22	2.30	0.55	3.79	7.74	7.80	12:1

(B (A



شکل ۱- اثر متقابل (الف) اوره × ورمی‌کمپوست و (ب) اوره × سولفات‌آهن بر ارتفاع بوته آفتابگردان

Fig. 1- The mutual effect of (A) urea×vermicompost and (B) urea×iron sulfate stem length of sunflower

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

The means within the same letters in each shapes are not significantly different to the 5% level of probability according to LSD test.

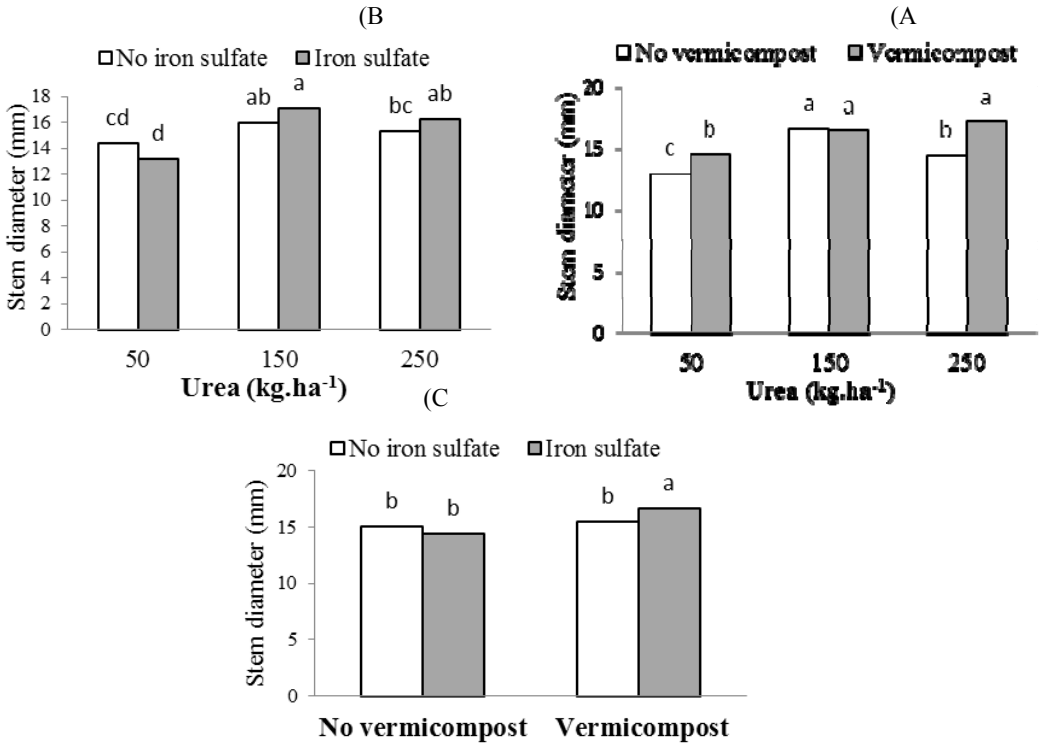
بیشترین ارتفاع ساقه در اثر متقابل ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × ورمی‌کمپوست × سولفات‌آهن با میانگین ۱۹۶ سانتی‌متر به دست آمد (جدول ۳). نتایج کار بابایی اقدم و همکاران (Babaee Aghdam et al., 2009)، نشان می‌دهد که کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن موجب افزایش ارتفاع ساقه آفتابگردان شده و کمترین مربوط به تیمار ۵۰ کیلوگرم نیتروژن می‌باشد. کاربرد ورمی‌کمپوست موجب تحریک مستقیم رشد باکتری محرک رشد (PGPR) (Han et al., 2005) و انحلال مواد مغذی (Rodriguez & Fraga, 1999) شده و افزایش رشد گیاه را باعث می‌شود.

قطر ساقه

اثر متقابل حاصل از نیتروژن و ورمی‌کمپوست بر قطر ساقه معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) شد. همان‌طور که در شکل ۲- الف مشاهده می‌گردد قطر ساقه تحت تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست است. به نحوی- که استفاده از ورمی‌کمپوست در سطوح مختلف نیتروژن موجب بهبود قطر ساقه گردید. در مجموع کمترین قطر ساقه مربوط به ترکیب تیماری ۵۰ کیلوگرم نیتروژن × عدم ورمی‌کمپوست با ۱۳ میلی‌متر و بیشترین قطر ساقه مربوط به ترکیب تیماری ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × ورمی‌کمپوست با متوسط ۱۷ میلی‌متر بود.

ترکیبات تیماری حاصل از نیتروژن و سولفات‌آهن تأثیر معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بر قطر ساقه گیاه آفتابگردان داشتند. بدون در نظر گرفتن ترکیبات تیماری حاصل از سطح اول نیتروژن استفاده از سولفات‌آهن همراه با نیتروژن موجب افزایش قطر ساقه نسبت به حالت عدم استفاده از سولفات‌آهن شد. بیشترین قطر ساقه در این حالت مربوط به ترکیب ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × سولفات‌آهن با متوسط ۱۷ میلی‌متر بود (شکل ۲- ب). قطر ساقه به طور معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۵) تحت تأثیر اثر متقابل تیمارهای آزمایشی ورمی‌کمپوست و سولفات‌آهن قرار گرفت. مقایسه میانگین ترکیبات تیماری حاصل در شکل ۲- ج نشان داده شده است. تأثیر توأم ورمی‌کمپوست و سولفات‌آهن بر این صفت به مراتب سودمندتر از استفاده هر یک از آن دو بود و بیشترین قطر ساقه مربوط به ترکیب ورمی‌کمپوست × سولفات‌آهن بود و از لحاظ آماری تفاوت قابل ملاحظه‌ای با سایر ترکیبات تیماری داشت. بابایی اقدم و همکاران (Babaee Aghdam et al., 2009)، افزایش قطر ساقه آفتابگردان را با استفاده از ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن گزارش دادند. با توجه به این‌که آهن یکی از مهمترین عنصر در ساختار کلروفیل و متابولیسم نیتروژن است (Kalbasi, 1986). احتمالاً تأمین آهن افزایش رشد گیاه و در نتیجه افزایش قطر ساقه را موجب شده است. با افزایش مواد غذایی، بهره‌گیری بوته از عناصر غذایی بیشتر می‌شود و رشد گیاه افزایش پیدا می‌کند و موجب افزایش قطر ساقه می‌گردد.

قطر طبق: اثر متقابل نیتروژن و ورمی‌کمپوست تأثیر معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بر قطر طبق داشتند. بیشترین قطر طبق در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × ورمی‌کمپوست با میانگین ۱۴۷/۹ میلی‌متر مشاهده شد.



شکل ۲- اثر متقابل (الف) اوره × ورمی‌کمپوست و (ب) اوره × سولفات‌آهن و (ج) سولفات‌آهن × ورمی‌کمپوست بر قطر ساقه آفتابگردان

Fig. 2- The mutual effect of (A) urea×vermicompost and (B) urea×iron sulfate and (C) iron sulfate×vermicompost on stem diameter of sunflower

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

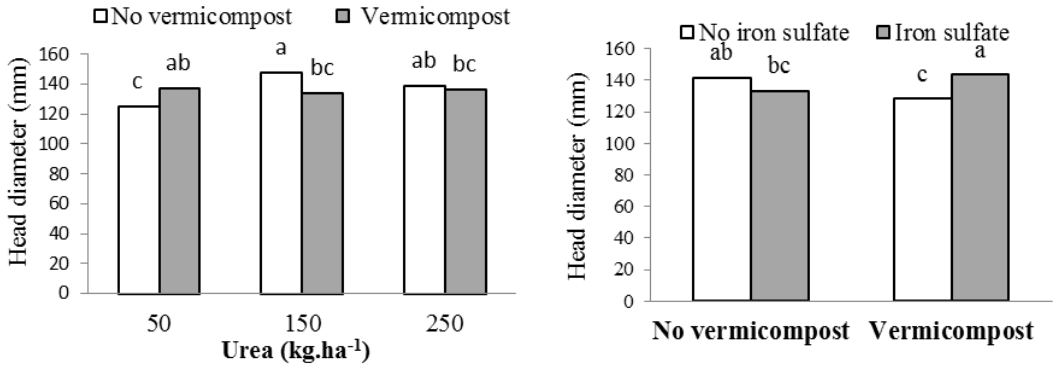
The means within the same letters in each shapes are not significantly different to the 5% level of probability according to LSD test.

نکته قابل بیان دیگر در مورد اثر متقابل ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × ورمی‌کمپوست می‌باشد که از لحاظ آماری تفاوتی با ترکیب تیماری ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن × عدم ورمی‌کمپوست نداشت و فقط ۱۰/۶ میلی‌متر با بیشترین قطر طبق فاصله داشت. (شکل ۳- الف).

اثر متقابل حاصل از ورمی‌کمپوست و سولفات‌آهن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همان‌طور که در شکل ۳- ب مشاهده می‌گردد توأم شدن ورمی‌کمپوست و سولفات‌آهن از نظر تأثیرگذاری بر قطر طبق، سودمندی بیشتری داشت. بالاترین قطر طبق از این ترکیب تیماری با میانگینی معادل ۱۴۳/۵ میلی‌متر حاصل شد که اختلاف بسیار اندکی در حدود دو میلی‌متر با ترکیب تیماری شاهد داشت. قطر طبق در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست × عدم سولفات‌آهن کاهش قابل توجهی داشت، به طوری‌که کاربرد این ترکیب تیماری با میانگینی معادل ۱۲۸/۲ میلی‌متر رسید که کمترین قطر طبق اندازه‌گیری شده بود. قطر طبق تأثیر مستقیم بر تعداد دانه در طبق دارد. لذا هر عاملی که باعث افزایش و یا کاهش این صفت شود منجر به تأثیر بر تعداد دانه در طبق می‌گردد. گزارش سپهر و ملکوتی (Sepeher & Malakoti, 1997) نیز حاکی از تأثیر مصرف ریزمغذی‌ها به خصوص آهن و روی در افزایش قطر آفتابگردان بود.

اثر سه جانبه تیمارهای آزمایشی بر قطر طبق، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین و کمترین قطر طبق به ترتیب در گیاهان کشت‌یافته در ترکیب تیماری ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × ورمی‌کمپوست × سولفات‌آهن با متوسط ۱۵۳/۸۴ میلی‌متر و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × ورمی‌کمپوست × عدم سولفات‌آهن با ۱۱۸/۹ میلی‌متر حاصل شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد تلفیق این کودها به دلیل افزایش دسترسی به عناصر غذایی به ویژه نیتروژن که عامل مؤثر در تحریک رشد و فتوسنتز گیاهان می‌باشد، موجب بهبود شرایط برای رشد، تولید مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش قطر طبق شده است.

(B



شکل ۳- اثر متقابل (الف) اوره × ورمی‌کمپوست و (ب) ورمی‌کمپوست × سولفات‌آهن بر قطر طبق آفتابگردان

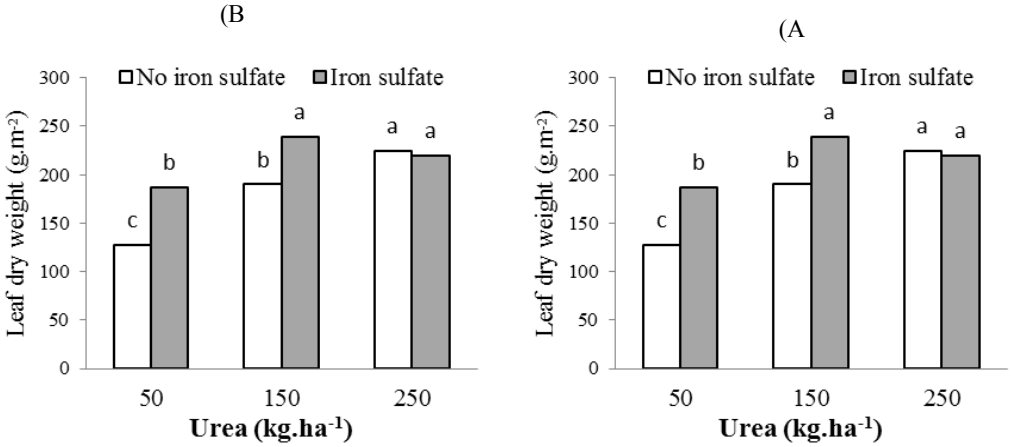
Fig. 3- The mutual effect of (A) urea×vermicompost and (B) iron sulfate×vermicompost on head diameter of sunflower

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

The means within the same letters in each shapes are not significantly different to the 5% level of probability according to LSD test.

وزن خشک برگ: صفت وزن خشک برگ در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثر متقابل ورمی‌کمپوست و سولفات‌آهن قرار گرفت. کاربرد ورمی‌کمپوست × عدم سولفات‌آهن وزن خشک برگ را به ۱۷۰/۱ گرم بر مترمربع رساند که حدود ۱۱ درصد کمتر از تیمار شاهد بود. اما کاربرد همزمان سولفات‌آهن و ورمی‌کمپوست سبب افزایش وزن خشک برگ با متوسطی معادل ۲۳۸/۸۹ گرم بر مترمربع شد (شکل ۴- الف).

اثر متقابل نیتروژن و سولفات‌آهن بر وزن خشک برگ معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود. اثر کاربرد سولفات‌آهن بر میزان وزن خشک برگ مثبت بود. بیشترین و کمترین میزان وزن خشک برگ به ترتیب در ترکیب تیماری ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × سولفات‌آهن با متوسط ۲۳۸/۸۳ گرم بر مترمربع و ترکیب تیماری ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × عدم سولفات با میانگین ۱۲۷/۲ گرم بر مترمربع حاصل شد (شکل ۴- ب). آهن در فعال‌سازی فتوسنتز نقش دارد و کمبود آن سبب کاهش شدید فتوسنتز می‌شود (Rahimi & Mazaheri, 2009).



شکل ٤- اثر متقابل (الف) سولفات‌آهن × ورمی‌کمپوست و (ب) اوره × سولفات‌آهن بر وزن خشک برگ آفتابگردان

Fig. 4- The mutual effect of (A) iron sulfate×vermicompost and (B) urea×iron sulfate on leaf dry weight of sunflower

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

The means within the same letters in each shapes are not significantly different to the 5% level of probability according to LSD test.

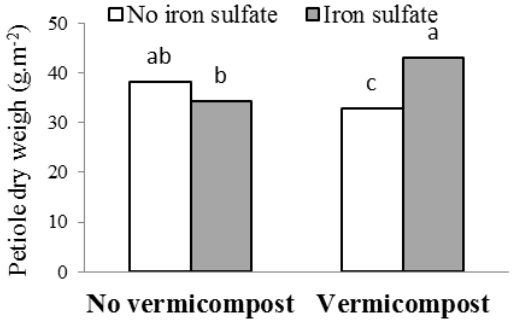
اثر متقابل تیمارهای آزمایشی بر صفت وزن خشک برگ معنی‌دار (p≤۰/۰۱) بود. به نحوی‌که ترکیب تیماری ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × ورمی‌کمپوست × سولفات‌آهن بیشترین وزن خشک برگ با میانگینی معادل ۲۶۷/۶۷ گرم بر مترمربع را به همراه داشت. البته اختلاف معنی‌دار این ترکیب تیماری با ترکیب تیماری ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × عدم ورمی‌کمپوست × سولفات‌آهن بسیار قابل توجه بود (جدول ۳). و بیان‌گر اهمیت استفاده از ماده آلی در افزایش بازدهی کودهای شیمیایی می‌باشد. افزایش استفاده از ورمی‌کمپوست در خاک تأثیر بسیار معنی‌داری در افزایش جذب عناصر مانند نیتروژن، فسفر، آهن و روی دارد (Azarmi et al., 2008). بررسی‌های انجام شده بر روی ذرت نشان داد که فراهمی عنصر آهن موجب افزایش خصوصیات گیاه از جمله وزن خشک برگ می‌گردید (Rahimi & Mazaheri, 2009).

وزن خشک دمبرگ: اثر متقابل حاصل از ورمی‌کمپوست و سولفات‌آهن تأثیر معنی‌داری (p≤۰/۰۱) بر وزن خشک دمبرگ داشتند. میزان وزن خشک دمبرگ در شاهد ۳۸/۱۷ گرم بر مترمربع به دست آمد. کاربرد سولفات‌آهن در ترکیب تیماری عدم ورمی‌کمپوست × سولفات‌آهن سبب کاهش ۳/۷ گرم بر مترمربعی این صفت شد. کاربرد ورمی‌کمپوست به تنهایی نیز موجب کاهش وزن خشک دمبرگ نسبت به تیمار شاهد شد، ولی همراه شدن ورمی‌کمپوست و سولفات‌آهن افزایشی در حدود ۳۱ درصد را برای وزن خشک دمبرگ نسبت به شاهد به همراه داشت (شکل ۵).

اثر متقابل حاصل از هر سه عامل آزمایشی تأثیر معنی‌دار (p≤۰/۰۱) بر وزن خشک دمبرگ آفتابگردان داشتند. بیشترین وزن خشک دمبرگ در ترکیب تیماری ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × ورمی‌کمپوست × سولفات‌آهن با میانگینی معادل با ۶۰/۶۶ گرم بر مترمربع به دست آمد. که دارای اختلاف معنی‌دار با سایر ترکیبات تیماری بود (جدول ۳). افزایش وزن خشک رابطه مستقیم با بهبود وضعیت عناصر غذایی خاک و همچنین بهبود ساختمان خاک دارد (Mirzayi Talar Poshti et al., 2010).

وزن خشک ساقه: اثرات متقابل نیتروژن ورمی‌کمپوست بر صفت وزن خشک ساقه تفاوت معنی‌داری (p≤۰/۰۱) نشان دادند. ۷۴۳/۰۸ گرم بر مترمربع بیشترین میزان وزن خشک ساقه بود که در ترکیب تیماری ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × ورمی‌کمپوست حاصل شد و افزایشی در حدود ۲۶ درصد نسبت به حالت عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در این سطح نیتروژن داشت. روند افزایش کود نیتروژن سبب افزایش وزن خشک ساقه شد (شکل ۶- الف).

اثر متقابل سولفات‌آهن و ورمی‌کمپوست تأثیر معنی‌دار (p≤۰/۰۱) بر وزن خشک ساقه داشت. بیشترین میزان وزن خشک ساقه مربوط به ترکیب تیماری ورمی‌کمپوست × سولفات‌آهن با میانگین ۶۱۷/۹ گرم بر مترمربع بود و سایر ترکیبات تیماری از لحاظ آماری تفاوتی با یکدیگر نداشتند (شکل ۶- ب).



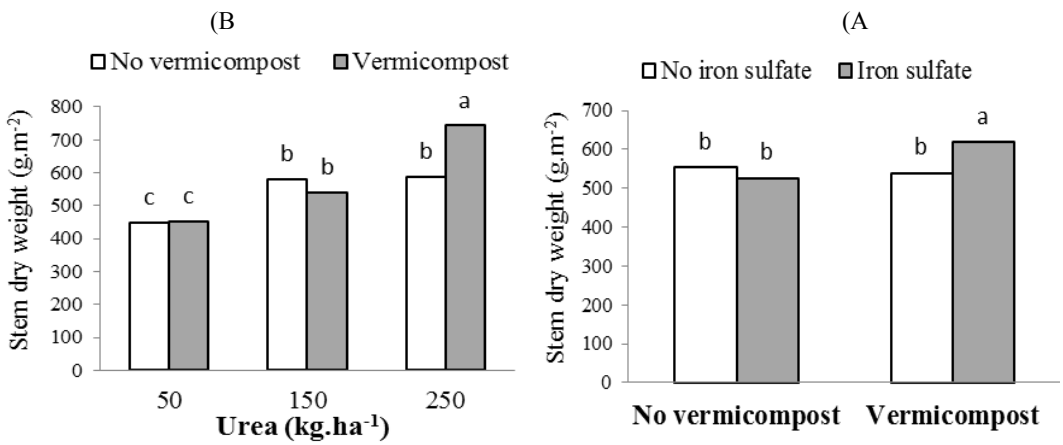
شکل ۵- اثر متقابل ورمی‌کمپوست و سولفات‌آهن بر وزن خشک دمبرگ آفتابگردان

Fig. 5- The mutual effect of iron sulfate×vermicompost on petiole dry weight of sunflower

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

The means within the same letters in each shapes are not significantly different to the 5% level of probability according to LSD test.

تأثیرگذاری هر سه عامل آزمایشی بر تجمع ماده خشک در ساقه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌گردد در بین ترکیبات تیماری حاصله بیشترین میزان تجمع ماده خشک در ساقه مربوط به ترکیب تیماری ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × ورمی‌کمپوست × سولفات‌آهن به میزان ۸۱۲/۵ گرم بر مترمربع بود. البته اختلاف آن با سایر ترکیبات تیماری نیز از لحاظ آماری بسیار معنی‌دار بود. به طوری‌که افزایش ۲۰/۶ درصدی را نسبت به ترکیب تیماری ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × ورمی‌کمپوست × عدم سولفات‌آهن به همراه داشت (جدول ۳). کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی به همراه کود آلی موجب ثبات و پایداری بیشتر تولید محصول در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی می‌شود. پژوهشگران دلیل این افزایش عملکرد در سیستم تلفیقی (شیمیایی و آلی) را ناشی از مطابقت بیشتر بین نیتروژن قابل دسترس خاک با نیازهای گیاه در این سیستم می‌دانند (Mooleki et al., 2004)، به این معنی که در اوایل رشد که نیاز غذایی گیاه کم است میزان نیتروژن معدنی مواد آلی کمتر از کود شیمیایی است، ولی در مراحل رشد زایشی به علت تداوم فرآیند معدنی شدن، جذب تا مدت زمان طولانی‌تری ادامه پیدا می‌کند.



شکل ٦- اثر ترکیبات تیماری (الف) اوره × ورمی‌کمپوست و (ب) سولفات‌آهن × ورمی‌کمپوست بر وزن خشک ساقه آفتابگردان

Fig. 6- The mutual effect of (A) urea×vermicompost and (B) iron sulfate×vermicompost on stem dry weight of sunflower

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

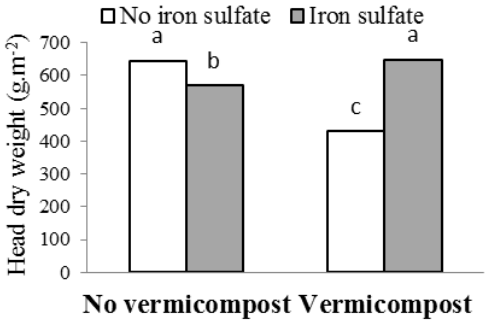
The means within the same letters in each shapes are not significantly different to the 5% level of probability according to LSD test.

وزن خشک طبق: اثر متقابل ورمی‌کمپوست و سولفات‌آهن بر وزن خشک طبق بسیار معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود. به همین منظور مقایسه میانگینی بین این ترکیبات تیماری انجام شد که در شکل ۷ نشان داده شده است. ترکیب تیماری شاهد و ورمی‌کمپوست × سولفات‌آهن هر دو از لحاظ آماری در یک گروه مشابه قرار گرفتند. ترکیب تیماری ورمی‌کمپوست × سولفات‌آهن فقط ۵/۳ گرم بر مترمربع بیشتر از شاهد به دست آمد.

این نتایج بیانگر اثر منفی ورمی‌کمپوست بر میزان ماده خشک طبق و نیز حاکی از تأثیر مثبت سولفات‌آهن بر این صفت است. نتایج تحقیق نشان از وجود یک رابطه خطی بین عملکرد ماده خشک گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.)، (Bahariet al., 2005) و استفاده از سولفات‌آهن وجود دارد به طوری‌که عملکرد ماده خشک با افزایش کاربرد سولفات‌آهن افزایش یافت و همین امر منجر به تولید دانه بیشتر در سطوح بالای (۵۶ کیلوگرم در هکتار) کود سولفات‌آهن شد. اگرچه آهن در ساختار کلروفیل نقش مستقیمی ندارد، ولی وجود آهن کافی سبب بهبود کلروفیل‌سازی در گیاه می‌شود. وضعیت کلروفیل گیاه می‌تواند در میزان فتوسنتز آن تأثیرگذار باشد (Bahariet al., 2005).

عملکرد دانه (رطوبت هوا خشک): اثر متقابل نیتروژن و ورمی‌کمپوست بر عملکرد دانه معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود. نتایج نشان داد که چنان‌چه ورمی‌کمپوست با مقادیر بالای نیتروژن همراه باشد، سبب افزایش عملکرد دانه می‌گردد. بیشترین عملکرد دانه به میزان ۷/۷۳ تن بر هکتار از ترکیب تیماری ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × ورمی‌کمپوست حاصل شد. این در حالی است که میزان عملکرد دانه

در ترکیب تیماری ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × عدم ورمی‌کمپوست، حدود دو تن در هکتار کمتر از بیشترین مقدار شد.



شکل ۷- اثر ترکیبات تیماری سولفات‌آهن و ورمی‌کمپوست بر وزن خشک طبق آفتابگردان

Fig. 7- The mutual effect of Iron sulfate×vermicompost on head dry weight of sunflower

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

The means within the same letters in each shapes are not significantly different to the 5% level of probability according to LSD test.

همان‌طور که مشاهده می‌شود؛ از سیر نزولی عملکرد دانه در ازای افزایش کود نیتروژن چنین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش نیتروژن موجب افزایش رشد رویشی گیاه شده و مانع رشد زایشی گیاه می‌گردد (شکل ۸- الف). غلام حسینی و همکاران (Gholam Hoseini et al., 2008)، گزارش کردند که کمترین میزان عملکرد دانه گیاه آفتابگردان در تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (۱۳۰ کیلوگرم اوره) به دست‌آمده است؛ و بیشترین عملکرد در ترکیب کود اوره با کمپوست گاوی (هفت تن بر هکتار) حاصل شده است. به نظر می‌رسد ورمی‌کمپوست باعث بهبود شرایط فیزیکوشیمیایی خاک مانند افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت نگهداری رطوبت توانسته عملکرد بیشتری حاصل کند.

اثر متقابل نیتروژن و سولفات‌آهن بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همزمانی سولفات‌آهن و نیتروژن تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه نداشت. بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه به ترتیب در ترکیب تیماری ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × عدم سولفات‌آهن با متوسط ۷/۳۲ تن بر هکتار و ترکیب تیماری ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن × سولفات‌آهن ۵/۸۲ تن بر هکتار بود (شکل ۸- ب). تأثیر این ترکیب تیماری بر عملکرد دانه را به این صورت توجیه می‌گردد که احتمالاً این عناصر با افزایش میزان فتوسنتز موجب افزایش رشد رویشی گیاه شده و همین امر موجب کاهش عملکرد دانه شده است.

جدول ۳- اثر متقابل تیمارهای آزمایشی بر طول ساقه، قطر طبق، وزن خشک برگ، دمبرگ و ساقه گیاه آفتابگردان

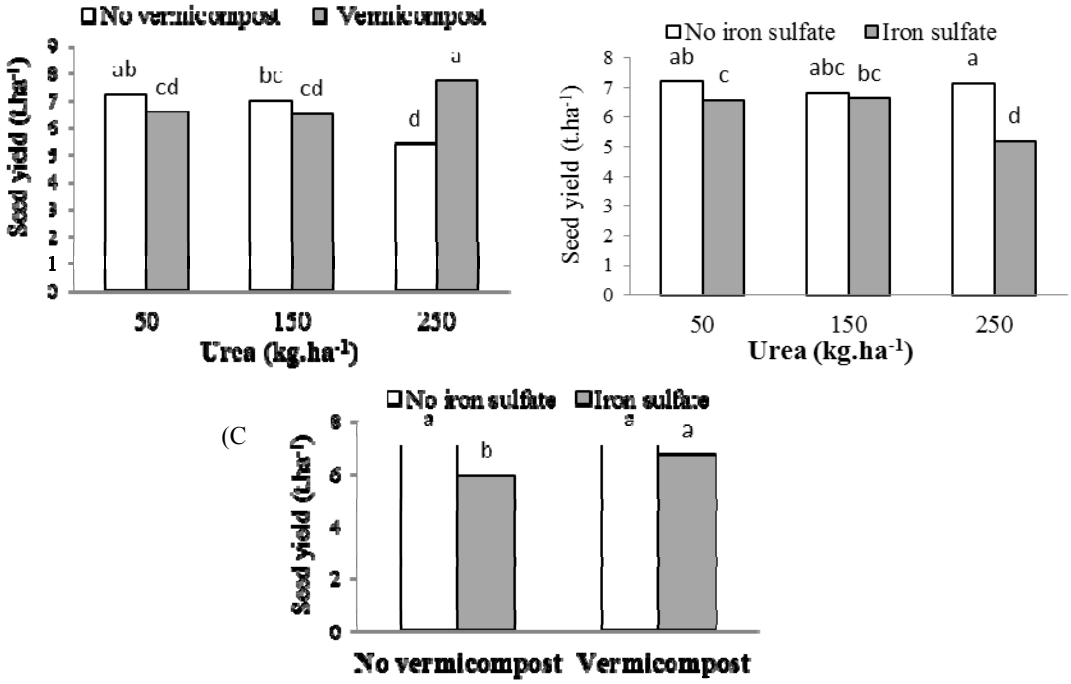
Table 3- Interaction on the stem height, head diameter, leaves, petiole and stem dry weight of sunflower plants

تیمار Treatment			طول ساقه (سانتی‌متر)	قطر طبق (میلی‌متر)	وزن خشک برگ (گرم بر متر مربع)	وزن خشک دمبرگ (گرم بر متر مربع)	وزن خشک ساقه (گرم بر متر مربع)
ورمی‌کمپوست Vermicompost	سولفات‌آهن Iron sulfate	نیتروژن Nitrogen	Stem height (cm)	Head diameter (mm)	Leaf dry weight (g.m^{-2})	Petiole dry weigh (g.m^{-2})	Stem dry weight (g.m^{-2})
ورمی‌کمپوست Vermicompost	سولفات‌آهن Iron sulfate	50 kg.ha^{-1}	164.75^{f}	134.30^{abcd}	185.00^{bc}	26.50^{d}	489.23^{defg}
		150 kg.ha^{-1}	161.92^{f}	142.34^{abc}	267.67^{a}	42.00^{bc}	522.17^{cde}
		250 kg.ha^{-1}	196.00^{a}	153.84^{a}	264.00^{a}	60.67^{a}	812.50^{a}
	عدم سولفات‌آهن No iron sulfate	50 kg.ha^{-1}	166.75^{f}	140.35^{abcd}	123.07^{d}	26.50^{d}	416.33^{g}
		150 kg.ha^{-1}	179.50^{cde}	125.50d^{e}	180.23^{bc}	32.50^{cd}	526.00^{def}
		250 kg.ha^{-1}	186.67^{bc}	118.93^{e}	207.00^{bc}	39.50^{bc}	673.67^{b}
	سولفات‌آهن Iron sulfate	50 kg.ha^{-1}	179.00^{de}	124.70^{de}	188.73^{bc}	32.56^{cd}	462.60^{efg}
		150 kg.ha^{-1}	179.00^{de}	146.99^{ab}	210.00^{b}	38.53^{c}	584.53^{bcd}
		250 kg.ha^{-1}	187.33^{b}	128.40^{cde}	177.23^{c}	32.17^{cd}	525.73^{def}
عدم ورمی‌کمپوست No vermicompost	عدم سولفات‌آهن No iron sulfate	50 kg.ha^{-1}	177.00^{e}	126.17^{de}	131.33^{d}	24.33^{d}	434.33^{fg}
		150 kg.ha^{-1}	186.00^{bcd}	148.82^{ab}	200.17^{bc}	40.67^{bc}	574.00^{bcd}
		250 kg.ha^{-1}	189.00^{ab}	149.86^{ab}	241.73^{a}	49.50^{c}	650.00^{bc}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارد.

Means within a column followed by the same letters are not significantly different based on LSD's test at 5% probability level.

(B



شکل ۸- اثر متقابل (الف) اوره × ورمی‌کمپوست و (ب) اوره × سولفات‌آهن و (ج) سولفات‌آهن × ورمی‌کمپوست بر عملکرد دانه آفتابگردان

Fig. 8- The mutual effect of (A) urea×vermicompost and (B) urea×iron sulfate and (C) iron sulfate×vermicompost on seed yield of sunflower

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

The means within the same letters in each shapes are not significantly different to the 5% level of probability according to LSD test.

اثر متقابل سولفات‌آهن و ورمی‌کمپوست بر عملکرد دانه معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود. در همین راستا مقایسه‌ای بین این ترکیبات تیماری انجام شد که در شکل ۸- ج نمایش داده شده است. استفاده از سولفات‌آهن در ترکیب تیماری سولفات‌آهن × عدم ورمی‌کمپوست کاهشی شدید و در حدود ۱۶ درصد را نسبت به شاهد به همراه داشت و این در حالی است که کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و سولفات‌آهن اثر منفی سولفات‌آهن را مقداری کاهش داد و در حدود ۰/۸ تن در هکتار بر عملکرد افزود. نتیجه کاربرد تلفیقی برخی از کودهای آلی و شیمیایی در بسیاری از زراعت‌ها نظیر سویا (*Glycine max* L.) (Ghosh et al., 2004)، سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) (Ghosh et al., 2004)، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) (Sabahi, 2006) و کلزا (*Brassica napus* L.) (Sabahi, 2006) (Moench. 2006) مثبت ارزیابی شده است. روشن ضمیر و همکاران (Roshan et al., 2006)، دریافتند که کاربرد کود آلی سبب افزایش عملکرد دانه گلرنگ شده است. تأثیر کودهای شیمیایی و آلی در سیستم تلفیقی بر عملکرد دانه آفتابگردان معنی‌دار بود (Hasanzadeh Ghortapeh, 2005).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تلفیق ورمی‌کمپوست با سولفات‌آهن به همراه سطوح مختلف اوره نسبت به استفاده منفرد از کودهای شیمیایی برای دستیابی به حداکثر صفات مورد بررسی ضرورت دارد. کاربرد ورمی‌کمپوست به دلیل بهبود خصوصیات خاک از جمله افزایش تخلخل خاک، فراهمی رطوبت و در دسترس قرار دادن عناصر غذایی سبب بهبود رشد گیاه شده و کارآیی مصرف کودهای شیمیایی را افزایش داده است. بنابراین چنین به نظر می‌رسد که کاربرد تلفیقی کود آلی ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی در منطقه درگز، می‌تواند در بهبود خصوصیات رویشی و عملکرد گیاه آفتابگردان مؤثر واقع گردد و این گیاه مجدداً در برنامه کاشت کشاورزان این منطقه قرار گیرد.

منابع

1- Arancon, N., and Edwards, C. 2005. Effects of vermicomposts on the plant growth. Paper presented during the International Symposium Workshop on Vermi Technologies for Developing Countries. Los Banos, Philippines November 16-18.

2- Azarmi, R., Torabi Giglou, M., and Didar Taleshmikail, R. 2008. Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato *(Lycopersicum esculentum*) field. African Journal of Biotechnology 14: 2397-2401.

3- Babaee Aghdam, J., Abdi, M., Seifzadeh, S. and Khiavi, M. 2009. The effect of different levels of nitrogen and plant density on yield and yield components of sunflower verities Azargol in the vineyard Takestan. Iran, comprehensive electronic database of articles. Available at web site http://www. sid. ir/fa/viewpaper. asp. (In Persian)

4- Bahari, M., Pahlevani, R., Akbari, N., and Ehsanzadeh, P. 2005. The effect of different doses of fertilizers and low Fe and Cu on the growth and yield of chickpea under reined conditions. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 12: 45-52.

5- Bresson, L.M., Koch, C., L-Bissonnais, Y., Barriuso, E., and Lecomte, V. 2001. Soil surface structure stabilization by municipal waste compost application. Soil Science Society of America Journal 65: 1804-1811.

6- Caravaca, F., Hernandez, T., Garcia, C., and Roldan, A. 2002. Improvement of rhizosphere aggregate stability of afforested semiarid plant species subjected to mycorrhizal inoculation and compost addition. Geoderma 108: 133-144.

7- Celik, I., Ortas, I., and Kilic, S. 2004. Effects of compost, mychoriza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. Soil and Tillage Research 78: 59-67.

8- Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., and Jamshidi, A. 2009. Irrigation regimes and fertilizer treatments on yield and mineral concentration in sunflower leaves and seeds. Journal of Research and Development in Agriculture and Hoticulture 97(2): 91-100. (In Persian with English Summary)

9- Gholinezhad, A., Aynehband, A., Hasanzahe Gortape, A., Barnosi, A., and Rezayi, H. 2010. Effect of drought stress and nitrogen levels and Density on yield, yield components and harvest index Ayrvflvr varieties of sunflower Orumiye. Journal of Research and Plant Production 16(3): 2-29. (In Persian with English Summary)

10- Ghosh, P.K., Ramesh, P., Bandyopadhyay, K.K., Tripathi, K., Hati, K.M., and Masra, A.K. 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer N, P, K on three cropping system in vertisols of semi-arid tropics. Crop yield and system performance. Bioresource Technology 95: 77-83.

11- Han, J., Sun, L., Dong, X., Cai, Z., Yang, H., Wang, Y., and Song, W. 2005. Characterization of a novel plant growth-promoting bacteria strain *Delftia tsuruhatensis* HR_4 both as a diazotroph and a potential biocontrol agent against various pathogens. Systemic Applied Microbiology 28: 66-76.

12- Hasanzadeh Ghortapeh, A.A. 2005. Assessment of the effects of different fertilization system on grain yield and nitrogen efficiency in some sunflower cultivars in western Azarbyjan. Iranian Journal of Agricultural and Natural Resources 12: 20-27. (In Persian with English Summary)

13- Kalbasi, M. 1986. Local acidification of soil as a mean to alleviation iron chlorosis in quince orchards. Journal of Plant Nutrition 9: 1001-1010.

14- Larchevêque, M., Montès, N., Baldy, V., and Dupouyet, S. 2005. Vegetation dynamics after compost amendment in a Mediterranean post-fire ecosystem. Agriculture, Ecosystems and Environment 110: 241-248.

15- Malakouti, M.J., and Homayi, M. 1994. Fertile soils in dry areas (problems and solutions). University Tarbiat Modares Publication, Tehran, Iran. (In Persian)

16- Mirzayi Talar Poshti, R., Kambouzia, J., Sabahi, H., and Mahdavi Damghani, A.M. 2010. The Effect of organic fertilizer on soil physiochemical characteristics and dry matter production in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 7(1): 257-269. (In Persian with English Summary)

17- Mooleki, S.P., Schoenau, J.J., Charles, J.L., and Wen, G. 2004. Effect of rate, frequency and incorporation of feedlot cattle manure on soil nitrogen availability, crop performance and nitrogen use efficiency in east-central Saskachwan. Canadian Journal of Soil Science 84: 199-210.

18- Mulvaney, R.L., Khan, S.A., and Ellsworth, T.R. 2009. Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil nitrogen: a global dilemma for sustainable cereal production. Journal of Environment 38(6): 2295-2314.

19- Ngo, P.T., Rumpel, C., Doan, T., and T., and Jouquet, P. 2012. The effect of earthworms on carbon storage and soil organic matter composition in tropical soil amended with compost and vermicompost. Soil Biology and Biochemistry 50: 214-220.

20- Rahimi, M., and Mazaheri, D. 2009. Morphological and yield of maize as compared to the chemical reaction of

iron and copper. Journal of Research and Development in Agriculture and Horticulture 78(1): 96-100. (In Persian with English Summary)

21- Rahimizadeh, M., Kashani, A., Zare Faiezabadi, A., Madani, H., and Soltani, A. 2010. The effect of micronutrient fertilizers on yield and yield components of sunflower on the drought conditions. Electronic Journal of Crop Production 3(1): 57-72. (In Persian with English Summary)

22- Rodriguez, H., and Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnology Advance 17: 319-339.

23- Roshanzamir, F., Glovi, M., and Kamaraki, H. 2006. Effect of organic matter on yield and yield components of Safflower. Proceedings of the 9th Iranian Crop Sciences Congress, 27-29 August 2006, Tehran, Iran. p. 277. (In Persian)

24- Sabahi, H. 2006. Evaluation of the integrated organic and inorganic fertilizers on biological activities, physico-chemical properties of soil and canola grain yield in Sari. PhD dissertation, College of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Iran. (In Persian with English Summary)

25- Sabeti Amizhendeh, M.A., Fallah Nosrat Abadi, A., Norouzi, M., Amiri, A., and Azarpour, A. 2011. Effect of nitrogen and *Azotobacter* on some quantitative and qualities characteristics Garmkhane'e tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). Journal of Soil and Water 22(2): 149-135. (In Persian with English Summary)

26- Salardini, A.A. 2003. Soil Fertility. University Tehran Publication, Iran 348 pp. (In Persian)

27- Sepehr, A., and Malakouti, M.J. 1997. Effect of potassium, magnesium, sulfur and micro nutrients in sunflower yield and improve quality. PhD dissertation, College of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Iran. (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 285-298

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۲۹۸-۲۸۵

Study on the effect of urea fertilizer, iron sulphate and vermicompost on yield and growth properties of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Darreh Gaz district

M. Zomorodi[1*], S. Shahsavani[2*], M. Baradaran Firozabadi[3] and A.S. Naderi[4]
Submitted: 01-02-2014
Accepted: 15-02-2015

Introduction

Most important factor limiting plants growth in agriculture is deficiency of nitrogen as compare to other nutrients. Plant needs to nitrogen is due to reason that nitrogen after hydrogen is largest elements in plant that absorbed from soil.

Nitrogen in soil especially in surface layer is more and in the form of organic composition, therefore nitrogen accumulation in soil has direct relationship with organic matter accumulation. Soil organic matter in the in our country are low due to different reasons including low rain fall, unsuitable cultivation rotation. Urea is one of the nitrogen sources which its uses extended all over the world in agriculture sector. Nitrogen is one of the important nutritious mineral matters for plant growth and is a suitable source for increasing yield especially in improved varieties. At present due to economical problems in cost of chemical fertilizers in one side and environmental effects of high consumption on the other side are the difficulties of sustainable agriculture (Mulvaney et al., 2009). Ngo et al. (2012) showed that mineral fertilizers application had negative effects on soil like soil acidifying, drainage loss and decreasing microbial biomass. Displacement of mineral fertilizer with organic compounds like compost can reduce negative effects. Composts are organic material which has lots of advantages. Results of different studies showed that compost cause better soil fertility (Caravaca et al., 2002).

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) is one of five oil plants which is resistant to drought and adaptable in different climate of the country, growth and develop in different soil. Also high oil quality, low growth period after wheat and barley and its cultivation as a second crop cultivation.

For reaching these aims we should understand how its effect the high absorption efficiency of nutrient mineral and other factors affecting and ways to achieve them.

Materials and methods

For the reaction of sunflower to different levels of urea fertilizer and iron sulphate in the presence and non presence of vermicompost, a field experiment conducted in Darreh Gaz district (Khorasan Razavi province) in 2013. This experiment was in the form of factorial on the bases of complete randomized block design with three factors and three replications. In this experiment three level of urea fertilizer including, 50, 150 and 250 $kg.ha^{-1}$ as main factor and two levels of iron sulphate including zero and 80 $kg.ha^{-1}$ as second factor and vermicompost in two levels zero and 7 $t.ha^{-1}$ as third factor. Nitrogen treatment was applied in three stages. First stage was 1/3 of urea application at seeding stage. Second stage was at 8 leaf stage and application second 1/3 of urea and last 1/3 of urea applied at flowering stage. Iron sulphate treatment totally applied at flowering stage. Seeds were sown at depth of 3-5 cm on the furrows; plots had 4 lines for cultivation with the length of 6 meter. Distance between lines was 50 cm and distance between plants was 20 cm. At the end of season growth properties of plant like , plant height, stem diameter, tray diameter, leaf dry weight, leafstalk dry weight, stem dry weight, tray dry weight were measured. Statistical analysis were done with SAS ver. 9.1 and figures were done with excel. Mean comparison at 5% level were done with LSD test.

Result and discussion

1, 2, 3 and 4- MSc Student, Assistant Professor of Soil Science, Assistant Professor, Agronomy and Plant Breeding and Lecturer, Soil Science, Department Agriculture College, Shahrood University, Shahrood, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: mzsoil53@live.com)

Plant height, interaction effect of nitrogen and vermicompost on sunflower stem height was significant at 1% level. Highest stem observed at 250 $kg.ha^{-1}$ nitrogen and zero vermicompost application. Conjoint effect of nitrogen and iron sulphate on plant stem height was significant at 1% level. It seems that increase in nitrogen level cause better plant photosynthesis and finally higher plant height. Interaction effect of three factors had significant effect at 5% level on plant stem height. Composition effect of nitrogen and vermicompost on stem diameter was significant at 5% level. Lowest stem diameter achieved at 50 $kg.ha^{-1}$ nitrogen and zero vermicompost application. Effect of nitrogen and iron sulphate on stem diameter were significant at 5% level. Interaction effect of vermicompost and iron sulphate was significant at 5% level. Interaction effect of nitrogen and vermicompost on tray diameter was significant at 1% level. Also interaction effect of vermicompost and iron sulphate on tray diameter was significant at 1% level. (Rahimizadeh et al., 2010) showed that micro element application to sunflower had significant effect on tray diameter. Three factor interaction on tray diameter were significant at 1% level. Sunflower verities had different reaction to nitrogen application. Interaction between nitrogen and vermicompost had significant effect on yield at 1% level. Highest yield were 7.73 $t.ha^{-1}$ with interaction of nitrogen (250 $kg.ha^{-1}$ and vermicompost at 7 $t.ha^{-1}$).

Conclusion

Results showed that combination of vermicompost and iron sulphate along with different levels of urea compared to single effect of them needs more investigation. Vermicompost application as improve soil properties like porosity, available moisture and nutrient elements can improve the plant growth and better fertilizer use efficiency. Therefore it seems that conjunction of chemical fertilizer and vermicompost can improve sunflower growth in Darreh Gaz District.

Keywords: Nitrogen, Oilseed crop, Organic fertilizer

References

Caravaca, F., Hernandez, T., Garcia, C., and Roldan, A. 2002. Improvement of rhizosphere aggregate stability of afforested semiarid plant species subjected to mycorrhizal inoculation and compost addition. Geoderma 108: 133-144.

Mulvaney, R.L., Khan, S.A., and Ellsworth, T.R. 2009. Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil nitrogen: a global dilemma for sustainable cereal production. Journal of Environment 38(6): 2295-2314.

Ngo, P.T., Rumpel, C., Doan, T., and T., and Jouquet, P. 2012. The effect of earthworms on carbon storage and soil organic matter composition in tropical soil amended with compost and vermicompost. Soil Biology and Biochemistry 50: 214-220.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۳۱۴-۲۹۹

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 299-314

بررسی چرخه درازمدت کربن و میزان ترسیب آن در سیستم کشاورزی ایران: II- ترسیب و انتشار کربن برای محصولات زراعی مختلف با استفاده از مدل ICBM

مهدی نصیری محلاتی[۱]، علیرضا کوچکی[۱*]، روح الله مرادی[۲] و حامد منصوری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۷/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰٤/۲۵

چکیده

ترسیب کربن یکی از مهمترین راهبردهای کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر می‌باشد. به منظور بررسی میزان ترسیب کربن و انتشار CO_2 در بوم‌نظام‌های زراعی ایران، میزان ورودی کربن حاصل از هفت محصول زراعی اصلی از گروه‌های مختلف شامل غلات (گندم (*Triticum aestivum* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.)، ذرت (*Zea mays* L.) و برنج (*Oryza sativa* L.))، علوفه‌ای (یونجه (*Medicago sativa* L.))، صنعتی (پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)) و حبوبات (نخود (*Cicer arietinum* L.)) در اقلیم‌های مختلف کشور محاسبه شد و در نهایت با استفاده از مدل ICBM میزان ترسیب و انتشار کربن برای این محصولات و اقلیم‌های مورد نظر برآورد گردید. میانگین ورودی کربن در طول دوره ۲۰ ساله نشان داد که در بین مناطق اقلیمی مورد مطالعه، اقلیم گرم و خشک دارای بیشترین و اقلیم سرد کوهستانی از کمترین ورودی کربن برخوردار بودند. بیشترین نوسانات ورودی کربن در بین مناطق مختلف در اقلیم سرد کوهستانی با ۲۹/۱۳ درصد تغییر در سال و کمترین نوسانات مربوط به اقلیم مرطوب و گرم با ۸/۸۲ درصد تغییر در سال به دست آمد. روند تغییرات ورودی کربن در بین محصولات مختلف نشان داد که بیشترین ورودی کربن توسط یونجه و پنبه و کمترین آن مربوط به نخود بود. همچنین از بین گیاهان مورد بررسی دو گیاه یونجه و پنبه در کلیه سال‌های مورد بررسی بالاترین میزان کربن ترسیب شده به خاک را دارا بودند و کمترین مقدار آن در گیاه نخود مشاهده شد. در بین اقلیم‌های مختلف نیز بیشترین و کمترین میزان ترسیب کربن به ترتیب مربوط به اقلیم گرم و خشک و اقلیم مرطوب و گرم بود. از طرفی، بیشترین انتشار CO_2 در اقلیم مرطوب و گرم با میانگین ۲۰ ساله حدود ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار در سال و کمترین میزان مربوط به اقلیم سرد کوهستانی با ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار در سال مشاهده شد. نتایج نشان داد که میانگین ۲۰ ساله انتشار کربن به اتمسفر در گیاه یونجه (۵۸۰ کیلوگرم کربن) بیشتر از دیگر محصولات مورد بررسی بود و گیاه نخود نیز کمترین (۷۸/۸ کیلوگرم کربن) میزان انتشار کربن به جو را شامل شد. میزان انتشار CO_2 رابطه خطی معنی‌داری با میزان کربن ورودی به خاک و درجه حرارت نشان داد.

واژه‌های کلیدی: بقایای گیاهی، پویایی کربن، تغییر اقلیم، تولید خالص اولیه، هوموسی شدن

مقدمه

در سال‌های اخیر همراه با افزایش میزان غلظت دی‌اکسیدکربن در جو (*Hordeum vulgare* L.) و در پی گزارشات کمیته بین الدول تغییر اقلیم[۳] (IPCC) موضوع پویایی کربن در خاک مورد توجه قرار گرفته است (Andren et al., 2008). از طرفی تأکید شده است که ترسیب کربن در خاک بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌تواند به عنوان راهبردی مهم در کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن به اتمسفر در نظر گرفته شود (Smith et al., 2001). بوم‌نظام‌های کشاورزی به عنوان بزرگترین منبع تلفات کربن اتمسفری تخمین زده شده‌اند، که مقدار این تلفات برای اروپا ۳۰۰ مگاتن کربن در هر سال گزارش شده است (Smith, 2004). به خوبی اثبات شده است که میزان کربن خاک وابسته به تعادل بین کربن ورودی (بقایای برداشت شده و زیست‌توده گیاه) و خروجی (انتشار دی‌اکسیدکربن حاصل از تجزیه مواد آلی خاک) خاک می‌باشد. سرعت تجزیه بقایای گیاهی وابسته به گونه گیاهی و میزان محتوی نیتروژن و لیگنین گیاه یا به عبارتی نسبت C/N بقایای گیاهی متغیر می‌باشد. از طرفی اثر عملیات کاشت بر

۱ و ۲- به ترتیب استاد و دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: akooch@um.ac.ir
3- Intergovernmental panel on climate change

خصوصیات فیزیکی (از قبیل ساختمان، نفوذ آب، پایداری خاکدانه‌ها و تهویه) و شیمیایی (معدنی‌شدن و نیتریفیکاسیون) خاک شناخته شده است (Miller et al., 2004). سالیناس- گارسیا و همکاران (Salinas-Garcia et al., 1997) گزارش کردند که عملیات کاشت نقش مهمی بر خصوصیات فیزیکی خاک دارد. در سیستم‌های بدون شخم و شخم حداقل مواد غذایی و کربن آلی را در سطح خاک تجمع می‌یابد (Karlen et al., 1991). از طرفی نوع سیستم شخم رطوبت و دمای خاک را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد که این دو عامل خود باعث تغییر در پویایی کربن و نیتروژن شده و نسبت C/N را تحت تأثیر قرار می‌دهند که به نوبه خود نقش به‌سزایی بر پتانسیل ترسیب کربن ایفا می‌نماید (Wood et al., 1991; Tracy et al., 1990).

بالا بودن محتوی کربن آلی خاک برای حفظ حاصلخیزی و رطوبت بوم‌نظام‌های کشاورزی ضروری می‌باشد (Grace et al., 2006). میزان تغییر در کربن خاک به میزان فاصله از حالت پایدار کربن خاک[1] بستگی دارد (Andrén et al., 2004). بنابراین، اگر به هر طریقی میزان ورودی سالانه کربن به خاک افزایش یابد، میزان تغییر در کربن خاک و به عبارتی شیب تغییرات آن کاهش خواهد یافت و به مقدار پتانسیل ذخیره کربن خاک نزدیک خواهد شد (Andrén & Kätterer, 2001). افزایش ترسیب کربن باعث افزایش تولید زیست‌توده گیاهی، بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و در نتیجه جلوگیری از فرسایش آبی و بادی می‌شود. به همین دلیل ترسیب کربن علاوه بر دارا بودن ارزش‌های حفاظتی، به دلیل افزایش تولید زیست‌توده، از نظر اقتصادی نیز دارای ارزش است و می‌تواند به عنوان منفعت و سود اضافی حاصل از فعالیت عملیات ترسیب کربن لحاظ شود (Abdi et al., 2009). سیستم‌های بدون شخم و شخم کاهش‌یافته، کشت و کار گیاهان چندساله، کاشت گیاهان دارای ریشه عمیق، استفاده از نهاده‌های آلی کود دامی و کمپوست، نگهداری کاه و کلش محصولات زراعی در سطح خاک، تناوب و مدیریت ارگانیک به عنوان مهمترین راهکارهای مدیریتی بهبود ترسیب کربن در بخش کشاورزی مورد توجه قرار گرفته‌اند (Smith et al., 2000).

بین سیستم‌های کشاورزی و سیستم‌های طبیعی از نظر بیلان کربن و میزان ترسیب آن به خاک اختلاف نظر وجود دارد، در سیستم‌های زراعی خروجی‌های جانبی مانند برداشت و کاربرد کودهای ارگانیک و دامی تأثیر قابل توجهی بر بودجه کربن اکوسیستم‌ها می‌گذارد. بنابراین، باید کربن‌های منتقل شده در مسیرهای جانبی را با روش‌هایی محاسبه کرد تا بتوان تولید خالص بیوم را از تبادلات خالص اکوسیستم محاسبه کرد (Osborne et al., 2010). به عبارتی، در اکوسیستم‌های زراعی، علاوه بر خروج تنفسی کربن (تنفس هتروترفی خاک) خروج‌های جانبی نیز وجود دارد که شامل برداشت، آتش زدن بقایا، چرای دام و یا ورود حاصل از کاربرد کودهای آلی می‌باشد که این مدیریت‌های مختلف باید در بیلان کربنی یک اکوسیستم زراعی مورد بررسی قرار گیرد (Gehrung et al., 2009). به علت اختلاف در محصولات، سیستم‌های زراعی و عملیات کشاورزی، تخمین میزان تبادل کربن و گازهای گلخانه‌ای بین اتمسفر و اکوسیستم زراعی در مکان‌های مختلف ضروری است (Kutsch et al., 2010).

میزان ترسیب کربن در مناطق مختلف با توجه به نوع گونه‌های گیاهی، روش احیای بستر و شرایط محیطی به ویژه مقدار بارندگی متفاوت است. میزان ترسیب کربن در واحد زمان به خصوصیات رشد گونه‌های گیاهی و شیوه‌های مدیریت، تغییر کاربری اراضی، شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک و ذخیره قبلی کربن در خاک بستگی دارد (Post & Kwon, 2000; Derner & Schuman, 2007; Abdi et al., 2009). یکی از راهکارهای اندازه‌گیری میزان ترسیب کربن در سیستم‌های زراعی استفاده از مدل بیلان کربن مقدماتی (ICBM[2]) می‌باشد. ICBM یک مدل منطقه‌ای برای تخمین پویایی ذخیره کربن در خاک‌های کشاورزی می‌باشد که بر اساس نوع محصول زراعی، بافت خاک و خصوصیات اقلیمی عمل می‌کند (Andrén et al., 2004). هدف از اجرای این تحقیق بررسی میزان ترسیب و انتشار کربن برای برخی از مهمترین محصولات زراعی در اقلیم‌های مختلف کشور بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، داده‌های عملکرد و سطح زیر کشت برخی گیاهان زراعی مهم کشور شامل: گندم (*Triticum aestivum* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.)، ذرت (*Zea mays* L.)، پنبه

1- Steady-state soil C

2- Introductory carbon balance model

(*Gossypium hirsutum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.)، یونجه (*Medicago sativa* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) برای استان‌های مختلف کشور طی یک دوره ۲۰ ساله (۸۹-۱۳۶۹) از طریق مراجعه به پایگاه اطلاعاتی وزارت جهاد کشاورزی کشور جمع‌آوری شد. اطلاعات هواشناسی و اقلیمی مربوطه از طریق کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی هر استان و نیز در مواردی مراجعه موردی به مسئولین هر بخش جمع‌آوری گردید. سپس میزان تولید خالص اولیه بر اساس کربن (NPPc) محاسبه شد که روش محاسبه آن توسط کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2013) گزارش شده است.

اطلاعات مربوط به شاخص برداشت و نسبت اندام هوایی به زیرزمینی، از طریق مطالعات انجام گرفته در کشور برای محصولات مختلف و نیز نمونه‌گیری از محصولات زراعی مورد مطالعه در نقاط مختلف کشور به دست آمد. برای یونجه، مجموع چین‌های برداشت شده در کل طول فصل رشد به عنوان اندام هوایی مدنظر قرار گرفت. برای گیاهان یک‌ساله زیست‌توده گیاه در مرحله رسیدگی لحاظ گردید. در این تحقیق، برای گیاهان گندم، جو، ذرت، برنج و نخود عملکرد دانه؛ در پنبه عملکرد وش و برای یونجه زیست‌توده اندام هوایی به عنوان عملکرد اقتصادی در نظر گرفته شد.

همچنین استان‌های کشور به چهار اقلیم مرطوب خزری (استان‌های گیلان، مازندران و گلستان)، گرم و خشک (استان‌های قم، سمنان، اصفهان، کرمان، یزد، خراسان بزرگ، سیستان و بلوچستان، تهران و قزوین)، سرد و کوهستانی (اردبیل، چهارمحال و بختیاری، کهکیلویه و بویر احمد، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، زنجان، همدان، مرکزی، کردستان، لرستان، ایلام و کرمانشاه) و گرم و مرطوب جنوبی (بوشهر، هرمزگان، خوزستان و فارس) تقسیم بندی شدند (Yousefi & Famili, 2008).

بعد از محاسبه میزان کربن خالص تولیدی در محصولات مختلف، میزان بقایای باقیمانده در مزارع پس از برداشت هر محصول که منبع کربن ورودی می‌باشد، از طریق اندازه‌گیری بقایای باقیمانده محصولات در مزارع مختلف و نیز پرسشنامه‌های که در اختیار کشاورزان قرار داده شد، تعیین گردید. همچنین برای تعیین میزان پتانسیل ورودی کربن از طریق محصولات زراعی مورد مطالعه، فرض بر این گرفته شد که کل زیست‌توده تولیدی به غیر از اندام اقتصادی به خاک بازگردانده شود و اختلاف بین میزان واقعی و پتانسیل کربن ورودی به عنوان خلاء ورودی کربن در نظر گرفته شد.

برای محاسبه پویایی کربن و در نهایت، سهم بخش کشاورزی در ترسیب کربن در کشور ایران از مدل ICBM که اجزاء آن در شکل ۱ نشان داده شده است، استفاده شد (Andrén et al., 2004).

این مدل شامل دو بخش اصلی، شامل کربن حاصل از بقایای سال زراعی جاری (Y) و کربن ذخیره شده از سال‌های قبل (O) می‌باشد که در نهایت از طریق معادله‌های زیر میزان کربن هر یک از بخش‌های فوق و در نتیجه میزان کل کربن ترسیب شده که مجموع این دو می‌باشد، در سیستم کشاورزی محاسبه شد.

$$Y_t = \left(Y_{t-1} + i_{t-1}\right)e^{-k_Y r_e} \quad (۱)$$

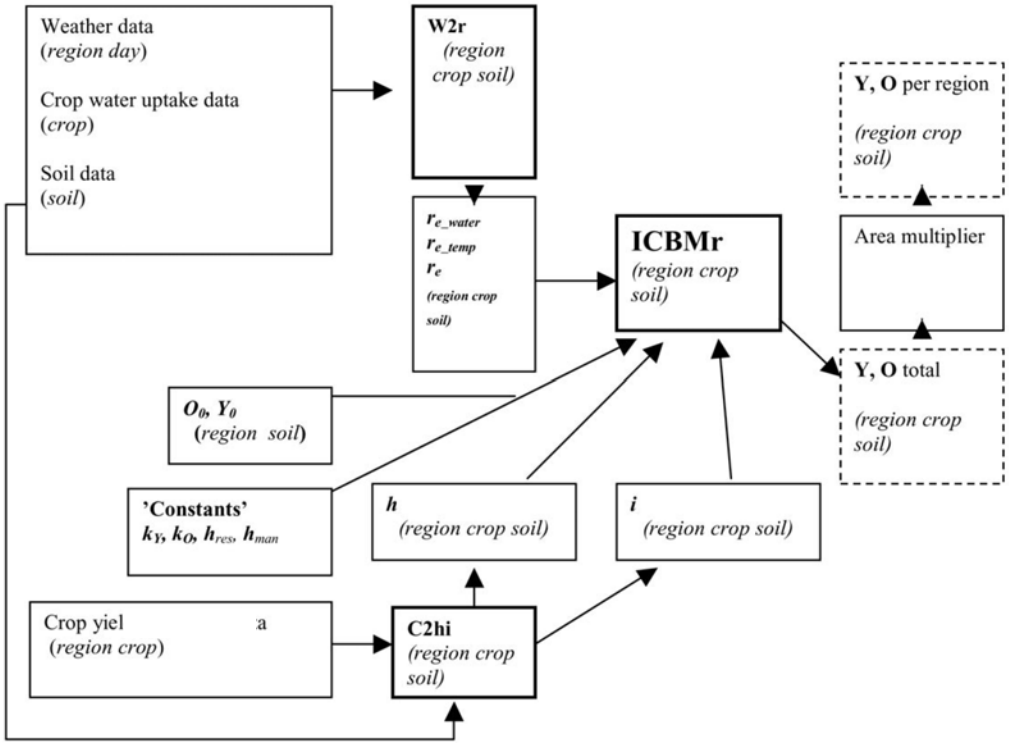
$$O_t = \left(O_{t-1} - h\frac{k_Y(Y_{t-1}+i_{t-1})}{k_O - k_Y}\right)e^{-k_O r_e} + h\frac{k_Y(Y_{t-1}+i_{t-1})}{k_O - k_Y}e^{-k_Y r_e} \quad (۲)$$

که در این معادلات، Y: کربن حاصل از بقایای سال زراعی جاری، O: کربن ذخیره شده از سال‌های قبل، t: زمان (سال)، i: کربن ورودی (تن در هکتار)، h: ضریب هوموسی شدن، k_Y: ثابت تجزیه بقایا برای Y، k_O: ثابت تجزیه بقایا برای O و r_e: ضریب اقلیمی. مقدار k_O و k_Y نیز به ترتیب ۰/۰۰۶ و ۰/۸ در نظر گرفته شدند (Andrén & Kätterer, 1997). میزان r_e نیز بر اساس روش آندرن و همکاران (Andren et al., 2004) با توجه به خصوصیات اقلیمی و خاک محاسبه شد.

میزان انتشار دی‌اکسیدکربن به جو حاصل از بقایای سال جاری (Y) نیز از اختلاف بین میزان کربن ورودی و میزان ترسیب کربن حاصل از بقایای سال زراعی جاری محاسبه گردید. برای بررسی داده‌ها و رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی فاکتورهای مؤثر در مدل ICBM در جدول ۱ نشان داده شده است. از بین این فاکتورها میزان ورودی کربن و ضریب هوموسی شدن نقش مثبتی در میزان ترسیب کربن داشتند و از طرفی ثابت تجزیه بقایا برای Y و O و ضریب اقلیمی نقش منفی در میزان ترسیب کربن سیستم‌های زراعی بر عهده دارند. به عبارتی، هرچه میزان ورودی کربن و ضریب هوموسی شدن بیشتر باشد، میزان ذخیره کربن در خاک بهبود می‌یابد. از طرفی هرچه میزان تجزیه بقایا بشتر باشد، کربن زودتر تجزیه شده و سریع‌تر از سیستم خارج می‌گردد.



شکل ۱- شمای کلی مدل ICBM.

(داده‌های مربوط به محصول زراعی، آب و هوا و خاک از هر منطقه در نمودار مربوط به $W2r_e$ مورد استفاده قرار می‌گیرد. (O_0 و Y_o) نشان‌دهنده میزان اولیه کربن می‌باشد. پارامترهای K و h ثابت در نظر گرفته شدند. i و r_e نیز به ترتیب نشان‌دهنده میزان کربن ورودی و شاخص اقلیمی (تن در هکتار))

Fig. 1- The ICBM region concept.

(Crop, weather, and soil data for each region are used in the weather-to-re module ($W2r_e$). The initial carbon mass values were presented as O_o and Y_o. K and h were considered constant. i and r_e show the climate coefficient and C input to soil respectively. (t.ha^{-1}))

جدول ۱- ویژگی فاکتورهای دخیل در مدل ICBM (Andrén et al., 2004)

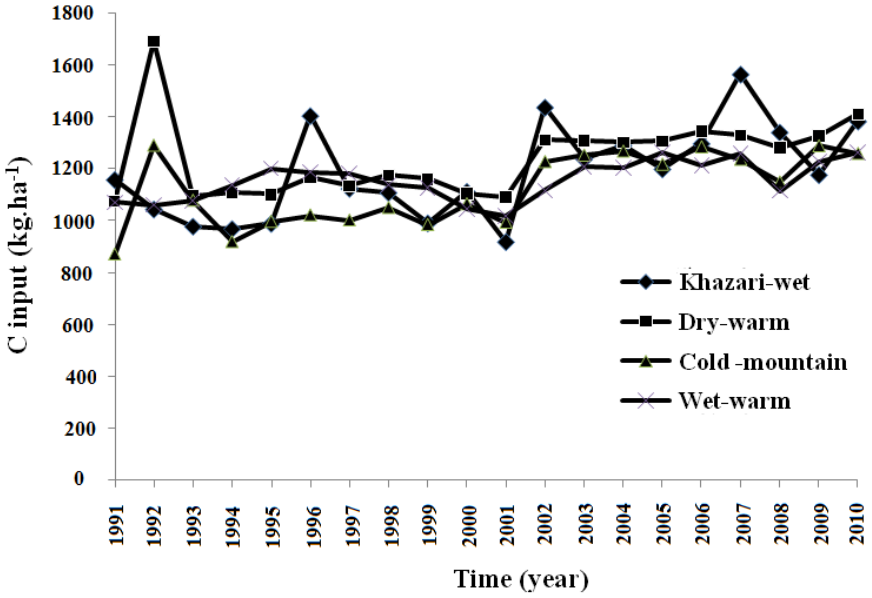
Table 1- The parameters of the ICBM model (Andrén et al., 2004)

فاکتور Parameter	علامت اختصاری Symbol	واحد Typical unit	تأثیر بر افزایش میزان کربن خاک Effect on soil C increase
ورودی کربن C input	i	کیلوگرم در سال kg.year^{-1}	مثبت Positive
ثابت تجزیه بقایا برای Y Decomposition rate constant for Y	K_Y	در سال Year^{-1}	منفی Negative
ضریب هوموسی شدن Humification coefficient	h	بدون واحد Dimensionless	مثبت Positive
ثابت تجزیه بقایا برای O Decomposition rate constant for O	K_O	در سال Year^{-1}	منفی Negative
ضریب اقلیمی Climatic coefficient	r_e	بدون واحد Dimensionless	منفی Negative

کربن ورودی به خاک

روند تغییرات ورودی کربن در مناطق مختلف که میانگینی از محصولات زراعی مختلف می‌باشد در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ورودی کربن در اغلب مناطق روند صعودی داشته و اختلاف چندانی بین مناطق مختلف به خصوص در سال‌های آخر وجود نداشت. بیشترین ورودی کربن در اقلیم گرم و

خشک فلات مرکزی در سال ۱۳۷۱ با ورودی کربنی معادل ۱۶۹۲ کیلوگرم در هکتار و کمترین ورودی کربن مربوط به اقلیم سرد کوهستانی در سال ۱۳۷۰ با ورودی کربنی به میزان ۸۶۹ کیلوگرم کربن بود. میانگین ورودی کربن در طول دوره ۲۰ ساله نیز نشان داد که اقلیم گرم و خشک دارای بیشترین ورودی کربن و اقلیم سرد کوهستانی از کمترین ورودی کربن در بین مناطق مختلف برخوردار بودند (جدول ۲). درصد تغییرات ورودی کربن نسبت به ابتدای دوره مورد بررسی نشان داد که میزان ورودی کربن به غیر از اقلیم معتدل و مرطوب سواحل خزری در سایر اقلیم‌ها روند افزایشی داشت، در صورتی که در اقلیم معتدل و مرطوب خزری در برخی از سال‌ها روند نزولی را نشان داد (شکل ۳). به نظر می‌رسد که این امر به دلیل نوسانات مختلف عملکرد گیاهان مربوطه می‌باشد. بیشترین نوسانات ورودی کربن در بین مناطق مختلف در اقلیم سرد کوهستانی با ۲۹/۱۳ درصد تغییر در سال و کمترین نوسانات مربوط به اقلیم مرطوب و گرم با ۸/۸۲ درصد تغییر در سال مشاهده شد (جدول ۲). بولیندر و همکاران (Bolinder et al., 2007) نیز گزارش کردند که به دلیل تغییرات ناچیز میزان ورودی کربن و همچنین خصوصیات اقلیم و تجزیه‌ای، میزان تغییرات سالیانه کربن آلی در خاک بوم-نظام‌های زراعی کشور کانادا ناچیز بود. آندرون و همکاران (Andren et al., 2008) نیز این موضوع را برای کشور سوئیس تأیید نمودند.



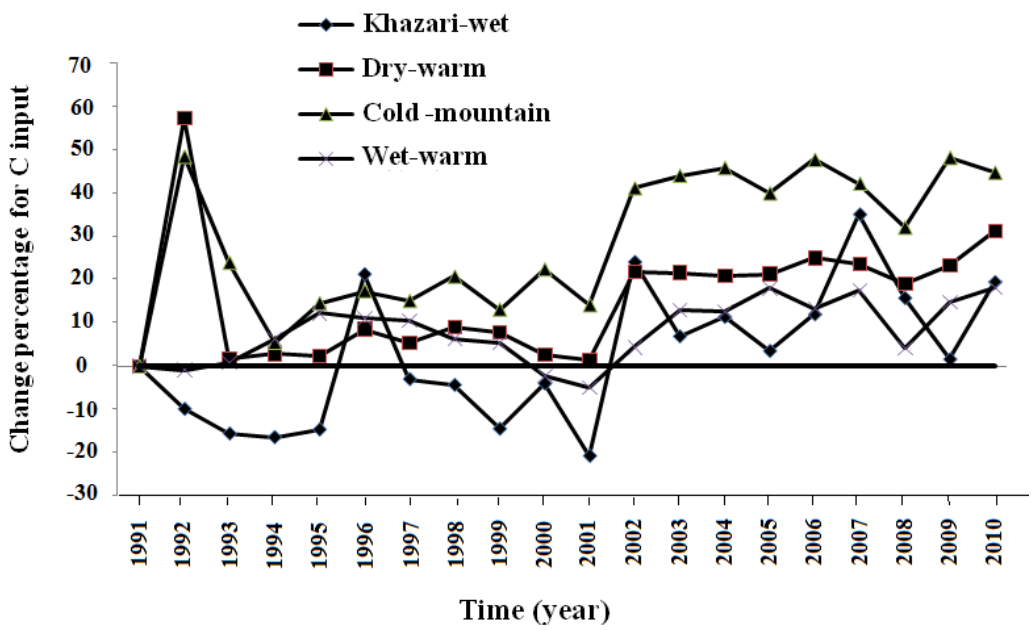
شکل ۲- میزان ورودی درازمدت کربن در مناطق مختلف کشور طی یک دوره ۲۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۹۱ میلادی)

Fig. 2- Long term C input in different regions of Iran under 20 years period (1991-2010)

جدول ۲- ضرایب هوموسی شدن (h)، منطقه‌ای (r_e) و میانگین درازمدت ورودی کربن برای اقلیم‌های مختلف کشور

Table 2- Humification (h) and climatic (r_e) coefficient and average of long term C input in different climates

اقلیم Climate	ضریب هوموسی شدن h	ضریب اقلیمی r_e	میانگین ۲۰ ساله ورودی کربن (کیلوگرم در هکتار در سال) Average of 20 years C ($kg.ha^{-1}.year^{-1}$)	درصد تغییر در سال Change in year (%)
معتدل خزری Khazari-wet	0.290	1.07	1186.18	12.72
گرم و خشک Dry-warm	0.140	0.86	1241.79	15.35
سرد کوهستانی Cold-mountain	0.170	0.74	1123.40	29.13
گرم مرطوب Wet-warm	0.320	1.24	1155.97	8.82



شکل ۳- درصد تغییرات ورودی کربن در اقلیم‌های مختلف کشور طی یک دوره ۲۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۹۱ میلادی)

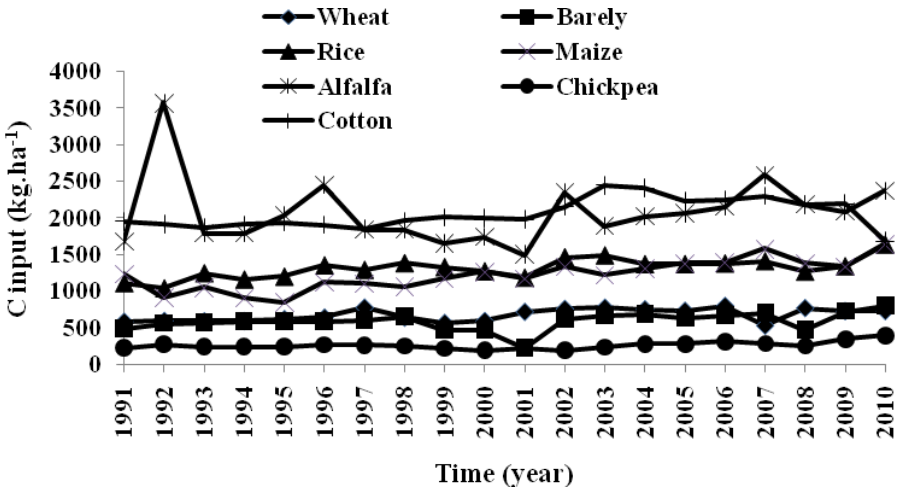
Fig. 3- Change percentage of C input in different climates of Iran under 20 years period (1991-2010)

روند تغییرات ورودی کربن در بین محصولات مختلف نشان می‌دهد که بیشترین ورودی کربن توسط یونجه و پنبه وارد خاک می‌شود و کمترین ورودی کربن مربوط به گیاه نخود می‌باشد، به طوری‌که میانگین ۲۰ ساله ورودی کربن برای یونجه و پنبه به ترتیب برابر با ۲۰۸۵ و ۲۰۶۲ کیلوگرم در هکتار در سال و برای گیاه نخود معادل ۲۶۹ کیلوگرم در هکتار در سال می‌باشد (شکل ۴). میزان ورودی کربن توسط ذرت و برنج نیز در تمام سال‌ها بیشتر از گندم و جو بود که می‌توان دلیل احتمالی این موضوع را به زیست‌توده بالای ذرت و همچنین بیشتر بودن برگشت بقایا در برنج نسبت به گیاهانی چون گندم و جو مربوط دانست. همان‌طور که در شکل ۴ نیز مشاهده می‌شود، بیشترین نوسانات ورودی کربن در بین محصولات مختلف زراعی طی دوره ۲۰ ساله مربوط به گیاه یونجه و کمترین نوسانات مربوط به گیاه نخود بود (شکل ۴). بیشترین ورودی کربن در بین محصولات و سال‌های مختلف در گیاه یونجه و در سال ۱۳۷۱ با ورودی معادل ۳۵۸۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان در گیاه نخود در سال ۱۳۸۱ با ورودی برابر ۱۹۹ کیلوگرم کربن در هکتار بود (شکل ۴).

ترسیب کربن

از بین گیاهان مورد بررسی دو گیاه یونجه و پنبه در کلیه سال‌های مورد بررسی بالاترین میزان کربن ترسیب شده به خاک را هم برای کربن حاصل از بقایای سال زراعی جاری (Y) و هم برای کربن ذخیره شده از سال‌های قبل (O) دارا بودند و کمترین مقدار این پارامترها در گیاه نخود مشاهده شد (جدول ۳). دلیل این امر بیشتر بودن بخش زیرزمینی دو گیاه یونجه و پنبه می‌باشد. میزان ترسیب کربن برای هر یک از گیاهان زراعی در طی سال‌های مختلف روند متفاوتی را نشان داد، به طوری‌که بیشترین (۵۶۷ کیلوگرم کربن در هکتار) و کمترین (۴۳۴ کیلوگرم کربن در هکتار) میزان ترسیب کربن حاصل از بقایای سال زراعی جاری در گندم به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۷۲ مشاهده شد (جدول ۳). آندرن و همکاران (Andren et al., 2008) با بررسی میزان کربن حاصل از بقایای سال جاری (Y) و گذشته (O) برای دو گیاه جو و گندم در مناطق مختلف کشور سوئد گزارش نمودند که مقدار Y بین ۱/۲ تا ۳/۵ تن کربن در هکتار و میزان O نیز بین ۶۷ تا ۹۰ تن کربن در هکتار متفاوت بود که خیلی بالاتر از میزان آن در ایران می‌باشد. نتایج آزمایش مذکور حاکی از این بود که درصد کربن خاک در سوئد برای مناطق مختلف این کشور بین ۵-۲ درصد متفاوت بود، در حالی‌که این نسبت برای ایران به طور میانگین ۰/۵ درصد بود و از طرف دیگر، ایشان گزارش نمودند که در سوئد بیش از ۷۰ درصد بقایای محصول به خاک برگردانده می‌شود و

این میزان در ایران کمتر از ۱۰ درصد بقایا می‌باشد. به نظر می‌رسد این دو عامل، دلیل اختلاف زیاد در میزان کربن حاصل از بقایای سال جاری (*Y*) و گذشته (*O*) برای ایران و سوئد باشد.



شکل ٤- میزان ورودی درازمدت کربن در محصولات مختلف کشور طی یک دوره ۲۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۹۱ میلادی)

Fig. 4- Long term C input of different crops under 20 years period (1991-2010)

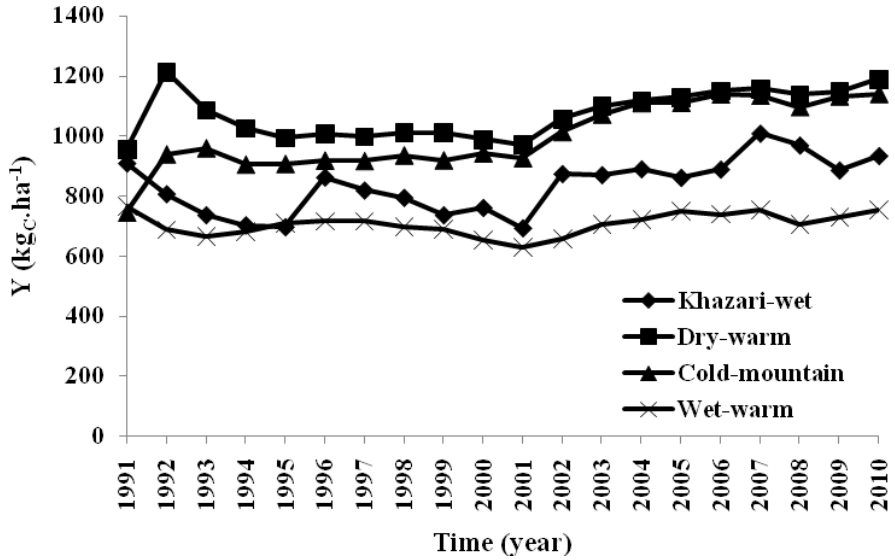
جدول ۳- میزان ترسیب کربن حاصل از بقایای سال زراعی جاری (*Y*) بر حسب کیلوگرم در هکتار و قبل (*O*) بر حسب تن در سال

Table 3- C sequestration related to current year *(Y)* (kg.ha^{-1}) and prior year (*O)* (t.year^{-1})

سال Year	گندم Wheat		جو Barely		ذرت Maize		برنج Rice		یونجه Alfalfa		نخود Chickpea		پنبه Cotton	
	O	*Y*	*O*	*Y*	*O*	*Y*	*O*	*Y*	*O*	*Y*	*O*	*Y*	*O*	*Y*
1991	22.0	449	22.0	377	24.2	941	24.1	845	26.7	1264	18.0	176	26.8	1490
1992	22.0	438	22.0	395	24.2	782	24.1	789	27.0	1993	18.0	188	26.8	1432
1993	22.0	434	22.0	410	24.2	767	24.1	847	26.7	1666	18.0	183	26.8	1393
1994	22.0	435	22.0	422	24.2	704	24.1	845	26.7	1503	18.0	182	26.8	1385
1995	22.0	445	22.0	430	24.1	650	24.1	861	26.8	1509	18.0	183	26.8	1388
1996	22.0	457	22.0	432	24.2	736	24.2	929	26.9	1656	18.0	192	26.8	1379
1997	22.1	514	22.0	439	24.2	768	24.2	938	26.7	1485	18.0	194	26.8	1357
1998	22.1	487	22.0	459	24.2	772	24.2	978	26.7	1409	18.0	192	26.8	1388
1999	22.0	448	22.0	403	24.2	818	24.2	978	26.7	1301	18.0	178	26.8	1421
2000	22.0	440	22.0	376	24.2	874	24.1	961	26.7	1285	18.0	162	26.8	1437
2001	22.1	485	21.9	206	24.2	866	24.1	917	26.7	1186	18.0	167	26.8	1443
2002	22.1	522	22.0	367	24.2	928	24.2	1003	26.9	1462	17.9	157	26.8	1519
2003	22.1	547	22.0	435	24.2	915	24.2	1054	26.7	1415	18.0	170	26.9	1664
2004	22.1	551	22.0	473	24.2	944	24.2	1032	26.8	1445	18.0	191	26.9	1717
2005	22.1	546	22.0	470	24.2	987	24.2	1021	26.8	1470	18.3	201	26.8	1676
2006	22.1	567	22.0	483	24.2	1015	24.2	1019	26.8	1517	18.0	218	26.8	1667
2007	22.0	476	22.1	503	24.3	1100	24.2	1030	26.9	1698	18.0	213	26.9	1682
2008	22.1	526	22.0	423	24.2	1067	24.1	979	26.8	1628	18.0	197	26.8	1641
2009	22.1	534	22.1	485	24.2	1032	24.2	983	26.8	1561	18.0	223	26.8	1629
2010	22.1	540	22.1	546	24.3	1138	24.2	1094	26.9	1645	18.0	254	26.7	1426
میانگین Mean	22.1	492.1	22.0	426.7	24.2	890.2	24.2	955.2	26.8	1504.9	18.0	191.1	26.8	1506.7

بررسی روند تغییرات میزان ترسیب کربن حاصل از بقایای سال زراعی جاری برای دو گیاه ذرت و پنبه نشان داد که با گذشت زمان

میزان ترسیب کربن این دو گیاه بهبود یافت، به طوری‌که به عنوان مثال در گیاه ذرت از سال ۱۳۸۰ به بعد میزان ترسیب کربن همواره بالاتر از ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد این بیشتر به دلیل استفاده از ارقام با تولید زیست‌توده بیشتر در سال‌های اخیر باشد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، میزان کربن ورودی نقش مثبتی در ترسیب کربن دارد و این موضوع را تصدیق می‌نماید. این روند برای گیاه نخود هم مشاهده شد (جدول ۳). نکته قابل توجه اینجاست که میزان کربن ذخیره شده حاصل از سال‌های قبل (O) در همه گیاهان مورد بررسی با گذشت زمان تغییر چندانی نیافت. این امر می‌تواند نشان‌دهنده این موضوع باشد از آن‌جا که در سیستم کشاورزی ایران، بخش غالب محصول تولیدی از زمین خارج شده و سهم ناچیزی از آن به خاک برگردانده می‌شود، در نتیجه میزان کربن ترسیب شده در خاک بوم‌نظام‌های زراعی تقریباً ثابت می‌باشد. نتایج ثابت می‌کند که گیاه یونجه یکی از مؤثرترین گیاهان در بهبود میزان ذخیره کربن خاک می‌باشد.



شکل ۵- میزان کربن ترسیب شده حاصل از بقایای سال جاری (Y) در مناطق مختلف کشور طی یک دوره ۲۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۹۱ میلادی)

Fig. 5- C sequestration related to young residuals in different regions under 20 years period (1991-2010)

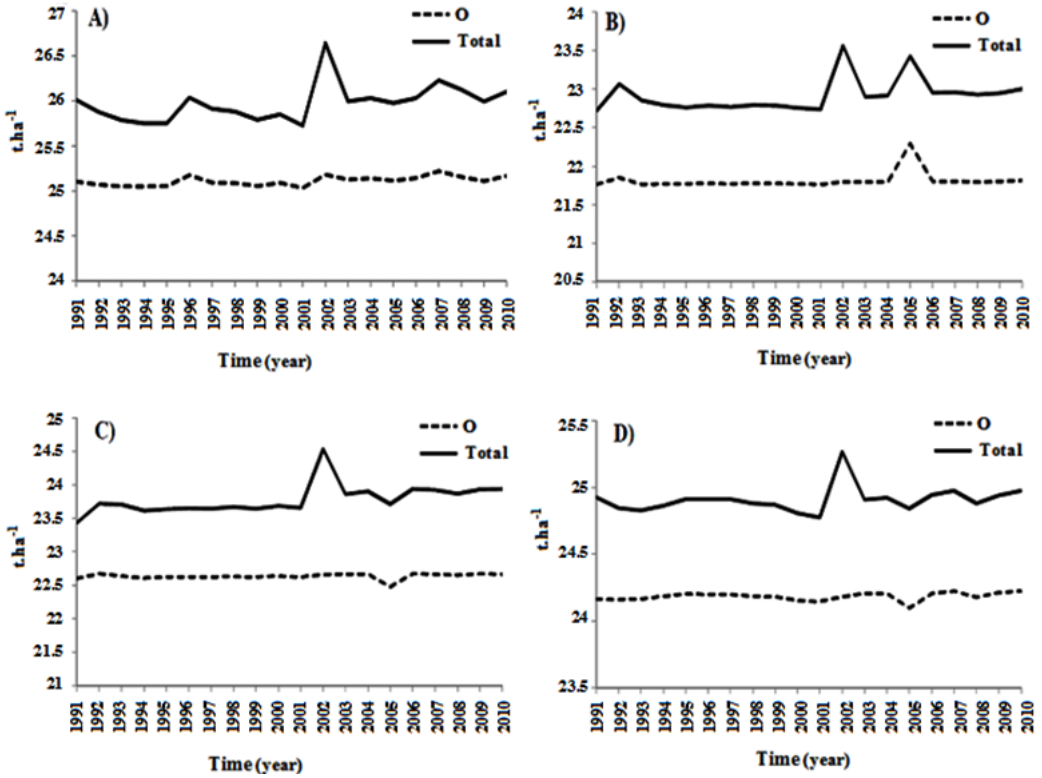
روند ترسیب کربن حاصل از بقایای سال جاری (Y) در مناطق مختلف کشور نشان می‌دهد که در تمام اقلیم‌های مورد بررسی روند تقریباً ثابتی در ترسیب کربن در طی دوره ۲۰ ساله وجود دارد، هر چند نوساناتی هم در طول سال‌ها در مناطق مختلف مشاهده می‌شود. بیشترین نوسانات ترسیب کربن حاصل از بقایای سال جاری در اقلیم معتدل و مرطوب سواحل خزر مشاهده شد (شکل ۵). با توجه به شکل ۵ می‌توان بیان کرد که ترسیب کربن در اقلیم سرد کوهستانی در مقایسه با سایر اقلیم‌ها که تقریباً ترسیب کربن ثابتی در درازمدت داشته‌اند، روند افزایشی در درازمدت داشته است. بیشترین ترسیب کربن حاصل از بقایای سال جاری در درازمدت در اقلیم گرم و خشک فلات مرکزی با میانگین ۱۰۷۲/۸۴ کیلوگرم کربن در هکتار در سال و کمترین ترسیب مربوط به اقلیم مرطوب و گرم با میانگینی معادل ۷۰۵/۴۳ کیلوگرم کربن در هکتار در سال بود (جدول ۴).

میانگین درازمدت ترسیب کربن در اقلیم سرد کوهستانی بیشتر از اقلیم معتدل خزری بود، به طوری‌که به ترتیب دارای ترسیب کربنی معادل ۹۹۷/۷۷ و ۸۳۵/۴۲ کیلوگرم در هکتار در سال بودند (جدول ۴). اسمیت و همکاران (Smith et al., 2005) نیز میزان کربن ترسیب شده حاصل از بقایای گیاهی را در بوم‌نظام‌های زراعی اروپا را مورد بررسی قرار دادند و مقدار آن را برای مناطق مختلف بین ۴۷۰ تا ۳۱۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر گزارش نمودند. ایشان تغییر در میزان اولیه کربن خاک و نسبت بقایای برگشتی به خاک را مهمترین عوامل مؤثر در تعیین میزان ترسیب کربن خاک معرفی نمودند.

جدول ٤- میانگین درازمدت دما، بارندگی، کربن ترسیب شده حاصل از سال جاری (*Y*) و انتشار دی‌اکسیدکربن در اقلیم‌های مختلف کشور

Table 4- Long terms average of temperature, precipitation, C sequestration related to young residuals and CO_2 emission in various climates

اقلیم Climate	میانگین ۲۰ ساله دما (سانتی‌گراد) 20 years average of temperature (°C)	میانگین ۲۰ ساله بارندگی (میلی‌متر) 20 years average of precipitation (mm)	میانگین ۲۰ ساله ترسیب کربن حاصل از Y (کیلوگرم در هکتار در سال) 20 years average of C sequestration ($kg.ha^{-1}.year^{-1}$)	میانگین ۲۰ ساله انتشار دی‌اکسید کربن (کیلوگرم در هکتار در سال) 20 years average of CO_2 emission ($kg.ha^{-1}.year^{-1}$)
معتدل خزری Khazari-wet	17.11	935.91	835.42	350.76
گرم و خشک Dry-warm	16.98	277.95	1072.84	169.95
سرد کوهستانی Cold-mountain	13.67	483.8	997.77	125.62
گرم مرطوب Wet-warm	24.15	275.83	705.43	450.54



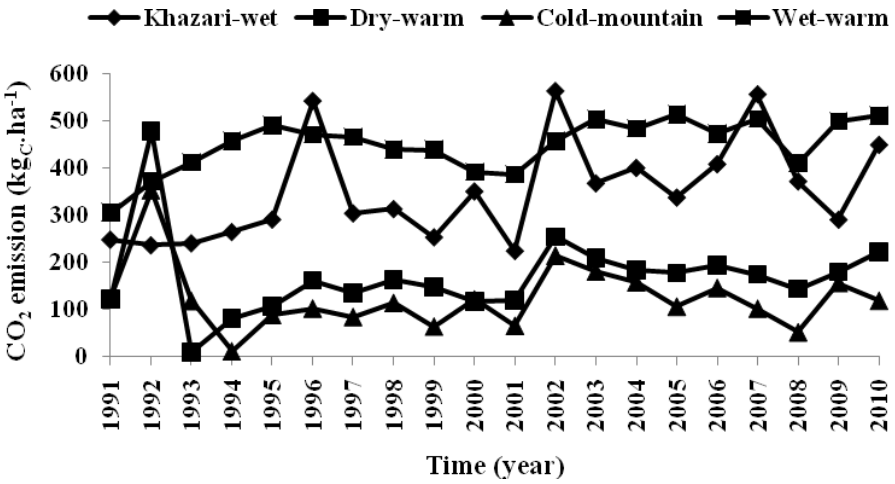
شکل ٦- روند ترسیب کربن حاصل از سال‌های قبل (O) و مجموع کربن ترسیب شده (Total) حاصل از سال‌های جاری و قبل (A، B، C و D به ترتیب نشان‌دهنده اقلیم‌های معتدل و مرطوب خزری، گرم و خشک فلات مرکزی، سرد کوهستانی و گرم و مرطوب)

Fig. 6- Trend of C sequestration of old and total residuals for current and prior years (A, B, C and D indicate the Khazari, Warm-dry, Cold and Warm-wet climates, respectively.)

انتشار دی‌اکسیدکربن

روند انتشار دی‌اکسیدکربن در مناطق مختلف نشان می‌دهد که در تمام مناطق میزان انتشار دی‌اکسیدکربن تقریباً ثابت بوده و بیشترین نوسانات در اقلیم معتدل و مرطوب خزری و کمترین نوسان را اقلیم

مرطوب و گرم دارا می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۷- میزان انتشار دی‌اکسیدکربن حاصل از برخی محصولات زراعی در مناطق مختلف کشور طی یک دوره ۲۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۹۱ میلادی)

Fig. 7- CO_2 emission of different crops in various years in different region under 20 years period (1991-2010)

بیشترین انتشار دی‌اکسیدکربن در اقلیم مرطوب و گرم با میانگین ۲۰ ساله حدود ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار در سال و کمترین میزان مربوط به اقلیم سرد کوهستانی با ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار در سال است (جدول ۴). میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در اقلیم معتدل و مرطوب خزری نیز بیشتر از اقلیم گرم و خشک فلات مرکزی بود؛ به طوری‌که به ترتیب میانگینی حدود ۳۵۰ و ۱۶۹ کیلوگرم در هکتار در سال داشتند (جدول ۴). سوگیهارا و همکاران (Sugihara et al., 2012) نیز مقدار انتشار دی‌اکسیدکربن برای بوم‌نظام‌های زراعی مناطق مختلف کشور تانزانیا را بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم کربن در هکتار متغیر گزارش کردند.

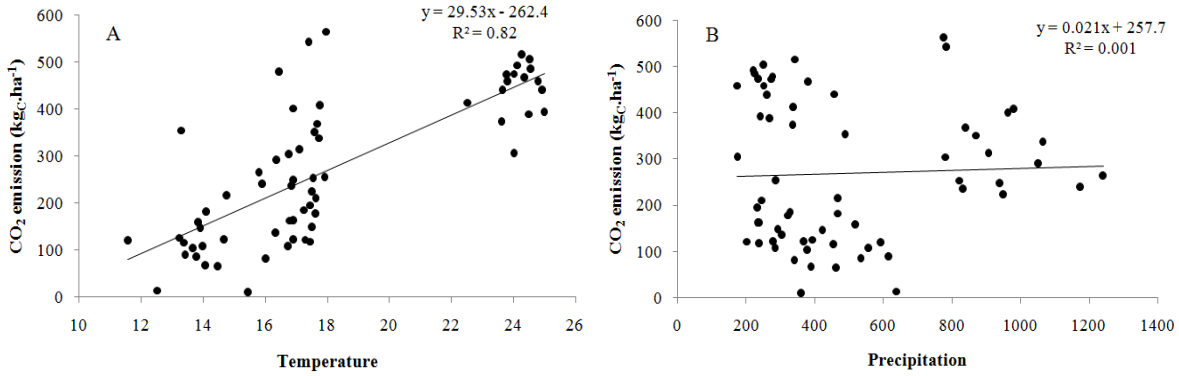
با توجه به رابطه به دست آمده بین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن و درجه حرارت (ضریب تبیین= ۰/۸۲) که در شکل ۸ نشان داده شده است، می‌توان چنین بیان کرد که در مناطقی که درجه حرارت بالا باشد، میزان انتشار نیز افزایش می‌یابد که شیب این افزایش ۲۹/۵۳ کیلوگرم به ازای یک درجه افزایش دما می‌باشد. بنابراین، دلیل بیشتر بودن انتشار دی‌اکسیدکربن در اقلیم‌های گرم و مرطوب و همچنین معتدل و مرطوب خزری را می‌توان به بالاتر بودن درجه حرارت در این مناطق نسبت داد. رابطه معنی‌داری بین میزان انتشار دی-اکسیدکربن و بارندگی با توجه به شکل ۸ مشاهده نشد. بدین ترتیب چنین به نظر می‌رسد که درجه حرارت تأثیر بیشتر و معنی‌داری در مقایسه با رطوبت بر انتشار دی‌اکسیدکربن داشته است. لوماندر و همکاران (Lomander et al., 1998)، تأثیر دما و رطوبت بالا و زیر خاک را بر انتشار CO_2 مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که با افزایش درجه حرارت میزان انتشار CO_2 افزایش نشان داد، در حالی‌که افزایش رطوبت تأثیر منفی بر انتشار CO_2 داشت. همچنین بیان نمودند که تأثیر دما بر انتشار CO_2 بیشتر از رطوبت بود. همچنین کاترر و همکارن (Katterer et al., 1998) نیز تأکید نمودند که به دلیل تأثیر درجه حرارت بر میزان تجزیه مواد آلی، این عامل اقلیمی نقش اساسی در ترسیب و انتشار کربن بر عهده دارد.

نتایج نشان داد که میانگین ۲۰ ساله انتشار کربن به جو در گیاه یونجه (۵۸۰ کیلوگرم کربن) بیشتر از دیگر محصولات مورد بررسی بود و گیاه نخود نیز کمترین (۷۸/۸ کیلوگرم کربن) میزان انتشار کربن به اتمسفر را شامل شد (جدول ۵). بعد از یونجه نیز گیاه پنبه نسبت به سایر محصولات مورد بررسی میزان انتشار کربن بیشتری را دارا بود. تغییرات انتشار دی‌اکسیدکربن در بین محصولات زراعی نوسانات زیادی نشان داد و محدوده آن از ۴۰ کیلوگرم در هکتار برای گیاه نخود در سال ۱۳۷۹ تا ۱۵۸۸ کیلوگرم در هکتار برای گیاه یونجه در سال ۱۳۷۱ متغیر بود (جدول ۵). لوکوپیتیا (Lokupitiya, 2006) نیز با بررسی مقدار انتشار کربن را برای گندم، جو و برنج در سال‌های مختلف در کشور آمریکا، گزارش کرد که مقدار انتشار کربن از بقایای

برگشتی به خاک از ۲۲۰ تا ۲۴۰ کیلوگرم کربن در هکتار متفاوت بود. بررسی میزان انتشار کربن در سال‌های مختلف نشان داد که رابطه مستقیمی (با ضریب تبیین ۰/۸۸) بین میزان کربن ورودی به خاک و میزان انتشار کربن به اتمسفر وجود داشت، به طوری‌که به ازای هر کیلوگرم کربن که به زمین وارد می‌شد، میزان حدود ۰/۴۶ کیلوگرم کربن به جو انتشار پیدا می‌کرد (شکل ۹).

نتیجه‌گیری

به طور کلی بررسی میانگین ورودی کربن از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ برای بوم‌نظام‌های زراعی ایران نشان داد که اقلیم گرم و خشک دارای بیشترین ورودی کربن و اقلیم سرد کوهستانی از کمترین ورودی کربن در بین مناطق مختلف برخوردار بودند. نتایج نشان داد که در درازمدت روند تغییرات ورودی کربن تقریباً ثابت بود، با این وجود، بیشترین نوسانات ورودی کربن در بین مناطق مختلف در اقلیم سرد کوهستانی و کمترین نوسانات مربوط به اقلیم مرطوب و گرم مشاهده گردید.



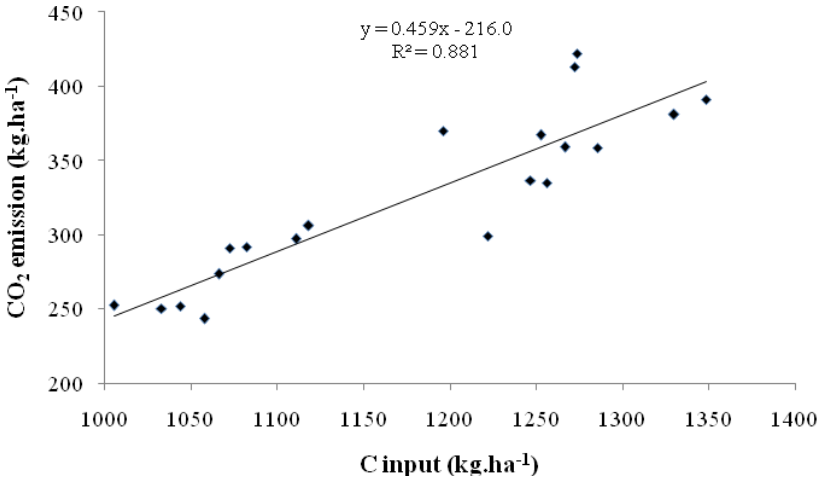
شکل ۸- رابطه خطی بین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن با درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد) (A) و بارندگی (میلی‌متر) (B)

Fig. 8- Linear relationship between CO_2 emission with temperature (°C) (A) and precipitation (mm) (B)

جدول ۵- میزان انتشار دی‌اکسیدکربن حاصل از بقایای سال جاری (کیلوگرم در هکتار) برای محصولات مختلف زراعی در سال‌های مختلف

Table 5- CO_2 emission ($kg.ha^{-1}$) of young residuals for different crops in different years

سال Year	گندم Wheat	جو Barely	برنج Rice	ذرت Maize	یونجه Alfalfa	نخود Chickpea	پنبه Cotton
1991	145.5	110.3	268.9	302.3	413.2	57.0	465.9
1992	167.7	167.0	253.7	135.3	1587.5	93.6	484.8
1993	165.9	168.0	402.7	287.5	129.1	70.4	480.1
1994	167.9	166.3	318.4	208.2	292.8	71.5	528.6
1995	184.5	162.3	341.8	197.2	528.8	69.6	554.4
1996	193.2	156.6	429.3	391.5	802.4	85.5	530.7
1997	272.0	168.5	358.5	339.2	359.3	79.2	502.3
1998	162.1	192.9	409.8	294.4	436.1	70.5	576.3
1999	130.3	75.4	355.2	353.5	358.0	49.3	592.7
2000	163.3	100.4	316.8	392.2	462.9	40.1	565.9
2001	242.8	18.7	272.0	305.1	316.1	69.0	542.7
2002	245.2	255.5	465.5	410.6	895.1	42.2	641.5
2003	236.5	237.5	441.0	307.3	481.7	75.7	790.2
2004	211.6	214.3	342.2	367.4	585.3	95.1	696.9
2005	197.0	163.8	354.9	394.5	597.4	85.3	563.3
2006	239.3	184.3	366.3	379.4	645.6	102.9	593.7
2007	64.8	200.8	386.2	483.9	892.4	77.6	630.0
2008	253.0	46.5	292.6	324.8	565.5	62.0	548.1
2009	203.9	242.0	362.5	306.3	529.7	128.6	570.0
2010	198.7	261.3	551.2	512.0	733.2	150.3	259.3
میانگین Mean	192.3	164.6	364.5	334.6	580.6	78.8	555.9



شکل ۹- رابطه بین میزان کربن ورودی به خاک و انتشار دی‌اکسیدکربن به جو
Fig. 9- Linear relation between C input to soil and CO_2 emission to atmosphere

همچنین بیشترین ورودی کربن در بین محصولات و سال‌های مختلف در گیاه یونجه و در سال ۱۳۷۱ با ورودی معادل ۳۵۸۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان در گیاه نخود در سال ۱۳۸۱ با ورودی برابر ۱۹۹ کیلوگرم کربن در هکتار بود. روند تغییرات ورودی کربن در بین محصولات مختلف نشان می‌دهد که بیشترین ورودی کربن توسط یونجه و پنبه وارد خاک گردید و کمترین ورودی کربن مربوط به گیاه نخود بود، به طوری‌که میانگین ۲۰ ساله ورودی کربن برای یونجه و پنبه به ترتیب برابر با ۲۰۸۵ و ۲۰۶۲ کیلوگرم در هکتار در سال و برای گیاه نخود معادل ۲۶۹ کیلوگرم در هکتار در سال به دست آمد. از بین گیاهان مورد بررسی دو گیاه یونجه و پنبه در کلیه سال‌های مورد بررسی بالاترین میزان کربن ترسیب شده به خاک را هم برای کربن حاصل از بقایای سال زراعی جاری (Y) و هم برای کربن ذخیره شده از سال‌های قبل (O) دارا بودند و کمترین مقدار این پارامترها در گیاه نخود مشاهده شد. همچنین میزان O در همه گیاهان مورد بررسی با گذشت زمان تغییر چندانی نیافت. بیشترین ترسیب کربن حاصل از بقایای سال جاری در درازمدت در اقلیم گرم و خشک فلات مرکزی با میانگین ۱۰۷۲/۸۴ کیلوگرم کربن در هکتار در سال و کمترین ترسیب مربوط به اقلیم مرطوب و گرم با میانگینی معادل ۷۰۵/۴۳ کیلوگرم کربن در هکتار در سال بود. بیشترین انتشار دی‌اکسیدکربن در اقلیم مرطوب و گرم و کمترین میزان مربوط به اقلیم سرد کوهستانی بود. همچنین نتایج نشان داد که رابطه معنی‌داری بین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن با بارندگی وجود نداشت ولی بین درجه حرارت و میزان کربن ورودی با انتشار دی‌اکسیدکربن رابطه معنی‌داری وجود داشت. نتایج نشان داد که گیاه یونجه یکی از مؤثرترین گیاهان در بهبود میزان ترسیب کربن خاک می‌باشد.

سپاسگزاری

هزینه این پژوهش از محل پژوهه شماره ۱۶۲۵۵/۲ مورخه ۱۳۸۹/۱۰/۱۲، معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است. از مساعدت‌های معاونت پژوهشی و فناوری دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در اجرای این طرح سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

1- Abdi, N., Maddah Arefi, H., and Zahedi Amiri, G. 2009. Estimation of carbon sequestration in Astragalus rangelands of Markazi province (Case study: Malmir rangeland in Shazand region). Iranian Journal of Range and Desert Reseach 15: 269-282 (In Persian with English Summary)

2- Andrén, O., Kätterer, T., and Karlsson, T. 2004. ICBM regional model for estimations of dynamics of agricultural soil carbon pools. Nutrient Cycling in Agroecosystems 70: 231-239, 200.

3- Andrén, O., and Kätterer, T. 2001. Basic principles for soil carbon sequestration and calculating dynamic country-level balances including future scenarios. In: Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.M., and Stewart, B.A. (Eds.). Assessment Methods for Soil Carbon. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, p. 495-511.

4- Andren, O., Ka¨tterer, T., Karlsson, T., and Eriksson, J. 2008. Soil C balances in Swedish agricultural soils 1990-2004, with preliminary projections. Nutrient Cycling in Agroecosystem 81: 129-144.

5- Andrén, O., and Kätterer, T. 1997. ICBM-the introductory carbon balance model for exploration of soil carbon balances. Ecological Application 7(4): 1226-1236.

6- Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., and VandenBygaart, A.J. 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. Agriculture, Ecosystems and Environment 118: 29-42.

7- Derner, J.D., and Schuman, G.E. 2007. Carbon sequestration and rangelands: A synthesis of land management and precipitation effects. Journal of Soil and Water Conservation 62(2): 77-85.

8- Gehrung, J., and Scholz, Y. 2009. The application of simulated NPP data in improving the assessment of the spatial distribution of biomass in Europe. Biomass and Bioenergy 33: 712-720.

9- Grace, P.R., Colunga-Garcia, M., Gage, S.H., Robertson, G.P., and Safir, G.R. 2006. The potential impact of agricultural management and climate change on soil organic carbon resources in terrestrial ecosystems of the North Central Region of the United States. Ecosystems 9: 816-827.

10- Karlen, D.L., Berry, E.C., and Colvin, T.S. 1991. Twelve-year tillage and crop rotation effects on yields and soil chemical properties in Northeast Iowa. Communications in Soil Science and Plant Analysis 22: 1985-2003.

11- Katterer, T., Reichstein, M., Andren, O., and Lomander, A. 1998. Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different models. Biology and Fertility of Soils 27: 258-262.

12- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mansoori, H., and Moradi, R. 2013. Long term estimation of carbon dynamic and sequestration for Iranian agro-ecosystem I- Net primary productivity and annual carbon input for common agricultural crops. Agroecology 6(4): 741-752. (In Persian with English Summary)

13- Kutsch, W.L., Aubinet, M., Buchmann, N., Smith, P., Osborne, B., Eugster, W., Wattenbach, M., Schrumpf, M., Schulze, E.D., Tomelleri, E., Ceschia, E., Bernhofer, C., Béziat, P., Carrara, A., DiTommasi, P., Grünwald, T., Jones, M., Magliulo, V., Marloie, O., Moureaux, C., Olioso, A., Sanz, M.J., Saunders, M., Sogaard, H., and Ziegler, W. 2010. The net biome production of full crop rotations in Europe. Agriculture, Ecosystems and Environment 139: 336-345.

14- Lomander, A., Ka¨tterer, T., and Andre´n, O. 1998. Modelling the effects of temperature and moisture on CO_2 evolution from top and subsoil using a multi-compartment approach. Soil Biology and Biochemistry 30: 2023-2030

15- Miller, A.J., Amundson, R., Burke, I.C., and Yonker, C. 2004. The effect of climate and cultivation on soil organic C and N. Biogeochemistry 67: 57-72.

16- Osborne, B., Saunders, M., Walmsley, D., Jones, M., and Smith, P. 2010. Key questions and uncertainties associated with the assessment of the cropland greenhouse gas balance. Agriculture, Ecosystems and Environment 139: 293-301.

17- Post, W.M., and Kwon, K.C. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change, processes and potential. Global Change Biology 6(3): 317-327.

18- Salinas-Garcia, J.R., Hons, F.M., and Matocha, J.E. 1997. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. Soil Science Society of America Journal 61: 152-159.

19- Smith, P., Smith, J.U., Andren, O., Karlsson, T., Perala, P., Regina, K., Rounsevell, M., and Wesemael, B. 2005. Carbon sequestration potential in European croplands has been overestimated. Global Change Biology 11: 2153-

2163.

20- Smith, P. 2004. Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. European Journal of Agronomy 20: 229-236.

21- Smith, P., Goulding, K.W., Smith, K.A., Powlson, D.S., Smith, J.U., Falloon, P.D., and Coleman, K. 2001. Enhancing the carbon sink in European agricultural soils: Including trace gas fluxes in estimates of carbon mitigation potential. Nutrient Cycling in Agroecosystem 60: 237-252.

22- Smith, P., Powlson, D.S., Smith, J.U., Falloon, P.D., and Coleman, K. 2000. Meeting Europe's climate change commitments: quantitative estimates of the potential for carbon mitigation by agriculture. Global Change Biology 6: 525-539.

23- Sugihara, S., Funakawa, S., Kilasara, M., and Kosaki, T. 2012. Effects of land management on CO_2 flux and soil C stock in two Tanzanian croplands with contrasting soil texture. Soil Biology and Biochemistry 46: 1-9.

24- Tracy, P.W., Westfall, D.G., Elliott, E.T., Peterson, G.A., and Cole, C.V. 1990. Carbon, nitrogen phosphorus, and sulfur mineralization in plow and no-till cultivation. Soil Science Society of America Journal 54: 457-461.

25- Wood, C.W., Edwards, J.H., and Cummins, C.G. 1991. Tillage and crop rotation effects on soil organic matter in a typic hapludult of Northern Alabama. Journal of Sustainable Agriculture 2: 31-41.

26- Yousefi, N., and Famili, D. 2008. Weather and Climatology. Danesh Behbad Publication, Iran 306 pp. (In Persian)

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 299-314

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۳۱۴-۲۹۹

Long term estimation of carbon dynamic and sequestration for Iranian agro-ecosystem: II- Sequestration and emission of carbon for common agricultural crops using ICBM model

M. Nassiri Mahallati[1], A. Koocheki[1*], R. Moradi[2] and H. Mansoori[3]

Submitted: 29-09-2012
Accepted: 16-07-2013

Introduction

Carbon sequestration is one of the most important approaches to reduce CO_2 concentration in the atmosphere. Increase of CO_2 in the atmosphere has prompted renewed interest in increasing the stocks of carbon (C) in the world's croplands to mitigate climate change and also improve soil quality. To better characterize, predict and manage soil C dynamics, more precise and accurate estimates of C inputs to the soil is required. The C fixed in plants by photosynthesis and added to the soil as above- and below-ground litter, is the primary source of C in ecosystems (Warembourg & Paul, 1977). Predicting the changes in C stocks (notably in soils), therefore, depends on reliable estimates of net primary productivity (NPP) and the proportion of the NPP returned to the soil (Paustian et al., 1997). The annual NPP in agroecosystems, and the distribution of C in plant parts, is usually calculated from agricultural yield, the plant component most often measured.

For carbon sequestration estimation, it is necessary to evaluate the effects of management practices on soil organic carbon (SOC) dynamics in a wide range of production systems and climatic zones. Soil organic carbon is essential for maintaining fertility, water retention, and plant production in terrestrial ecosystems. The amount of SOC stored within an ecosystem, depends on the quantity and quality of organic matter returned to the soil matrix, the soils ability to retain organic carbon (a function of texture and cation exchange capacity), and biotic influences of both temperature and precipitation. The abiotic influences on SOC dynamics, such as moisture, temperature, aeration and the composition of plant residues are reasonably well understood.

The objective of this study was to evaluate the amount of carbon sequestration by agro-ecosystems and also the amount of CO_2 emitted from agro-ecosystems in Iran.

Material and methods

The amount of carbon input for seven main crops including cereal (wheat, barley, rice and maize), forage crops (alfalfa), industrial crops (cotton) and legume (chickpea) were calculated in different climate types of Iran and finally, the amount of carbon sequestration and CO_2 emission for different crops were estimated. Plant C allometric functions developed for the crops together with *The Introductory C Balance Model* (ICBM; Andrén and Kätterer, 1997) to describe SOC dynamics for the cropping systems were employed in this study. The model has two compartments, called Young and Old soil C, and five parameters: i, r_e, h, k_Y and k_O. Annual inputs of soil C to topsoil from crop and manure are summarized in i. The parameter r_e (decomposer activity factor, see above) is multiplied by k_Y and k_O, respectively, to determine the actual decomposition rates of the young and old pools for a given year. Parameter h, the humification coefficient, determines the fraction of the input that goes through Young and into Old (humus, or refractory component), and is about 0.1 for most agricultural crops and about 0.3 for manure. Then we adapted the ICBM soil climate and decomposer activity parameter (r_e) to account for the major effects of managing and climatically parameters. The r_e parameter usually is calculated from sub-parameters based on climate, soil type, crop type, intensity of cultivation and so on.

Results and discussion

The average of carbon input during 20 years showed that the warm-dry climate had the highest carbon input

1 and 3- Professor and PhD student of Crop Ecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
2- The former PhD student of Crop Ecology, Ferdowsi University of Mashhad and Assistance Professor, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
(*- Corresponding author Email: akooch@um.ac.ir)

and cold climate had the lowest amount. The highest carbon input fluctuation was obtained in cold climate by 29.13% per year and the lowest fluctuation was related to warm-dry climate by 8.82% per year. Trend of carbon input changes among different crops illustrated that the highest carbon input was gained by alfalfa and cotton and the lowest was for chickpea. Alfalfa and cotton had the highest sequestrated carbon to the soil in all years and the lowest was observed in chickpea. The highest and lowest carbon sequestration was related to warm-dry and warm-wet climate, respectively. The highest amount of CO_2 emission was observed in warm-wet climate (450 $kg.ha^{-1}.year^{-1}$) as average of 20 years and the lowest was gained in cold climate (125 $kg.ha^{-1}.year^{-1}$). The results showed that the average of CO_2 emission in 20 years was 580 kg carbon for alfalfa which had the highest amount and chickpea had the lowest CO_2 emission (78.8 $kg_c.ha^{-1}$). A significant relation was observed between CO_2 emission with carbon input to the soil and also with temperature.

Conclusion

In essence, it was shown that by increasing the temperature and decreasing the humidity of regions, the value of carbon input was reduced. Among the study crops, alfalfa and cotton had the highest sequestrated carbon to the soil. The highest and the lowest amount of CO_2 emission was related to warm-wet and cold climate, respectively.

Keywords: Carbon dynamic, Climate change, Humification, NPP, Residuals

References

Andrén, O., and Kätterer, T. 1997. ICBM-the Introductory Carbon Balance Model for exploration of soil carbon balances. Ecological Applications 7: 1226-1236.

Paustian, K., Collins, H.P, and Paul, E.A. 1997. Management controls on soil carbon. In: Paul, E.A., et al. (Eds.), Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. Long-Term Experiments in North America. CRC Press, Boca Raton p. 15-49.

Warembourg, F.R., and Paul, E.A. 1977. Seasonal transfers of assimilated in grassland: plant production and turnover, translocation and respiration. In: Marshall, J.K. (Ed.), The Below-ground Ecosystem: A Synthesis of 'Plant-Associated Processes', Range Sci. Dept., Sci. Series No. 26, Colorado State University, Fort Collins p. 133-149.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۳۳۰-۳۱۵

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 315-330

شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) و خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب و نیتروژن در استان خراسان رضوی با مدل SUCROS

رضا دیهیم‌فرد[۱]، مهدی نصیری محلاتی[۲*] و علیرضا کوچکی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۱۲

چکیده

برنامه‌ریزی دقیق در تولید محصولات زراعی بر اساس تغییرات مکانی و زمانی عملکرد، مستلزم ارزیابی کمی عوامل محدودکننده رشد و آنالیز خلاء عملکرد در مناطق مختلف می‌باشد. بدین منظور جهت پیش‌بینی پتانسیل و خلاء عملکرد چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) به عنوان مهمترین محصول بهاره در استان خراسان، از مدل آزمون شده و تغییر یافته سوکرز (سوکرزبیت) استفاده شد. مبدأ اصلی مدل سوکرزبیت، مدل سوکرز ۲ بود که علاوه بر تغییرات اعمال شده در آن برای شبیه‌سازی چغندرقند، زیرمدل بیلان نیتروژن نیز به آن اضافه شد. افزون بر این، پایش عوامل زنده، غیرزنده و روش‌های مدیریتی مؤثر بر عملکرد با تکمیل نمودن پرسش‌نامه در مزارع شش شهرستان از استان خراسان صورت گرفت. نتایج شبیه‌سازی با مدل سوکرزبیت در شهرستان‌های مختلف استان خراسان رضوی نشان داد که چغندرقند در شهرستان سبزوار با ۱۰۰ تن در هکتار کمترین و شهرستان نیشابور با ۱۳۷ تن در هکتار بیشترین پتانسیل تولید را دارند. رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد کل مشاهده شد. با وجودی که به طور متوسط، برخی کشاورزان تا ۲۰ مرتبه زمین را آبیاری می‌کنند، هنوز خلاء عملکرد ناشی از کمبود آب برای چغندرقند در این مناطق تا ۴۲ تن در هکتار مشاهده می‌گردد. برای رسیدن به عملکرد پتانسیل، بسته به شرایط آب و هوایی بیش از ۲۰۰۰ میلی‌متر آب در شهرستان‌های سبزوار و تربت‌جام و ۱۴۰۰–۱۵۰۰ میلی‌متر آب در شهرستان‌های قوچان و نیشابور مورد نیاز است. برای پر کردن خلاء عملکرد ناشی از کمبود نیتروژن و رساندن آن به عملکرد پتانسیل به طور متوسط ۴۴۰ کیلوگرم درهکتار در برخی شهرستان‌های از جمله سبزوار، نیتروژن برای جذب توسط گیاه چغندرقند نیاز است. این در حالی است میزان نیتروژن به کاربرده شده درمزارع کشاورزان به طور متوسط ۵۰ درصد این مقدار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی، مدل سوکرز، محدودیت آب، محدودیت نیتروژن

مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت و نیز تغییر عادات غذایی مردم، تولیدات کشاورزی جهان در طی سه تا چهار دهه آینده باید به سه برابر افزایش یابد تا تقاضای فزاینده مصرف را تأمین کند(WRR, 1995). از سوی دیگر، در طی سه دهه گذشته تنها یک چهارم افزایش تولید غذا در جهان مربوط به گسترش سطح زیر کشت بوده و بقیه آن از طریق بهبود عملکرد در واحد سطح حاصل شده است. به اعتقاد بسیاری از محققین افزایش بهره‌وری مؤثرترین راهکار موجود برای تأمین نیازهای غذایی آینده خواهد بود (Alexandratos, 1995; Nassiri & Koocheki, 2009).

چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) یکی از گیاهان زراعی مهم کشور بوده که در محدوده وسیعی از شرایط اقلیمی کشت می‌شود. متوسط سطح زیر کشت چغندرقند در یک دهه اخیر در کشور حدود ۱۱۵ هزار هکتار برآورد شده است. استان خراسان به عنوان یکی از مهمترین استان‌های کشور از نظر تولید این محصول، با ۳۴ درصد بیشترین سطح زیر کشت این محصول را به خود اختصاص داده است (Anonymous, 2009). در این سال، متوسط عملکرد چغندرقند در کل کشور ۳۶ تن در هکتار بوده است که این رقم در استان خراسان ۲۸/۳ تن در هکتار برآورد شده است.

به رغم سطح زیر کشت نسبتاً زیاد چغندرقند، هر ساله مقادیر قابل

۱- دانشجوی سابق دکتری و استادیار دانشگاه شهید بهشتی ۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: mnassiri@um.ac.ir)

توجهی شکر وارد کشور می‌شود که دلیل اصلی آن پایین بودن عملکرد این گیاه در واحد سطح می‌باشد. با توجه به این‌که افزایش عملکرد در واحد سطح یکی از راهکارهای افزایش تولید بوده، و از سوی دیگر پارامترهای اقلیمی (تشعشع، درجه حرارت، بارندگی و غیره)، خاکی و مدیریتی به شدت بر رشد و عملکرد این گیاه تأثیرگذار هستند، بررسی کمی تأثیر این عوامل بر رشد گیاه چغندرقند در مناطق مختلف با استفاده از رهیافت مدل‌سازی می‌تواند کمک شایانی به درک بهتر عوامل محدودکننده عملکرد این گیاه در مناطق مختلف کرده و خلاء عملکرد (اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد در شرایط محدویت منابع) ناشی از محدودیت این عوامل را شناسایی نماید.

تاکنون مطالعات متعددی در خصوص تأثیر عوامل محدودکننده و کاهنده بر عملکرد گیاهان زراعی و خلاء عملکرد به انجام رسیده است. بِکر و جانسن (Becker & Johnson, 1999) با مطالعه سیستم‌های تولید برنج (*Oryza sativa* L.) در ساحل عاج نشان دادند که در شرایط آبیاری کامل یا آبیاری نسبی، عملکرد واقعی به ترتیب ۵۷ و ۴۴ درصد عملکرد پتانسیل می‌باشد. باتیا و همکاران (Bhatia et al., 2008) با استفاده از مدل CROPGRO پتانسیل و خلاء عملکرد سویا (*Glycine max* L.) دیم را برای ۲۱ منطقه واقع در هندوستان ارزیابی کرده و نشان دادند که به طور متوسط پتانسیل عملکرد این مناطق ۳۰۲۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین خلاء عملکرد در حدود ۷۰ درصد می‌باشد. به عبارت دیگر، تنها ۳۰ درصد از عملکرد پتانسیل در مزارع برداشت می‌شود. کالرا و همکاران (Kalra et al., 2007) نیز در تحقیقی دیگر با استفاده از مدل InfoCrop خلاء عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) را در هند مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که نوسانات مکانی در عملکرد گندم در ایالت‌های مختلف در شمال هند از ۱/۵ تا ۵ تن در هکتار متغیر بود. دلیل این نوسانات اقلیم متفاوت و تغییر در نهاده‌های مصرفی به ویژه نیتروژن و آب عنوان شد. آن‌ها همچنین نشان دادند با وجودی که ۷۰ درصد از سطح زیر کشت گندم در این مناطق، آبیاری می‌شود، اما خلاء عملکرد ناشی از آب وجود دارد.

برای کمی کردن رشد و عملکرد چغندرقند و نیز تعیین خلاء عملکرد این گیاه، نیاز به مدل‌هایی است که هم عملکرد پتانسیل و هم عملکرد تحت شرایط محدودیت آب و به خصوص محدودیت نیتروژن را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی کنند. استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در آنالیز سیستم‌های زراعی در واکنش به روش‌های مدیریتی و تحت شرایط متغیرهای محیطی اهمیت زیادی در چند دهه گذشته پیدا کرده است (Manschadi et al., 2010; Angus et al., 1993; Wallach et al., 2006). مدل‌ها قادر به پیش‌بینی چگونگی تغییرات رشد و نمو و عملکرد گیاه در پاسخ شرایط متغیر محیطی هستند. با آن‌که مدل‌های زیادی برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد چغندرقند در شرایط پتانسیل و محدودیت آب وجود دارد (Soltani et al., 2005; Vandendriessche, 2000)، اما تعداد بسیار اندکی از آن‌ها قادر به شبیه‌سازی در شرایط محدودیت نیتروژن می‌باشند (Smit, 1996) و اطلاعات کمی در خصوص مدل‌سازی جذب و بیلان نیتروژن در گیاه چغندرقنددر شرایط آب و هوایی ایران وجود دارد.

این تحقیق در راستای تعیین عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد چغندرقند در برخی شهرستان‌های استان خراسان رضوی و نیز بررسی علل و عوامل مؤثر بر آن به انجام رسیده است.

مواد و روش‌ها

مبنای اصلی این پژوهش استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی جهت برآورد تولید در شرایط پتانسیل، محدودیت آب و محدودیت نیتروژن است که در تعدادی از شهرستان‌های استان خراسان به انجام رسیده است (جدول ۱). بدین منظور از مدل سوکرزبیت که پیشتر برای چغندرقند واسنجی شده بود (Deihimfard et al., 2012; Deihimfard et al., 2011) استفاده شد. مبنای اصلی مدل سوکرزبیت در این تحقیق، مدل سوکرز ۲ (Van Laar et al., 1997) می‌باشد. در این مدل، سرعت روزانه فتوسنتز کانوپی بر اساس میزان تشعشع خورشیدی و رابطه بین فتوسنتز تک برگ و شدت نور، و سپس انتگرال‌گیری بر حسب شاخص سطح برگ و طول روز محاسبه می‌شود (Spitters, 1989). سرعت رشد ماده خشک بر مبنای سرعت فتوسنتز کانوپی و پس از کسر تلفات ناشی از تنفس نگهداری و تنفس رشد به دست می‌آید. برای استفاده از مدل در شرایط محدودیت آب، بیلان آب به مدل اضافه شده است. بیلان آب خاک شامل فرآیندهای تبخیر- تعرق، زهکشی، رواناب و جذب آب توسط ریشه‌ها می‌باشد. معادله ترکیبی پنمن- مونتیث برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل، در مدل استفاده شده است. اثرات محدودیت آب بر فرآیندهای رشد از طریق نسبت بین سرعت تبخیر- تعرق

واقعی به تبخیر- تعرق پتانسل روزانه تخمین زده می‌شود و تخصیص ماده خشک در این شرایط به طرف ریشه‌ها بیشتر می‌شود (Van Laar et al., 1997).

جدول ۱- شهرستان‌های مورد مطالعه جهت برآورد خلاء عملکرد چغندرقند و برخی خصوصیات خاکی و مدیریتی آن‌ها
Table 1- Study locations selected for simulation of yield gap of sugar beet and their soil properties

منطقه Location	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع (متر) Altitude (m)	دوره شبیه‌سازی Simulation period	متوسط تعداد دفعات آبیاری توسط کشاورزان* Average number of irrigation by farmers	متوسط میزان کود نیتروژن مصرفی توسط کشاورزان (کیلوگرم در هکتار) Average fertilization rate by farmers ($kg.ha^{-1}$)	آب خاک در ظرفیت مزرعه** DUL	آب خاک در نقطه پژمردگی** LL
قوچان Ghoochan	37°04′	58°30′	1278	1995-2008	19	250	0.34	0.20
مشهد Mashhad	36°16′	59°38′	999	1992-2008	20	230	0.36	0.11
نیشابور Neishaboor	36°16′	58°48′	1213	1992-2008	16	220	0.34	0.20
سبزوار Sabzevar	36°12′	58°30′	972	1995-2008	16	205	0.27	0.10
تربت‌حیدریه Torbat-Heidariyeh	35°16′	58°30′	1450	1992-2008	15	199	0.36	0.11
تربت‌جام Torbat-Jam	35°15′	60°35′	950	1993-2008	15	200	0.36	0.11

* تعداد دفعات آبیاری و نیز کوددهی از طریق پایش مزارع به دست آمده است.
* Number of irrigation and fertilisation rate wereobtained from farmer's fields.
** آب خاک در ظرفیت مزرعه (DUL) و نقطه پژمردگی دائم (LL) با استفاده از بافت و وزن مخصوص ظاهری خاک برآورد شده است.
** DUL (Drained Upper Limit) and LL (Lower Limit) were estimated using soil texture and bulk density.

در زیرمدل بیلان نیتروژن در مدل سوکرزبیت، اثرات تنش نیتروژن بر گیاه زراعی از طریق یک فاکتور کاهش با نام شاخص تغذیه نیتروژن اعمال شده است که تولید زیست‌توده، گسترش سطح برگ، پیری برگ و نیز تخصیص زیست‌توده به اندام‌ها را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. همچنین، تقاضا و جذب نیتروژن توسط گیاه زراعی (به صورت مکانیزم‌گرا) و نیز عرضه نیتروژن در خاک به مدل جدید سوکرزبیت اضافه شده است. جزئیات مبسوط در خصوص نحوه مدل‌سازی سایر فرآیندهای رشد، نمو فنولوژیک و عملکرد چغندرقند در شرایط پتانسیل، محدودیت آب و نیتروژن که در مدل سوکرزبیت گنجانده شده است توسط دیهیم‌فرد و همکاران (Deihimfard et al., 2011) و دیهیم‌فرد (Deihimfard, 2011) به تفصیل ارائه شده است.

جهت به کارگیری مدل‌های رشد و عملکرد گیاهان اساساً به سه نوع داده (داده‌های آب و هوایی، داده‌های خاکی و ضرایب ژنتیکی) نیاز است. داده‌های بلند مدت اقلیمی (۲۵-۱۰ ساله) از ایستگاه‌های مختلف هواشناسی استان جمع‌آوری شدند. این داده‌ها حداقل شامل آمار درجه حرارت حداقل و حداکثر، بارندگی و تشعشع (یا تعداد ساعات آفتابی)، متوسط سرعت باد روزانه و فشار بخار آب می‌باشند. در صورت عدم وجود داده‌های هواشناسی در برخی مناطق، این داده‌ها با استفاده از برنامه WeatherMan[1] بازسازی شدند (Pickering et al., 1994). در مورد داده‌های خاک صرفاً تغییرات مکانی مورد نظر بوده و خصوصیات مورد نیاز جهت اجرای مدل از میان داده‌های موجود (Tatari, 2008) و نیز با استفاده از بافت خاک در مناطق مورد مطالعه (به دست آمده از مزارع شهرستان‌ها از طریق پایش) و به

1- Weather data manager

کارگیری توابع انتقالی[1] تعیین گردیدند. همچنین در برخی موارد، تعدادی از پارامترهای خاک با استفاده از جداول رفرنس (Dalgliesh, Personal Communication, 2011; Yin & Van Laar, 2005) که بر مبنای اجزای تشکیل‌دهنده بافت خاک (درصد شن، رس و سیلت) و وزن مخصوص ظاهری تعیین شده است، استخراج شدند.

به منظور کسب آگاهی از وضعیت تولید و عملکرد چغندرقند در مناطق مورد مطالعه، اطلاعات مورد نیاز در قالب پرسش‌نامه و با همکاری سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان و برخی مهندسین ناظر، در اختیار طیف وسیعی از کشاورزان این مناطق قرار گرفت. هدف اصلی از جمع‌آوری این اطلاعات، دستیابی به عملکرد واقعی و نیز وضعیت مدیریتی در مزارع بود. برخی از سؤالات طرح شده در پرسش‌نامه عبارت بودند از: عملکرد واقعی به دست آمده در مزارع کشاورزان، کشت قبلی، تراکم کاشت و رعایت تناوب، تاریخ کاشت و برداشت، میزان و تعداد دفعات آبیاری، نوع، میزان و تقسیط کود نیتروژن در مزرعه و برخی خصوصیات تقریبی مرتبط با خاک مانند بافت.

با وارد نمودن داده‌های هواشناسی، اطلاعات خاک و نیز عوامل مدیریتی پایش شده در مزارع هر شهرستان توسط پرسش‌نامه‌ها، در مدل سوکرزبیت، عملکرد این گیاه در مناطق مورد مطالعه در شرایط پتانسیل، محدودیت آب و محدودیت نیتروژن، شبیه‌سازی شد. بدین منظور برای شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل، مدل سوکرزبیت در حالت آبیاری و کوددهی اتوماتیک قرار داده شد به این معنی که با کاهش آب قابل دسترس به کمتر از ظرفیت مزرعه و نیز کاهش نیتروژن قابل دسترس به کمتر حد بحرانی، آبیاری و کوددهی توسط مدل به صورت اتوماتیک انجام می‌گیرد. در چنین شرایطی عملکرد پتانسیل تابعی از شدت تشعشع خورشیدی در هر شهرستان و نیز درجه حرارت و خصوصیات هر رقم می‌باشد. برای شبیه‌سازی عملکرد در شرایط محدودیت آب، فاکتور کوددهی در مدل در شرایط اتوماتیک اما آبیاری بر اساس تعداد دفعاتی است که کشاورزان در هر شهرستان به آب آبیاری دسترسی دارند (از اطلاعات به دست آمده از طریق پرسشنامه، جدول ۱). در این حالت در هر بار آبیاری، آب به میزان ظرفیت مزرعه توسط مدل انجام شد. برای شبیه‌سازی عملکرد در شرایط محدودیت نیتروژن، فاکتور آبیاری در حالت اتوماتیک اما کوددهی بر اساس میزان و تعداد دفعات کوددهی که از طریق پرسشنامه توسط کشاورزان به دست آمده (جدول ۱) انجام شد. تمامی شبیه‌سازی‌ها توسط مدل در یک تاریخ کاشت و تراکم ثابت (۱۵ اسفند ماه و تراکم ۱۰ بوته در مترمربع) انجام شدند.

با انجام شبیه‌سازی‌ها و پیش‌بینی عملکرد پتانسیل، عملکرد در شرایط محدودیت آب و نیتروژن توسط مدل و مقایسه آن‌ها با عملکرد واقعی به دست آمده از طریق پایش مزارع شهرستان‌ها، خلاء عملکرد ناشی از هر عامل محدودکننده تولید، در مناطق مختلف در سه حالت زیر محاسبه شد:

خلاء عملکرد کل: اختلاف بین عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده توسط مدل با متوسط عملکرد واقعی کشاورزان

خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب: اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد شبیه‌سازی توسط مدل در شرایط محدودیت آب

خلاء عملکرد ناشی از محدودیت نیتروژن: اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد شبیه‌سازی توسط مدل در شرایط محدودیت نیتروژن

پس از تخمین انواع خلاء عملکرد، سهم نسبی هر یک از عوامل محیطی مؤثر بر این خلاء تعیین و در نهایت راهکارهای مناسب برای به حداقل رساندن این خلاء در هر شهرستان ارائه گردید. تمامی صفات شبیه‌سازی شده که از خروجی مدل به دست آمد، با استفاده از برنامه R (R Development Core Team, 2011) مدیریت و آنالیز شد.

نتایج و بحث

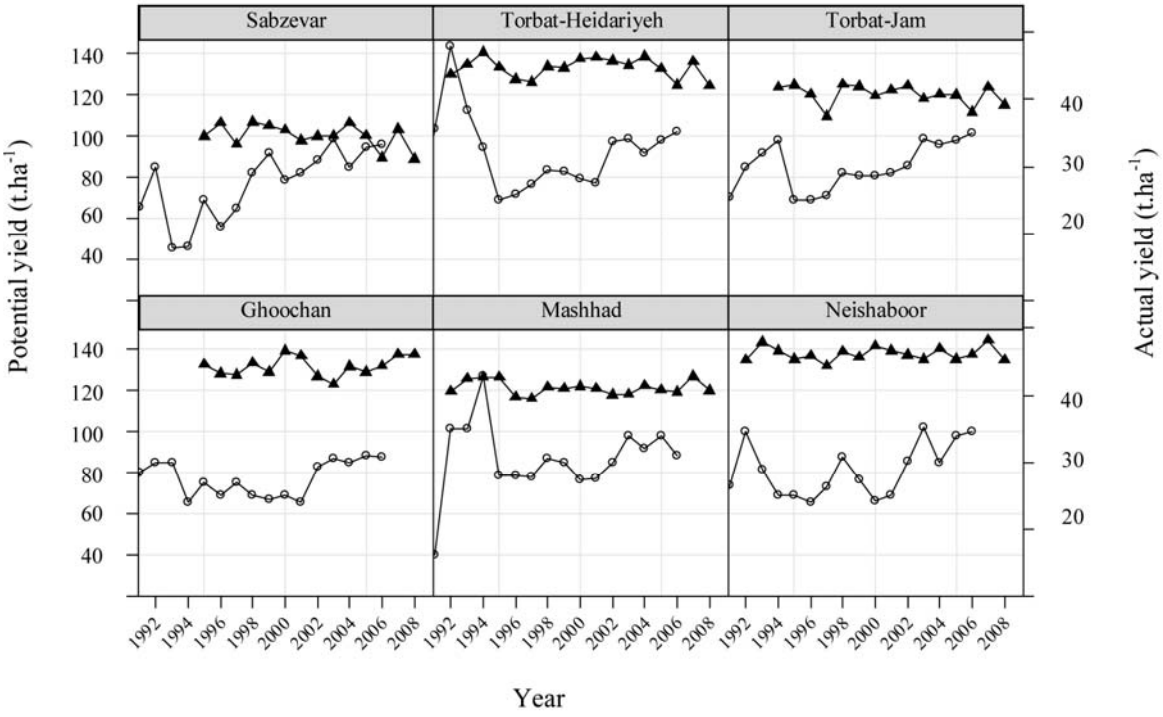
عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده و عملکرد واقعی کشاورزان

شکل ۱ عملکرد واقعی به دست آمده از مزارع کشاورزان و عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده چغندرقند را در مناطق و سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. دامنه عملکرد پتانسیل در مناطق و سال‌های مورد مطالعه بین ۸۸ تا ۱۴۴ تن در هکتار (عملکرد تر اندام ذخیره‌ای) شبیه‌سازی شد و عملکردهای واقعی بین ۱۶ تا ۴۸ تن در هکتار به دست آمد.

متوسط عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده در مناطق مختلف نشان داد که شهرستان سبزوار با ۱۰۰ تن در هکتار کمترین و شهرستان نیشابور با ۱۳۷ تن در هکتار بیشترین پتانسیل تولید را دارند. این در حالی است که کمترین و بیشترین متوسط عملکرد واقعی به ترتیب در

2- Pedotransfer functions

شهرستان‌های سبزوار و تربت‌حیدریه به دست آمد (۲۵ و ۳۰ تن در هکتار). اگرچه روند تغییرات عملکرد پتانسیل چغندرقند طی سال، در ۶۶ درصد از شهرستان‌ها سیر نزولی داشته است، اما در هیچ‌یک از آن‌ها این روند معنی‌دار نیست (نتایج تجزیه رگرسیون ارائه نشده است).



شکل ۱- تغییرات عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده (▲) و عملکرد واقعی (○) چغندرقند در شهرستان‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۹۲

Fig. 1- Changes in simulated potential yield (▲) and actual yield (○) of sugar beet in study locations during 1992-2008

در مقابل، شیب تغییرات عملکرد واقعی طی این دوره در تمامی شهرستان‌های مورد مطالعه، مثبت بود به گونه‌ای که در فاصله زمانی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۸ عملکرد واقعی به دست آمده توسط کشاورزان روند صعودی داشته است. شیب این افزایش در شهرستان‌های سبزوار، تربت‌جام، نیشابور و قوچان معنی‌دار و به ترتیب برابر با ۰/۷۷، ۰/۵۲، ۰/۴۲ و ۰/۲۹ تن در هکتار در سال بود (جدول ۲). این افزایش عملکرد را احتمالاً می‌توان بیشتر به بهبود عملیات مدیریتی و مکانیزاسیون در تولید چغندرقند و نیز معرفی ارقام جدید مونوژرم و کودپذیر نسبت داد. با این حال، با وجود روند صعودی عملکرد واقعی هنوز بین متوسط عملکرد پتانسیل با عملکرد واقعی، اختلاف بیش از ۱۰۰ تن در هکتار به عنوان خلاء عملکرد وجود دارد. پارسا (Parsa, 2007) نیز در تحقیق خود، عملکرد پتانسیل چغندرقند را با استفاده از مدل لینتول در نواحی مختلف استان خراسان بین ۱۰۰-۱۲۶ با میانگین ۱۰۸ تن در هکتار برآورد کرد و شهرستان‌های بیرجند و نیشابور بیشترین عملکرد پتانسیل و سبزوار، بجنورد و مشهد کمترین پتانسیل تولید را داشتند. وی همچنین بیان داشت که عملکرد پتانسیل از شمال به جنوب خراسان به دلیل اختلاف در تشعشع و نیز میانگین درجه حرارت در طول فصل رشد، افزایش یافته است.

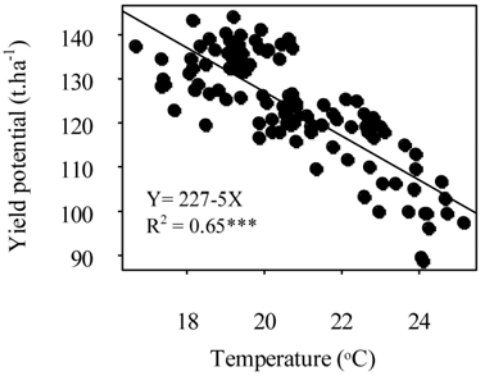
نتایج آنالیز داده‌های آب و هوایی نشان داد که رابطه معکوس و معنی‌داری بین متوسط درجه حرارت روزانه از کاشت تا برداشت چغندرقند و عملکرد پتانسیل وجود دارد؛ به طوری‌که با افزایش متوسط درجه حرارت از ۱۸ به ۲۵ درجه سانتی‌گراد، عملکرد پتانسیل از ۱۴۰ به ۱۰۰ تن در هکتار کاهش یافت. این رابطه خطی ۶۵ درصد از تغییرات مدل رگرسیونی را در شهرستان‌های مورد مطالعه توصیف

کرد (شکل ۲). بر اساس این رابطه رگرسیونی، در شهرستان‌هایی مثل سبزوار، تربت‌جام و مشهد که میانگین درجه حرارت در طول فصل رشد چغندرقند در آن‌ها بالاتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد بوده است (جدول ۴)، عملکرد پتانسیل آن‌ها به مراتب کمتر از سایر شهرستان‌ها است. با توجه به شکل ۲ به ازای هر یک درجه افزایش درجه حرارت در طول فصل رشد چغندرقند، پنج تن در هکتار کاهش عملکرد مشاهده شد.

جدول ۲- رابطه خطی بین سال با عملکرد واقعی چغندرقند در شهرستان‌های مورد مطالعه

Table 2- Linear relationship between sugar beet actual yield and year in studied locations

شهرستان Locations	معادله Equation	ضریب تبیین R^2	احتمال Probability
قوچان Ghoochan	y=–377+0.29x	0.29	0.01
مشهد Mashhad	y=–374+0.29x	0.10	0.15
نیشابور Neishaboor	y=–561+0.42x	0.34	0.004
سبزوار Sabzevar	y=–1040+0.77x	0.69	0.000
تربت‌حیدریه Torbat-Heidariyeh	y=–285+0.22x	0.05	0.3
تربت‌جام Torbat-Jam	y=–696+0.52x	0.50	0.0003



شکل ۲- رابطه بین میانگین درجه حرارت از کاشت تا برداشت چغندرقند با پتانسیل عملکرد شبیه‌سازی شده

Fig. 2- Simulated yield potential as a linear function of temperature in sugar beet from planting to harvest time

در شرایط مزرعه‌ای این کاهش عملکرد را که باعث افزایش خلاء عملکرد و تولید می‌شود، تنها می‌توان با انتخاب تاریخ کاشت مناسب به حداقل رساند. نتایج تحقیقات مختلف نیز نشان داده‌اند که در فصولی که میانگین درجه حرارت روزانه پایین است، عملکرد افزایش یافته است (Aggarwal & Kalra, 1994; Muchow & Kropff, 1997). موچو و کراف (Muchow & Kropff, 1997) با استفاده از یک مدل مکانیستیک ساده، عملکرد پتانسیل ذرت را بین ۹/۵ تا ۱۷/۱ تن در هکتار برآورد کردند. آن‌ها در تحقیق خود مهمترین دلایل نوسان پتانسیل عملکرد در نواحی مورد مطالعه را تفاوت در طول دوره رشد (از ۸۴ تا ۱۵۳ روز) و نیز تفاوت‌های دمایی (از ۱۸ تا ۲۸/۷ درجه سانتی‌گراد) دانستند. این تجزیه و تحلیل‌ها بیانگر آن است که تشعشع خورشیدی و درجه حرارت دو عامل اقلیمی مهم در تعیین پتانسیل تولید محصولات زراعی هستند.

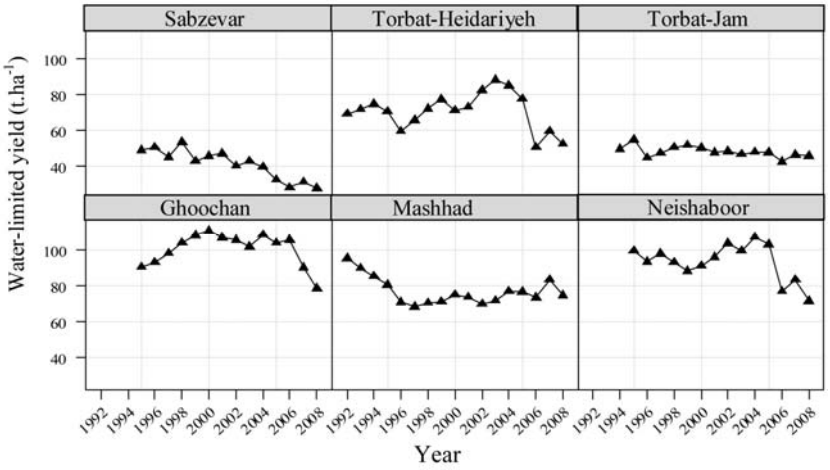
همچنین نتایج که تشعشع عامل محدودکننده رشد چغندرقند نبود، هر چند سایر محققان در برخی دیگر از شرایط محیطی، آن را به عنوان یک عامل محدودکننده برشمردند. برای مثال اسکات و ژاگارد

(Scott & Jaggard, 2000) اظهار داشتند که طی ۶۰ سال گذشته، تشعشع جذب شده توسط کانوپی چغندرقند، عامل محدودکننده عملکرد آن در انگلستان بوده است. با توجه به این‌که در شرایط پتانسیل هیچ‌گونه محدودیتی از نظر آب و نیتروژن و نیز سایر عوامل وجود ندارد و از سوی دیگر اختلافی بین مناطق از نظر تشعشع هم دیده نشد، لذا اهمیت درجه حرارت در عملکرد پتانسیل بسیار قابل توجه است.

عملکرد تحت شرایط محدودیت آب و نیتروژن

نتایج شبیه‌سازی در تحقیق حاضر نشان داد که محدودیت آب باعث کاهش شدید عملکرد چغندرقند در تمامی شهرستان‌ها شد اما میزان افت عملکرد بسته به منطقه نوسان داشت (شکل ۳). در شرایط محدودیت آب، میزان افت عملکرد نسبت به پتانسیل، در مناطق مختلف از ۲۳-۳۲ درصد (در شهرستان‌های قوچان و نیشابور) تا حداکثر ۶۰-۵۹ درصد (در شهرستان‌های سبزوار و تربت‌جام) متغیر بود. دلیل اصلی نوسان عملکرد بین مناطق در شرایط محدودیت آب، میزان محدودیت دسترسی به آب آبیاری است که کشاورزان با آن رو به رو هستند و این محدودیت در مناطق مختلف با هم فرق دارند (جدول ۱). برای مثال، کشاورزان به طور متوسط در شهرستان مختلف از ۱۵ (در تربت‌جام و تربت‌حیدریه) تا ۲۰-۱۹ مرتبه (در مشهد و قوچان) زمین را آبیاری می‌کنند. با در نظر گرفتن میانگین عملکرد، شهرستان‌های قوچان و نیشابور با ۱۰۰ و ۹۲ تن در هکتار بیشترین و شهرستان‌های سبزوار و تربت‌جام با ۴۰ و ۴۷ تن در هکتار کمترین عملکرد تحت شرایط محدودیت آب را در مقایسه با سایر شهرستان‌ها داشتند.

در شهرستان‌های سبزوار و تربت‌جام، علاوه بر محدودیت دسترسی به آب آبیاری، میانگین بیشتر سرعت باد و نیز کمتر بودن متوسط فشار بخار آب (از کاشت تا برداشت محصول) نیز از دلایل دیگر کاهش عملکرد در این مناطق بوده است (جدول ۴). افزایش عرضه انرژی و سرعت باد و نیز کاهش شیب فشار بخار هوا با تأثیر بر تبخیر از سطح خاک و نیز افزایش تعرق گیاه بر بیلان آب خاک تأثیر گذاشته و قابلیت دسترسی گیاه به آب را کاهش می‌دهد و باعث کاهش عملکرد گیاه زراعی می‌شوند (Allen et al., 1998). نتایج تجزیه رگرسیون نیز مؤید رابطه منفی و معنی‌دار میان عملکرد تحت شرایط محدودیت آب و سرعت باد در دوره رشد چغندرقند است (شکل ۴). در شرایط محدودیت آب در مدل سوکرزبیت، علاوه بر تشعشع و درجه حرارت، دو متغیر دیگر آب و هوایی مانند سرعت باد و فشار بخار هوا نیز از طریق تأثیر بر بیلان آب خاک، عملکرد را تحت الشعاع قرار می‌دهند. بر اساس رابطه رگرسیونی به دست آمده، با افزایش هر واحد سرعت باد (بر حسب متر بر ثانیه)، عملکرد چغندرقند در شرایط محدودیت آب به میزان ۱۵/۴ تن در هکتار کاهش یافت. دامنه عملکرد تحت شرایط محدودیت آب در شرایط کمترین و بیشترین میانگین سرعت باد (۱/۱۶ و ۵/۵ متر بر ثانیه) به ترتیب برابر با ۱۱۰/۳ و ۲۷/۸ تن در هکتار به دست آمد (شکل ۴).

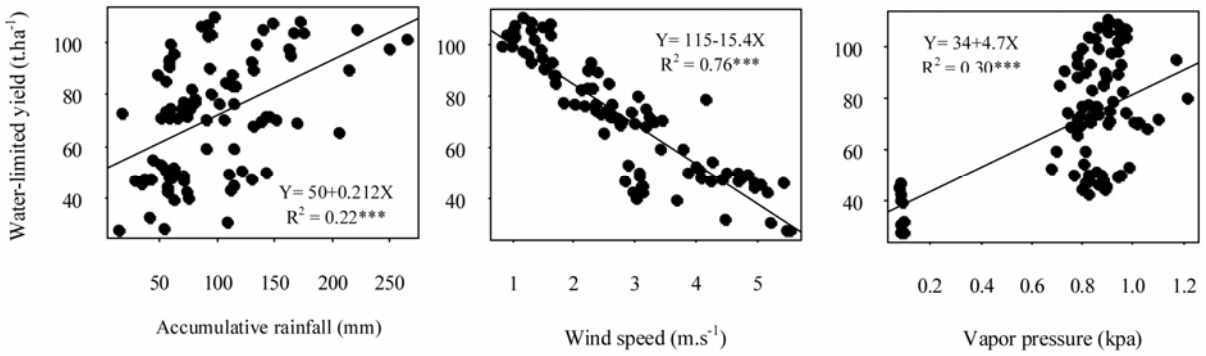


شکل ۳- تغییرات عملکرد چغندرقند در شرایط محدودیت آب در شهرستان‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۹۲

Fig. 3- Long term simulation of water-limited yield in the study locations during 1992-2008

از این‌رو در شرایط محدودیت آب در تولید چغندرقند، بالابودن میانگین سرعت باد در طول فصل رشد، می‌تواند خلاء عملکردی حدود ۸۳ تن در هکتار ایجاد کند. در خصوص فشار بخار هوا نیز رابطه مثبتی با عملکرد مشاهده شد (شکل ۴) به طوری‌که با افزایش فشار بخار هوا، عملکرد تحت شرایط محدودیت آب به صورت خطی و با شیبی برابر با ۴/۷ تن در هکتار به ازای افزایش هر ۰/۱ کیلوپاسکال در فشار بخار، افزایش یافت. نتایج به دست آمده از تجزیه رگرسیون خطی چندگانه بین عوامل اقلیمی اشاره شده با عملکرد چغندرقند نیز نشان داد که در شرایط محدودیت آب، ضرایب مربوط به متوسط دما از کاشت تا برداشت، میانگین سرعت باد، میانگین فشار بخار و تشعشع تجمعی در طول فصل معنی‌دار بودند و مجموعا ۹۴ درصد از تغییرات را توصیف کردند (جدول ۳).

بیشترین ضریب رگرسیون به ترتیب مربوط به میانگین سرعت باد و فشار بخار در طول فصل رشد بود که نشان از تأثیر بالای این دو متغیر اقلیمی بر عملکرد چغندرقند و خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب است. لازم به ذکر است که در رگرسیون خطی چندگانه، میزان آب آبیاری قابل دسترس به عنوان یکی دیگر از متغیرهای مستقل وارد مدل نشد، زیرا بدیهی است که آب ورودی، رابطه مستقیم و معنی‌داری بر عملکرد چغندرقند در شرایط محدودیت آب دارد. از این‌رو، نقش عوامل اقلیمی بر میزان آب مصرفی مدنظر بود که در مدل خطی لحاظ گردید.



شکل ٤- رابطه بین بارندگی تجمعی، میانگین سرعت باد و میانگین فشار بخار هوا از کاشت تا برداشت چغندرقند با عملکرد شبیه‌سازی شده تحت شرایط محدودیت آب

Fig. 4- Relationship between simulated water-limited yield and rainfall, wind speed and vapour pressure from planting to harvest time of sugar beet

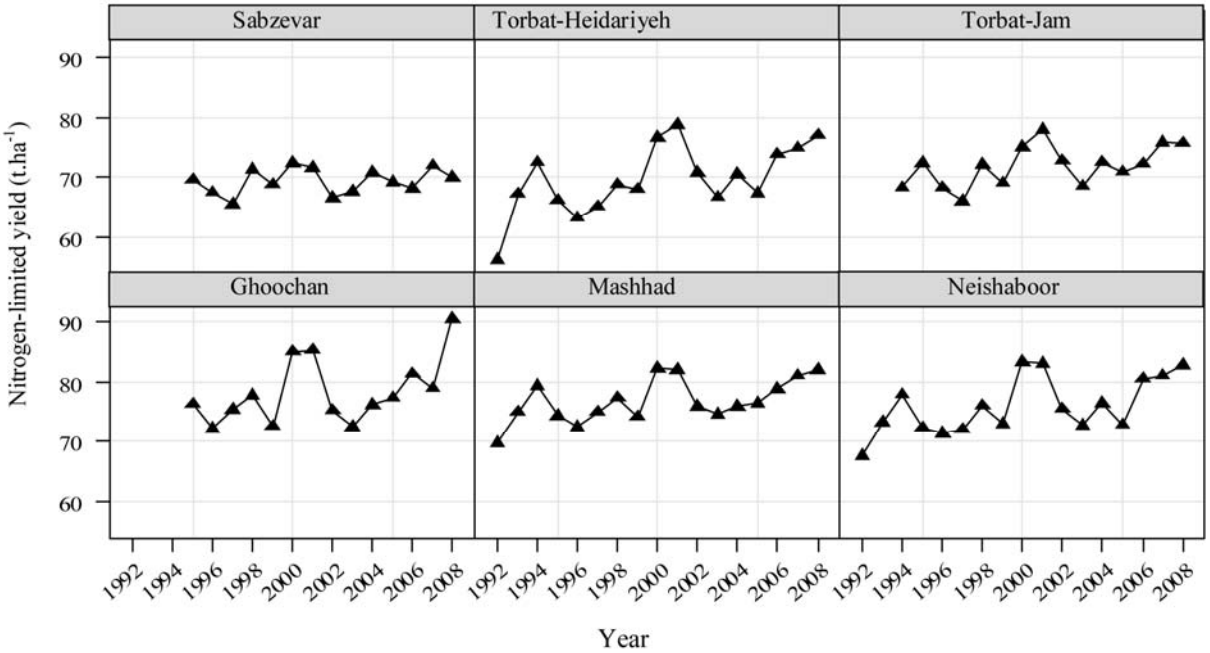
جدول ۳- ضرایب مدل رگرسیون خطی چندگانه بین عوامل اقلیمی (متغیرهای مستقل) و عملکرد چغندرقند (متغیر وابسته) در شرایط محدودیت آب

Table 3- Coefficients of multiple linear regression between climatic variables (dependent) and root yield of sugar beet (Independent) under water-limited conditions

متغیر مستقل Independent variable	ضریب در مدل Coefficient in model	خطای معیار Standard error	مقدار t t-value	احتمال معنی‌داری Probability
عرض از مبدأ Intercept	247428.9	20171.1	12.2	0.00002
متوسط دما از کاشت تا برداشت Mean temperature from sowing to harvest	-4728.8	487.3	-9.7	0.00002
میانگین سرعت باد Mean wind speed	-11536.9	570.8	-20.2	0.00002
میانگین فشار بخار Mean vapour pressure	8351.4	3105.3	2.6	0.0086
تشعشع تجمعی Accumulative radiation	-9.3	2.4	-3.7	0.00027
بارندگی تجمعی Accumulative rainfall	-30.2	15.7	-1.9	0.0585

با توجه به این‌که بارندگی‌های فصلی ابتدای بهار، مقارن با شروع رشد و نمو اولیه گیاهان زراعی بهاره از جمله چغندرقند می‌باشد، ارزیابی سهم نسبی آن‌ها در افزایش عملکرد و کاهش خلاء آن قابل توجه است. میانگین بارندگی تجمعی از کاشت تا برداشت چغندرقند در شهرستان‌های تحت بررسی در محدوده ۶۳ تا ۱۵۴ میلی‌متر متغیر بود که به ترتیب در شهرستان‌های سبزوار و قوچان مشاهده شد (جدول۴). رابطه خطی بین عملکرد در شرایط محدودیت آب و بارندگی تجمعی از کاشت تا برداشت چغندرقند نیز بیانگر تأثیر مثبت و معنی‌دار این بارش‌ها بر عملکرد است (شکل ۴)، اگرچه مدل خطی تنها ۲۲ درصد از تغییرات را توصیف کرد. بر اساس این رابطه به ازای هر میلی‌متر بارندگی در طی دوره رشد، عملکرد به میزان ۲۱۲ کیلوگرم در هکتار افزایش پیدا کرده است؛ به طوری‌که با در نظر گرفتن میانگین بارندگی از کاشت تا برداشت چغندرقند (جدول ۴)، تقریبا ۱۳ تا ۳۲ تن در هکتار از عملکرد در شرایط محدودیت آب، ناشی از بارندگی‌های فصلی بوده است.

در این تحقیق علاوه بر تأثیر کمبود آب، محدودیت نیتروژن نیز به عنوان یکی دیگر از عوامل محدودکننده عملکرد چغندرقند، مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل ۵ نتایج شبیه‌سازی عملکرد چغندرقند را در شرایط محدودیت نیتروژن درشهرستان‌های مختلف طی زمان نشان می‌دهد. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود، در شرایط محدودیت نیتروژن نیز همانند محدودیت آب، کاهش عملکرد قابل توجهی وجود دارد. به طور متوسط عملکرد در شرایط محدودیت نیتروژن در شهرستان‌های مختلف در محدوده ۷۸-۶۹ تن در هکتار بود که با مصرف حدود ۱۹۹ تا ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (جدول ۱) به دست آمد. کمترین عملکرد در شرایط محدودیت نیتروژن در شهرستان‌های سبزوار و تربت‌حیدریه (هر کدام ۶۹ تن در هکتار) و بیشترین عملکرد در مشهد و قوچان (به ترتیب ۷۶ و ۷۸ تن در هکتار) به دست آمد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در مقایسه با عملکرد در شرایط محدودیت آب، در شرایط محدودیت نیتروژن اختلاف زیادی بین بیشترین و کمترین عملکرد وجود ندارد (حدود ۱۱ تن در هکتار)، زیرا مقدار کاربرد نیتروژن در تمامی شهرستان‌های مورد مطالعه زیاد است به این معنی‌که کشاورزان حتی در شرایط محدودیت نیتروژن نیز حدود ۴۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار مصرف می‌کنند (اطلاعات به دست آمده از کشاورزان از طریق پرسشنامه). از این‌رو، به نظر می‌رسد که در شهرستان‌های مورد مطالعه در استان خراسان، محدودیت آب اهمیت بیشتری نسبت به نیتروژن داشته باشد.



شکل ۵- تغییرات عملکرد چغندرقند تحت شرایط محدودیت نیتروژن در شهرستان‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۹۲

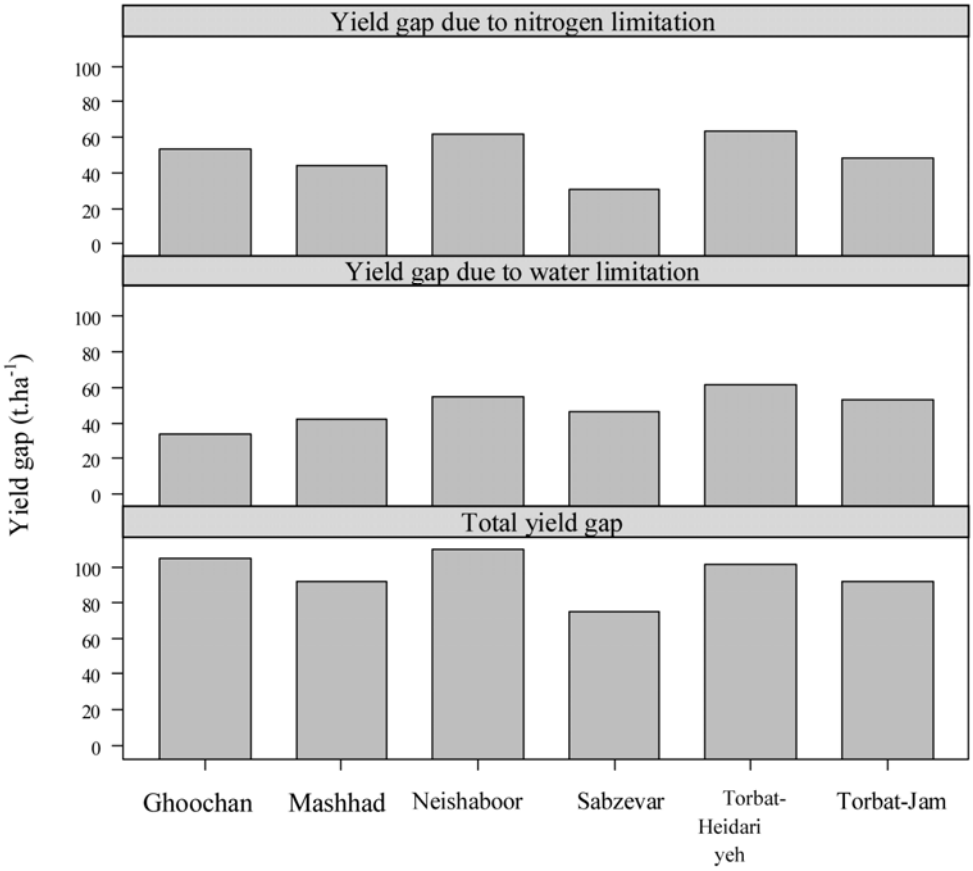
Fig. 5- Long term simulation of nitrogen-limited yield of sugar beet in the studied locations during 1992-2008

خلاء عملکرد چغندرقند

خلاء عملکرد کل، خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب و نیتروژن برای تمامی شهرستان‌های مورد مطالعه در شکل ۶ نشان داده شده است. خلاء عملکرد کل در مناطق مختلف از ۷۴ (در شهرستان سبزوار) تا ۱۰۹ تن در هکتار (در شهرستان نیشابور) متغیر بود. با توجه به دامنه عملکرد واقعی به دست آمده توسط کشاورزان (۳۰-۲۳ تن در هکتار)، خلاء عملکرد بیشتر در برخی شهرستان‌ها مثل قوچان و نیشابور بیشتر به دلیل عملکرد پتانسیل بالاتر آن‌ها بوده است که تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل اقلیمی، خاکی و مدیریتی به دست آمده است. باید توجه داشت که خلاء عملکرد محاسبه شده، میانگین تمامی سال‌های مورد مطالعه است و نوسانات سالانه در میزان خلاء دیده شده است. پارسا (Parsa, 2007) ضمن برآورد خلاء عملکرد کل چغندرقند از ۱۴ تا ۷۰ تن در هکتار در شهرستان‌های استان خراسان، دلایل وجود خلاء عملکرد را در این مناطق، کوچک بودن اراضی، عدم به کارگیری ماشین آلات و مکانیزاسیون، استفاده از بذور پلی‌ژرم، کشت غیر ردیفی و عدم استفاده از کودهای میکرو اعلام کرد.

در شرایط محدودیت آب خلاء عملکرد به طور متوسط ۴۹ تن در هکتار برآورد شد. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد شهرستان‌های قوچان و مشهد به دو دلیل خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب کمتری نسبت به بقیه شهرستان‌ها داشتند. اول، تعداد دفعات آبیاری بیشتر در این شهرستان‌ها (به ترتیب ۱۹ و ۲۰ مرتبه) و دوم، شرایط آب و هوایی که باعث نگهداری آب بیشتری در خاک در طول فصل رشد شد. برای مثال فشار بخار زیاد آب در هوا، سرعت باد نسبتاً کم و نیز بارندگی‌های تجمعی بیشتر در آن‌ها را می‌توان نام برد. با وجودی که به طور متوسط، برخی کشاورزان تا ۲۰ مرتبه زمین را آبیاری کرده‌اند، هنوز خلاء عملکرد ناشی از کمبود آب در این مناطق تا ۴۲ تن در هکتار مشاهده می‌گردد. طولانی بودن فصل رشد چغندرقند در اکثر شهرستان‌های استان خراسان از یک سو، و شرایط آب و هوایی گرم در طی مراحل رشدی گیاه (اواخر بهار و در طول فصل تابستان)، از جمله دلایلی است که بر شدت و میزان تبخیر- تعرق گیاه افزوده و در حد ظرفیت مزرعه نگه دارد. این در حالی است که در شرایط محدودیت آب، در شهرستان‌های سبزوار و تربت‌جام حدود ۱۴۰۰-۱۳۰۰ میلی‌متر به صورت دستی در مدل آبیاری شده است (میزان واقعی آب مصرف شده توسط کشاورزان). بر این مبنا، برای رساندن عملکرد در شرایط محدودیت آب به عملکرد پتانسیل در این دو شهرستان (با فرض ثابت بودن سایر عملیات مدیریتی)، به طور تقریبی حدود دو برابر آب بیشتر از آن‌چه مصرف می‌شود، نیاز است. بر این اساس به نظر می‌رسد با وجودی که پتانسیل عملکرد چغندرقند در اکثر شهرستان‌های استان خراسان بالا است (بیش از ۱۳۰ تن در هکتار) اما نسبت عملکرد تولید شده به آب مصرفی که همان بهره‌وری آب است، در این مناطق بسیار پایین بوده و تولید چغندرقند با هزینه و مصرف بسیار بالای آب (به عنوان مهمترین نهاده در کشور) انجام می‌شود. از این‌رو علی‌رغم بالا بودن پتانسیل عملکرد چغندرقند، با توجه به کمبود منابع آبی به نظر می‌رسد کشت چغندرقند در شهرستان‌های استان خراسان، چندان مقرون به صرفه نبوده و کارآیی بالایی ندارد. این در حالی است که در سایر شهرستان‌ها مثل نیشابور و مشهد به دلیل شرایط مساعدتر اقلیمی تنها ۷۵ تا ۱۲۴ میلی‌متر آب برای پر کردن خلاء عملکرد ناشی از آب، نیاز است. تعداد دفعات آبیاری کمتر (۵-۴ مرتبه کمتر از سایر مناطق)، سرعت باد بیشتر و نیز بارندگی‌های تجمعی کم در طول فصل رشد را می‌توان از دلایل بالا بودن خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب در شهرستان‌های تربت‌جام و تربت‌حیدریه بر شمرد (جدول ۴).

نتایج به دست آمده از آزمایش‌های شبیه‌سازی در شرایط محدودیت آب، با استفاده از مدل سوکرزبیت همچنین نشان داد که برای رسیدن به عملکرد به دست آمده در شرایط پتانسیل، بسته به شرایط آب و هوایی بیش از ۲۰۰۰ میلی‌متر آب در شهرستان‌های سبزوار و تربت‌جام و ۱۵۰۰-۱۴۰۰ میلی‌متر آب در شهرستان‌های قوچان و نیشابور مورد نیاز است. در این شرایط، مدل در حالت آبیاری خودکار قرار گرفته و تا اندازه‌ای آبیاری می‌کند که همواره آب خاک را در حد ظرفیت مزرعه‌ای نگه دارد. نتایج تحقیقات منتشر شده در کشور در خصوص نیاز آبی چغندرقند با لایسیمتر نشان می‌دهد که بسته به شرایط آب و هوایی (منطقه و سال) از ۱۴۰۰ میلی‌متر در مشهد (با عملکرد ۵۶ تن درهکتار) تا ۱۸۸۵ میلی‌متر در کرمانشاه، آب برای تأمین نیاز آبی این گیاه نیاز است (Shahabifar & Rahimian, 2007). همچنین در مناطق دیگر نیز در کشور تا ۲۰۰۰ میلی‌متر نیاز آبی چغندرقند گزارش شده است (Farshi et al., 1997).



شکل ٦- میانگین خلاء عملکرد چغندرقند در شهرستان‌های مورد مطالعه

Fig. 6- Average yield gap of sugar beet in study locations

با در نظر گرفتن متوسط تمامی شهرستان‌ها، در شرایط محدودیت نیتروژن خلاء عملکردی معادل ۴۸ تن در هکتار برآورد شد. در مناطقی که متوسط کاربرد نیتروژن کمتر از سایر مناطق بود (مثل سبزوار)، انتظار می‌رفت که خلاء عملکرد ناشی از محدودیت نیتروژن بیشتر باشد، ولی در تمامی شرایط این‌طور نیست. دلیل اصلی این مسأله عملکرد پتانسیل کمتر در این شهرستان‌ها است، زیرا خلاء عملکرد ناشی از محدودیت نیتروژن از اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد در شرایط محدودیت نیتروژن در هر شهرستان به دست آمده است. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که برای پر کردن خلاء عملکرد ناشی از کمبود نیتروژن و رساندن آن به عملکرد پتانسیل به طور متوسط ۴۴۰ کیلوگرم در هکتار در برخی شهرستان‌ها (برای مثال، سبزوار)، نیتروژن برای جذب توسط گیاه چغندرقند نیاز است. این در حالی است که میزان نیتروژن به کار برده شده در مزارع کشاورزان به طور متوسط ۵۰ درصد این مقدار بوده است.

ذکر این نکته ضروری است که این میزان نیتروژن برای رسیدن به حداکثر عملکرد (پتانسیل) است. بنا به نظر اسمیت (Smit, 1996) سطوح بهینه نیتروژن برای به دست آوردن حداکثر عملکرد اندام ذخیره‌ای، حداکثر عملکرد قند، حداکثر سودآوری اقتصادی و حتی در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی متفاوت است. آن‌ها در تحقیق خود مقدار بهینه کود نیتروژن را برای چغندرقند در انگلستان به ترتیب ۱۸۰، ۲۰۰ و ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار برای نیل به حداکثر سود اقتصادی، حداکثر عملکرد قند و عملکرد اندام ذخیره‌ای گزارش کردند. با این مقادیر کود نیتروژن در آن منطقه، به طور میانگین عملکردی معادل ۶۱ تن در هکتار به دست آمد.

نکته دیگری که در این تحقیق به آن پرداخته نشد، شبیه‌سازی خصوصیات کیفی چغندرقند (از جمله عیار قند و درصد سدیم) در شرایط محیطی گوناگون بود.

جدول ٤-میانگین متغیرهای اقلیمی از کاشت تا برداشت چغندرقند در شهرستان‌های مورد مطالعه (در استان خراسان)

Table 4- Long term solar radiation, temperature, rainfall, wind speed and vapour pressure over growing season of sugar beet in study locations

منطقه Location	تشعشع تجمعی (مگاژول بر مترمربع) Accumulative radiation(MJ. m^{-2})			درجه حرارت (سانتی‌گراد) Temperature (°C)			بارندگی تجمعی (میلی‌متر) Accumulative rainfall (mm)			سرعت باد (متر بر ثانیه) Wind speed (m. s^{-1})			فشار بخار آب (کیلوپاسکال) Vapour pressure (kpa)		
	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min
قوچان Ghoochan	5124	5345	4849	18.2	19.4	16.7	154	265	80	1.9	4.2	0.9	0.9	1	0.8
مشهد Mashhad	4857	5269	4600	20.6	22.3	18.5	107	213	55	2.7	3.5	1.5	0.9	1.2	0.7
نیشابور Neishaboor	5533	5719	5409	19.4	20.7	17.3	91	172	48	1.4	2.7	0.8	0.8	1	0.7
سبزوار Sabzevar	5466	5615	5342	24	25.2	22.6	63	114	14	3.7	5.5	2.8	0.3	1	0.1
تربت‌حیدریه Torbat-Heidariyeh	5514	5689	5336	19.4	20.8	17.4	94	206	17	2.7	4	1.7	0.8	1	0.7
تربت‌جام Torbat-Jam	5594	5777	5262	20.9	22.2	19.9	71	142	33	4.7	5.4	4	0.9	1	0.8

این مسأله به خصوص در سطوح مختلف کود نیتروژن قابل توجه است، زیرا مصرف بیش از تقاضای بهینه گیاه باعث تجمع نیتروژن مضره در اندام‌های ذخیره‌ای چغندرقند شده و عملکرد قند را به شدت کاهش می‌دهد. برای مثال اسمیت (Smit, 1996) گزارش کرد که به ازای هر ۱۵ کیلوگرم کاربرد کود نیتروژن اضافی، محتوی قند ریشه تا ۰/۱ درصد کاهش یافت و این مسأله عملکرد قند را تحت تأثیر قرار داد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج به دست آمده از مدل سوکرزبیت نشان داد که خلاء عملکرد کل در مناطق مختلف در استان خراسان رضوی از ۷۴ (در شهرستان سبزوار) تا ۱۰۹ (در شهرستان نیشابور) تن در هکتار متغیر بود. در شرایط محدودیت آب به طور متوسط ۴۹ تن در هکتار خلاء عملکرد برآورد شد. در نظر گرفتن متوسط تمامی شهرستان‌ها، در شرایط محدودیت نیتروژن خلاء عملکردی معادل ۴۸ تن در هکتار برآورد شد. با وجودی که به طور متوسط، برخی کشاورزان تا ۲۰ مرتبه زمین را آبیاری کرده‌اند، هنوز خلاء عملکرد ناشی از کمبود آب در این مناطق تا ۴۲ تن در هکتار مشاهده می‌گردد. از این‌رو، به نظر می‌رسد شرایط واقعی تولید در استان با شرایط پتانسیل آن اختلاف قابل توجهی دارد که می‌بایست در آینده با برنامه‌ریزی دقیق‌تر مدیریتی بتوان در سدد کاهش این خلاءها گام‌های مؤثرتری برداشته شود. از سوی دیگر، برای رساندن عملکرد در شرایط آب محدود به عملکرد پتانسیل در برخی از شهرستان‌های مورد مطالعه، با فرض ثابت بودن سایر عملیات مدیریتی، به طور تقریبی حدود دو برابر آب بیشتر از آن-چه مصرف می‌شود، نیاز است. بر این اساس به نظر می‌رسد با وجودی که پتانسیل عملکرد چغندرقند در اکثر شهرستان‌های استان خراسان بالا است (بیش از ۱۳۰ تن در هکتار)، اما نسبت عملکرد تولید شده به آب مصرفی که همان بهره‌وری آب است، در این مناطق بسیار پایین بوده و تولید چغندرقند با هزینه و مصرف بسیار بالای آب انجام می شود. نتایج به دست آمده از این تحقیق با توجه به اهمیت چغندرقند و بحث واردات شکر گامی قابل توجه در جهت رساندن عملکرد واقعی کشاورزان به عملکرد قابل حصول خواهد بود تا در حد امکان برنامه‌ریزان بتوانند در جهت مدیریت خلاءهای تولید در این مناطق گام بردارند.

منابع

1- Aggarwal, P.K., and Kalra, N. 1994. Simulating the effect of climatic factors, genotype, water and nitrogen availability on productivity of wheat: II. Climatically potential yields and optimal management strategies. Field Crops Research 38: 93-103.
2- Anonymous. 2009. Agriculture Statistics. Vol. 1. Filed Crops. Jihad-e-Agriculture Ministry. (In Persian)
3- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. 290 pp.
4- Alexandratos, N. 1995. World Agriculture: Towards 2010. FAO, Wiley, New York.
5- Angus, J.F., Stapper, M., and Donnelly, J.R. 1993. Simulation models for strategic and tactical management of crops and pastures. Journal of Agricultural Meteorology 48: 775-778.
6- Becker, M., and Johnson, D.E. 1999. Rice yield and productivity gaps in irrigated systems of the forest zone of Côte d'Ivoire. Field Crops Research 60(3): 201-208.
7- Bhatia, V.S., Singh, P., Wani, S.S., Chauhan, G.S., Rao, A.V.R, Mishra, A.K., and Srinivas, K. 2008. Analysis of potential yields and yield gaps of rainfed soybean in India using CROPGRO-Soybean model. Agricultural and Forest Meteorology 148: 1252-1265.
8- Deihimfard, R. 2011. Analysis of yield gaps of wheat and sugar beet in Khorasan province using simulation modeling. PhD dissertation. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
9- Deihimfard, R., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2011. SUCROSBEET: A simple model for simulating growth and development of sugar beet under potential and nitrogen-limited conditions. Journal of Agroecology 1(2): 1-20. (In Persian with English Summary)
10- Deihimfard, R., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2012. Yield gap analysis in the main sugarbeet-growing environments of Iran using SOCROSBEET model. In: Proceedings 6th International Crop Science Congress.

Brazilp. 3179.

11- Farshi, A., Shariati, A., Jarollahi, M.H., Ghaemi, R., Shahabifar, M.R., and Tavallaei, M. 1997. Estimation of Crop Water Requirements in Iran. Vol. I. Nashr Publication 900 pp. (In Persian)

12- Kalra, N., Chakraborty, D., Kumar, P.R., Jolly, M., and Sharma, P.K. 2007. An approach to bridging yield gaps, combining response to water and other resource inputs for wheat in northern India, using research trials and farmers' fields data. Agricultural Water Management 93: 54-64.

13- Manschadi, A.M., Soufizadeh, S., and Deihimfard, R. 2010. The role and importance of simulation modelling in improving crop production in Iran. The 11th Iranian Crop Science Congress 234-247. (In Persian)

14- Muchow, R.C., and Kropff, M.J. 1997. Assessing the potential yield of tropical crops: role of field experimentation and simulation. In: Kropff, M.J., Teng, P.S., Aggarwal, P. K., Bouma, J., Bouman, B.A.M., Jones, J.W., and Van Laar, H.H. (Eds.), Applications of Systems Approaches at the Field Level. Vol. II. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. The Netherlands p. 101-112.

15- Nassiri, M., and Koocheki, A. 2009. Agroecological zoning of wheat in Khorasan provinces: Estimating yield potential and yield gap. Iranian Journal of Field Crops Research 7(2): 695-709. (In Persian with English Summary)

16- Parsa, S. 2007. Modelling spatial and temporal variation of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Khorasan province. PhD dissertation. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

17- Pickering, N.B., Hansen, J.W., Jones, J.W., Wells, C.M., Chan, V.K., and Godwin, D.C. 1994. Weather Man A: Utility for Managing and Generating Daily Weather Data. Agronomy Journal 86: 332-337.

18- R Development Core Team. 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www. R-project. org.

19- Scott, R.K., and Jaggard, K.W. 2000. Impact of weather, agronomy and breeding on yields of sugar beet grown in the UK since 1970. The Journal of Agricultural Sciences 134: 341-352.

20- Shahabifar, M., and Rahimian, M.H. 2007. Measurement of sugar beet water requirements by lysimeter method in Mashhad. Sugarbeet 23(2): 177-184 (In Persian with English Summary)

21- Smit, A.B. 1996. PIEteR: A field specific bio-economic production model for decision support in sugar beet growing. PhD thesis. Wageningen Agricultural University. The Netherland.

22- Soltani, A., Gholipoor, M., and Haji-Zadeh, A. 2005. SBBET: A simple model for simulating sugar beet yield. Agricultural Sciences and Technology 19(2): 11-26 (In Persian with English Summary)

23- Spitters, C.J.T., Van Keulen, H., and Van Kraalingen, D.W.G. 1989. A simple and universal crop growth simulator: SUCROS87. In: Simulation and System Management in Crop Protection. Rabbinge, R., Ward, S.A., and Van Laar, H.H. (Eds.), 32nd ed. p. 147-181. Pudoc, Wageningen, the Netherlands.

24- Tatari, M. 2008. Dryland wheat yield prediction using climatic and edaphic data by applying neural networks. PhD dissertation. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

25- Vandendriessche, H.J. 2000. A model of growth and sugar accumulation of sugar beet for potential production conditions: SUBEMOpo. II. Model performance. Agricultural Systems 64: 21-35.

26- VanLaar, H.H., Goudriaan, J., and Van Keulen, H. 1997. SUCROS97: Simulation of crop growth for potential and water-limited production situations. C. de Wit Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation, Wageningen. The Netherlands p. 52.

27- Wallach, D., Makowski, D., and Jones, J.W. 2006. Working with Dynamic Crop Models valuation, Analysis, Parameterization, and Applications. The Netherlands. The Boulevard, Langford Lane,Kidlington,Oxford OX5 1GB,UK.

28- WRR. 1995. Sustained risks: a lasting phenomenon. Netherlands Scientific Council for Government Policy. Reports to the Government. No. 44.

29- Yin, X., and Van Laar, H.H. 2005. Crop Systems Dynamics: An ecophysiological model of genotype-by-environment interactions (GECROS). Wageningen Academic Publishers, Wageningen 168 pp.

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 315-330

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۳۳۰-۳۱۵

Simulating the potential yield and yield gaps of sugar beet due to water and nitrogen limitations in Khorasan province using SUCROS model

R. Deihimfard[1], M. Nassiri Mahallati[2*] and A. Koocheki[2]

Submitted: 18-12-2012
Accepted: 03-08-2013

Introduction

Crop productivity is highly constrained by water and nitrogen limitations in many areas of the world. Therefore, there is a need to investigate more on nitrogen and water management to achieve higher production as well as quality. Irrigated sugar beet in the cropping systems of Khorasan province in northeastern of Iran accounts for about 34% of the land area under sugar beet production (~115,000 ha) with an average yield of around 36 t.ha^{-1}. However, there is a huge yield gap (the difference between potential and water and nitrogen-limited yield) mainly due to biotic and abiotic factors causing major reduction in farmers' yield. Accordingly, yield gap analysis should be carried out to reduce the yield reduction and reach the farmer's yield to the potential yield. The current study aimed to simulate potential yield as well as yield gap related to water and nitrogen shortage in the major sugar beet-growing areas of Khorasan province of Iran.

Materials and methods

This study was carried out in 6 locations across Khorasan province, which is located in the northeast of Iran. Long term weather data for 1986 to 2009 were obtained from Iran Meteorological Organization for 6 selected locations. The weather data included daily sunshine hours (h), daily maximum and minimum temperatures (◦C), and daily rainfall (mm). Daily solar radiation was estimated using the Goudriaan (1993) method. The validated SUCROSBEET model (Deihimfard, 2011; Deihimfard et al., 2011) was then used to estimate potential, water and nitrogen-limited yield and yield gap of sugar beet for 6 selected locations across the Khorasan province in the northeast of Iran. This model simulates the impacts of weather, genotype and management factors on crop growth and development, soil water and nitrogen balance on a daily basis and finally it predicts crop yield. The model requires input data, including local weather and soil conditions, cultivar-specific parameters, and crop management information. Soil water module was used to determine soil water balance under water-limited conditions. Some questionnaires were then sent to extension agents to obtain information from the main sugar beet producing fields in each location.

Results and discussion

The SUCROSBEET model reasonably well predicted root yield across the study locations. The model could be used to simulate sugar beet yield under potential, water and nitrogen-limited situations. Simulation results of SUCROSBEET model showed that the lowest and highest sugar beet potential yield were obtained in Sabzevar (100 t.ha^{-1}) and Neishaboor (137 t.ha^{-1}), respectively. Total yield gap (the difference between potential and farmer's yield) ranged from 74 to 109 t.ha^{-1}, in Sabzevar and Neishaboor, respectively. Despite the fact that most of the farms had been irrigated up to 20 times over seasons, there were still yield gap of an average 42 t.ha^{-1} due to water shortage. To reach the potential yield in the study locations, more than 2000 mm water is required in Sabsevar and Torbat-Jam and 1400 to 1500 mm in Ghoochan and Neishaboor, respectively. On average, to fill nitrogen-limited yield gap, 440 to 530 kg.ha^{-1} of nitrogen for sugar beet uptake are also required. However, the farmers in various locations have been able to apply only 50% of the sugar beet nitrogen demands during the past decade. The results of the current study also suggested that the farmer yields of about 16-48 t.ha^{-1}in the irrigated locations across Khorasan province, were not constrained by low genetic yield potential. It is also needed to irrigate more than two times in some locations for reaching water-limited yield to potential one. Although there is a high potential for production of sugar beet (more than 130 t.ha^{-1}), the ratio of yield production to water consumption (known as water productivity) is not suitable in the study locations and production of sugar beet would not be cost-effective. Another issue which has not been considered in the simulations is qualitative traits of sugar beet (such as sugar content, Alkaloids, molasses sugar, sodium and

1- Former PhD Student and Professors and Assistant Professor, Shahid Beheshty University 2- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
(*- Corresponding author Email: mnassiri@um.ac.ir)

potassium in storage organ, etc.) particularly under different levels of nitrogen applications. Although increasing nitrogen application would be resulted in higher yield and lower yield gaps, supplied nitrogen more than crop demand could be accumulated in storage organs and reduce white sugar yield. For instance, every 15 kg additional application of nitrogen reduced sugar content by 0.1 percent and reduced extraction coefficient of sugar. It is also worth noting that the current version of SUCROSBEET model is not capable to simulate qualitative traits of sugar beet and a few subroutines are needed to add to the model for future investigations.

Conclusion

The results indicated that although there is high yield potential for sugar beet in Khorasan province, water productivity would not be reasonable. In addition, yield gap in sugar beet cropping systems which reflects the actual yield gap in irrigated environments is essentially due to non-adoption of improved crop management practices and could be reduced if proper interventions are made.

Keywords: Limiting factors, Modeling, Nitrogen balance, Nitrogen shortage

References

Deihimfard, R. 2011. Analysis of yield gaps of wheat and sugar beet in Khorasan province using simulation modeling. PhD Dissertation. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Deihimfard, R., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2011. SUCROSBEET: A simple model for simulating growth and development of sugar beet under potential and nitrogen-limited conditions. Journal of Agroecology 1(2): 1-20. (In Persian with English Summary)

Goudriaan, J. 1993. Modelling Potential Crop Growth Processes. Kulwer Academic Press. The Netherlands.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۳۴۳-۳۳۱

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 331-343

ارزیابی اثر کود دامی و همزیستی میکوریزایی بر عملکرد کمی و روغن ارقام گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.)

پرویز رضوانی مقدم[1*]، علی نوروزیان[2] و سید محمد سیدی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۲۶

چکیده

به منظور بررسی عملکرد کمی و میزان روغن ارقام گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.) در واکنش به مصرف کود دامی و تلقیح میکوریزایی، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۱۳۸۹ به اجرا در آمد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۶ تیمار انجام شد. تیمارهای آزمایش بر اساس ترکیبی از چهار رقم گلرنگ بهاره (داراب، اصفهان، اراک و IL-111)، دو سطح کود دامی (عدم اعمال و اعمال ۲۵ تن کود دامی در هکتار) و دو سطح میکوریزا (عدم تلقیح و تلقیح با قارچ *Glomus mosseae*) تعیین شدند. بر اساس نتایج به دست آمده اعمال کود دامی نقش معنی‌داری در افزایش عملکرد دانه ارقام گلرنگ داشت. به طوری‌که در نتیجه اعمال کود دامی عملکرد دانه در این ارقام تا بیش از دو برابر افزایش یافت. همچنین نتایج آزمایش حاکی از نقش مؤثر تلقیح میکوریزایی در افزایش معنی‌دار عملکرد گلبرگ و عملکرد دانه ارقام گلرنگ بود. در بین ارقام ذکر شده، رقم داراب دارای بیشترین عملکرد دانه در واحد سطح (۱۳۲۷/۷ کیلوگرم در هکتار) بود. به طور کلی، در شرایط اجرای این آزمایش، ارقام داراب و IL-111 در مقایسه با ارقام اصفهان و اراک به طور معنی‌داری از عملکرد دانه و نیز روغن بالاتری در واحد سطح برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، عملکرد روغن، کود آلی، کود زیستی

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) متعلق به خانواده آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، از جمله گیاهان بومی ایران می‌باشد که در اکثر کشورهای جهان و نیز در ایران به عنوان گیاهی روغنی مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (Omidi et al., 2010). روغن این گیاه به دلیل دارا بودن کیفیت بالا به عنوان یکی از مرغوب‌ترین انواع روغن‌ها شناخته شده است (Omidi et al., 2010; Azimzadeh, 2010). با توجه به تحمل نسبی گلرنگ به تنش‌های خشکی و شوری (Dordas & Sioulas, 2008) و نیز به دلیل سازگاری ارقام این گیاه به شرایط اقلیمی مختلف در کشور (Behdani & Jami-Al-Ahmadi, 2009; Omidi et al., 2010)، برنامه‌ریزی پیرامون مدیریت صحیح عملیات به‌زراعی و نیز به‌نژادی در ارتباط با افزایش عملکرد ارقام این گیاه می‌تواند به طور ویژه مورد توجه باشد.

با توجه به نگرانی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی جهت تأمین عناصر غذایی و نیز به دلیل افزایش هزینه‌های تحمیلی ناشی از کاربرد این نهاده‌ها، تأمین و فراهمی عناصر غذایی از منابع آلی و زیستی می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد پایدار گیاهان زراعی داشته باشد (Guarda et al., 2004; Kizilkaya, 2008). کودهای حیوانی نقش مؤثری در باز چرخش عناصر غذایی و مواد آلی در اکوسیستم‌های زراعی داشته و می‌توانند علاوه بر افزایش تولید، منجر به بهبود پایداری این اکوسیستم‌ها شوند (Mando et al., 2005). در این راستا گزارش شده است که در مقایسه با کودهای شیمیایی، میزان عناصر غذایی موجود در کودهای دامی در طول زمان

۱ و ۲- به ترتیب استاد و دانشجویان دکتری دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: rezvani@um.ac.ir)

می‌تواند بیشتر برای گیاه قابل جذب باشد (Hallajnia et al., 2007). از سویی به دلیل کمبود مواد آلی در مناطق خشک و نیمه-خشک و با در نظر گرفتن نقش ویژه این مواد در بهبود کارکرد اکوسیستم‌های زراعی، اعمال کودهای آلی در این مناطق بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است (Shirani et al., 2011). مشابه کودهای آلی، استفاده از ارتباطات میکوریزایی به عنوان کود زیستی نیز از جمله راهکارهای مؤثر در کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی به شمار می‌رود. ارتباطات همزیستی بین ریشه گیاهان زراعی با قارچ‌های میکوریزا می‌تواند با افزایش میزان جذب عناصری مانند فسفر توسط سیستم ریشه این گیاهان، در نهایت منجر به بهبود عملکرد گیاهان زراعی شود (Turk et al., 2006). در این ارتباط مصطفویان و همکاران (Mostafavian et al., 2008) به نقش مؤثر تلقیح میکوریزا در افزایش عملکرد دانه در سویا (*Glycine max* L.) اشاره کردند. علاوه بر این قارچ‌های میکوریزا می‌توانند ضمن بهبود ساختار فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، در جهت افزایش جذب عناصر غذایی و نیز کاهش سمیت برخی عناصر سنگین نقش مثبتی را ایفا کنند (Cardoso & Kuyper, 2006; Alizadeh Oskouei et al., 2009). نتایج حاجی بلندی و همکاران (Hajibolandi et al., 2007) نیز نشان داد که در گیاهان زراعی دچار کمبود فسفر، تلقیح میکوریزایی با کاهش pH خاک ناحیه ریزوسفر، منجر به افزایش جذب عناصری مانند فسفر و روی توسط این گیاهان شد.

مدیریت صحیح کودهای آلی و زیستی از مهم‌ترین عوامل در بهبود عملکرد گیاهان روغنی مانند گلرنگ می‌باشد. در این ارتباط کاتر و همکاران (Kawthar et al., 2010) ضمن مشاهده افزایش عملکرد روغن گلرنگ در نتیجه اعمال کود دامی گزارش کردند که کاربرد این کود با افزایش نسبت اسیدهای چرب غیراشباع به اشباع، منجر به بهبود عملکرد کیفی روغن این گیاه شد. صباحی و همکاران (Sabahi et al., 2010) نیز اظهار داشتند که در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک و شور، اعمال کود دامی با افزایش جذب فسفر و پتاسیم منجر به افزایش عملکرد دانه در کلزا (*Brassica napus* L.) گردید. شیرانی‌راد و نورعلی‌زاده (Shiranirad & Nouralizadeh, 2000) گزارش کردند که تلقیح سیستم ریشه سویا با میکوریزا نقش مؤثری در بهبود جذب فسفر و پتاسیم در این گیاه داشت. بر این اساس، این تحقیق با هدف بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و نیز عملکرد روغن ارقام بهاره گلرنگ در واکنش به اعمال کودهای دامی و نیز تلقیح میکوریزایی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۶ تیمار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (طول جغرافیایی ۲۸َ ۵۹ْ شرقی و عرض جغرافیایی ۱۵َ ۳۶ْ شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۸۹–۱۳۸۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایش بر اساس ترکیبی از چهار رقم گلرنگ بهاره (داراب، اصفهان، اراک و IL-111)، دو سطح کود دامی (اعمال و عدم اعمال کود) و دو سطح میکوریزا (عدم تلقیح و تلقیح با قارچ *Glomus mosseae*) تعیین شدند.

زمین مورد نظر در سال قبل از اجرای آزمایش به صورت آیش بود. قبل از اجرای آزمایش، جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش نمونه-برداری تصادفی صورت گرفت که نتایج آنالیز آن در جدول ۱ ارائه شده است (جدول ۱).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مزرعه و کود دامی جهت انجام آزمایش

Table 1- Some of physical and chemical properties of field soil and manure used in experiment

نمونه Sample	بافت Texture	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	فسفر کل (درصد) Total P (%)	پتاسیم کل (درصد) Total K (%)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH
خاک مزرعه Field soil	لومی– سیلتی Silty- loam	0.16	0.13	0.12	1.2	7.57
کود دامی Manure		0.89	1	1.2	-	-

مراحل آماده‌سازی زمین بر اساس عملیات دیسک‌زنی و تسطیح زمین توسط تراکتور در فروردین ماه انجام شد. جهت تلقیح بذرهای ارقام گلرنگ از میکوریزا گونه *Glomus mosseae* استفاده شد که همزمان با کاشت به صورت دو لایه تلقیح با خاک در بالا و پایین بذرها، به جهت اطمینان از ایجاد شرایط مناسب تلقیح، صورت پذیرفت. مصرف کود دامی در تیمارهای آزمایش بر اساس محتوی نیتروژن اولیه این کود و نیز نیتروژن اولیه خاک (جدول ۱) به میزان ۲۵ تن در هکتار و در یک مرحله (قبل از کاشت) انجام شد.

کاشت ارقام گلرنگ بهاره به صورت خشکه‌کاری و با دست در تاریخ ۲۵ فروردین ماه با تراکم کاشت ۵۰ بوته در مترمربع انجام شد. فواصل ردیف برای هر رقم ۵۰ سانتی‌متر، تعداد ردیف در هر کرت چهار عدد (دو ردیف کناری به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و از دو ردیف میانی نمونه‌برداری انجام پذیرفت)، طول هر کرت سه متر و عرض آن دو متر، فاصله کرت‌ها از یکدیگر یک متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر دو متر بود. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و سایر آبیاری‌ها هر هفت روز یک‌بار انجام شد. آخرین آبیاری نیز ۱۰ روز قبل از عملیات برداشت صورت گرفت. عملیات داشت شامل وجین علف‌های هرز در دو نوبت صورت پذیرفت. در طول دوره آزمایش از هیچ‌گونه علف‌کش، آفت‌کش و یا قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد.

همزمان با گل‌دهی کامل بوته‌ها در کرت‌های آزمایشی، کلیه کاپیتول‌ها در سطح یک مترمربع برداشت و عملکرد گلبرگ تعیین گردید. همچنین در انتهای فصل رشد و همزمان با زرد شدن برگ‌ها، پس از حذف دو ردیف کناری از سطحی معادل یک مترمربع عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد روغن اندازه‌گیری شد. قبل از برداشت، تعداد پنج بوته در هر کرت به طور تصادفی انتخاب و صفاتی از جمله، تعداد گل آذین در هر بوته، تعداد دانه در هر گل آذین، وزن دانه در هر گل آذین، وزن دانه در هر بوته و وزن هزار دانه تعیین شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS ver. 9.1 انجام گرفت. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

یکی از اهداف مهم این تحقیق، مقایسه ارقام گلرنگ تحت تأثیر اعمال کود دامی و تلقیح میکوریزایی بود. از این‌رو اثرات ساده ارقام گلرنگ نیز در کنار اثرات متقابل منابع کودی ذکر شده مورد بررسی قرار گرفت.

بر اساس نتایج جدول ۲، وزن دانه در طبق، وزن دانه در بوته و وزن هزار دانه در رقم اراک به طور معنی‌دار ($p\leq۰/۰۱$) پایین‌تر از سایر ارقام مورد مطالعه (داراب، اصفهان و IL-111) بود. بر اساس جدول ۳، در بین ارقام ذکر شده، رقم اصفهان و داراب دارای بیشترین عملکرد گلبرگ در واحد سطح بودند (به ترتیب ۴۹۷/۷ و ۴۷۱/۲ کیلوگرم در هکتار). از سویی نتایج نشان داد که رقم داراب دارای بیشترین عملکرد دانه در واحد سطح بود (۱۳۲۷/۷ کیلوگرم در هکتار) (جدول ۳). به نظر می‌رسد که در رقم داراب درصد بیشتری از مواد فتوسنتزی به عملکرد زایشی اختصاص یافته باشد. در این راستا بالا بودن وزن دانه در طبق، وزن دانه در بوته و نیز شاخص برداشت در این رقم (معادل ۲۸/۱۲ درصد) در مقایسه با سایر ارقام (جدول ۳) می‌تواند توجیهی در ارتباط با بالا بودن درصد تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه باشد.

از سویی با وجود تفاوت معنی‌دار عملکرد دانه بین ارقام مورد مطالعه (داراب، اصفهان، اراک و IL-111)، بین این ارقام از نظر درصد و عملکرد روغن تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). بر اساس نتایج این آزمایش به نظر می‌رسد در ارقام با عملکرد پایین دانه (رقم اراک) بالاتر بودن نسبی درصد روغن می‌تواند از طریق جبران عملکرد پایین دانه، منجر به بهبود عملکرد روغن شود (جدول ۳). بر این اساس با توجه به این‌که از مهم‌ترین اهداف زراعت گلرنگ، تولید روغن جهت مصارف خوراکی و صنعتی می‌باشد (Dordas & Sioulas, 2008)، در راستای اجرای برنامه‌های اصلاحی در ارتباط با گزینش بهترین ارقام از نظر تولید روغن، علاوه بر عملکرد قابل قبول دانه می‌بایست به بالا بودن درصد روغن در رقم مورد نظر نیز توجه نمود. در این ارتباط امیدی و همکاران (Omidi et al., 2010) نیز در بحث تعیین سازگاری لاین‌های جدید گلرنگ بهاره، اهمیت ویژه عملکرد بالای دانه و روغن در این ارقام را مورد تأکید قرار دادند.

به طور کلی، در شرایط اجرای این آزمایش (شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک با میزان ماده آلی پایین خاک) به نظر می‌رسد که ارقام داراب و IL-111 از نظر شاخص تولید دانه و نیز روغن می‌توانند در مقایسه با ارقام اصفهان و اراک از عملکرد بالاتری در واحد سطح برخوردار باشند.

جدول ۲- تجزیه واریانس شاخص‌های اندازه‌گیری شده در ارقام گلرنگ بهاره تحت تأثیر کود دامی و تلقیح میکوریزایی

Table 2- Analysis of variance for characteristics of spring safflower cultivars in manure and mycorrhizae inoculation treatments

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد شاخه جانبی در بوته No. of branch per plant	تعداد دانه در طبق No. of seed per head	تعداد دانه در بوته No. of seed per plant	وزن دانه در طبق Seed weight per head	وزن دانه در بوته Seed weight per plant	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد گلبرگ Petal yield	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield
بلوک Block	2	4.5^{ns}	0.07^{ns}	325.6^{ns}	0.02^{ns}	43.8^{ns}	1.8^{ns}	4654.5^{ns}	5222.0^{ns}	2113872.8**	60.1^{ns}	46.6^{ns}	7319.4^{ns}
رقم (C) Cultivar (C)	3	2.0^{ns}	0.69^{ns}	85.6^{ns}	0.65**	5000.5**	40.9**	18818.8*	161696.4**	538125.7^{ns}	48.6**	28.2^{ns}	4742.5^{ns}
کود دامی (M) Manure (M)	1	88.8**	16.92**	12598.7**	49.90**	9659.1**	1025.8**	5280.9*	12470656.6**	93147820.6**	975.8**	0.1^{ns}	866294.2**
میکوریزا (My) Mycorrhizae (My)	1	219.7**	45.05**	28433.5**	59.90**	13499.5**	21.5**	151889.6**	14988211.8**	61555339.0**	747.0**	26.7^{ns}	1242746.6**
C × M	3	3.1^{ns}	1.82**	444.1*	0.36*	59.7^{ns}	21.5**	97956.8**	89165.7*	236110.5^{ns}	31.9**	6.2^{ns}	15322.2^{ns}
C × My	3	3.6^{ns}	0.87*	8.3^{ns}	0.27^{ns}	10.2^{ns}	63.1**	40740.2**	66117.9*	106476.5^{ns}	12.4^{ns}	30.9^{ns}	7367.9^{ns}
M × My	1	48.2**	9.10**	8436.3**	10.47**	5009.2**	321.9**	39251.2**	2621286.7**	7098446.9**	9.2^{ns}	0.2^{ns}	208560.3**
C × M × My	3	1.3^{ns}	2.37**	300.3*	0.67**	52.0^{ns}	32.2**	57582.4**	169519.0**	259828.81.8^{ns}	29.4*	27.4^{ns}	38541.9**
خطا Error	30	1.4	0.24	100.0	0.11	43.2	0.6	4212.8	26202.4	311520.3	6.6	13.5	5808.3
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	13.4	7.13	15.8	13.04	25.2	2.2	14.3	13.0	12.9	9.7	14.5	23.5

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

*, ** and ns: Are significant at the 0.05 and 0.01 levels of probability and no significant, respectively.

جدول ۳- بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و عملکرد روغن در ارقام گلرنگ بهاره تحت تأثیر کود دامی و تلقیح با میکوریزا

Table 3- Study of yield, yield components and oil yield of spring safflower cultivars affected by manure and mycorrhizal inoculation

ارقام مورد مطالعه Experimental cultivars	تعداد شاخه جانبی در بوته No. of branch per plant	تعداد دانه در طبق No. of seed per head	تعداد دانه در بوته No. of seed per plant	وزن دانه در طبق (گرم) Seed weight per head (g)	وزن دانه در بوته (گرم) Seed weight per plant (g)	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	عملکرد گلبرگ (کیلوگرم در هکتار) Petal yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) Oil yield (kg.ha^{-1})
دارابDarab	8.51^{a*}	7.20^{a}	64.56^{a}	2.66^{a}	26.96^{a}	36.15^{b}	471.23^{ab}	1327.68^{a}	4451.6^{a}	28.12^{a}	24.43^{a}	346.41^{a}
اصفهانIsfahan	8.72^{a}	6.99^{a}	64.96^{a}	2.54^{a}	26.06^{a}	33.97^{c}	497.70^{a}	1269.59^{ab}	4273.4^{a}	26.69^{a}	23.67^{a}	307.13^{a}
اراکArak	8.29^{a}	6.68^{a}	59.36^{a}	2.15^{b}	23.24^{b}	33.35^{c}	406.05^{c}	1074.23^{b}	4029.7^{a}	23.50^{b}	27.00^{a}	307.83^{a}
IL-111	9.24^{a}	6.77^{a}	64.54^{a}	2.61^{a}	26.03^{a}	37.29^{a}	439.89^{bc}	1306.82^{a}	4496.0^{a}	27.23^{a}	26.16^{a}	335.73^{a}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

* Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability Level, using Duncan's multiple range test.

اثرات متقابل کود دامی × ارقام گلرنگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان‌دهنده اثرات معنی‌دار ($p\leq۰/۰۱$) اعمال کود دامی بر عملکرد و نیز برخی اجزای عملکرد (تعداد دانه در طبق و در بوته، وزن دانه در طبق و وزن هزار دانه) در ارقام گلرنگ بود (جدول ۲). بر اساس نتایج به دست آمده اعمال کود دامی نقش مؤثری در افزایش معنی‌دار تعداد دانه در طبق و در بوته، وزن دانه در طبق و در بوته و نیز وزن هزار دانه در ارقام این گیاه (داراب، اصفهان، اراک و IL-111) داشت (جدول ۴)؛ به طوری‌که در نتیجه کاربرد کود دامی، وزن دانه در بوته تا چهار برابر افزایش یافت (جدول ۴). در این ارتباط، پورموسوی و همکاران (Poor Mousavi et al., 2009) نیز گزارش کردند که کاربرد کود دامی با تحت تأثیر قرار دادن تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و نیز وزن هزار دانه منجر به افزایش عملکرد دانه در سویا شد. همچنین علاوه بر شاخص‌های ذکر شده عملکرد گلبرگ و نیز عملکرد دانه و شاخص برداشت در ارقام گلرنگ به طور معنی‌دار ($p\leq۰/۰۵$) تحت تأثیر اعمال کود دامی قرار گرفت. به طوری‌که در نتیجه اعمال کود دامی، عملکرد دانه در ارقام داراب، اصفهان، اراک و IL-111 تا بیش از دو برابر افزایش یافت (جدول ۴). نتایج حاصل از تحقیق کاتر و همکاران (Kawthar et al., 2010) نیز حاکی از نقش مؤثر اعمال کمپوست حاصل از کود دامی در افزایش عملکرد گلبرگ و نیز عملکرد دانه و روغن در گلرنگ بود. همان‌طور که پیش‌تر ذکر گردید، نقش مؤثر اعمال کود دامی در افزایش عملکرد گیاهان زراعی را می‌توان در ارتباط با افزایش مواد آلی، بهبود ساختار خاک و نیز افزایش ظرفیت نگهداری عناصر غذایی در خاک دانست (Khandan & Astaraei, 2005; Halajnia et al., 2007). از سویی با توجه به آن‌که انتخاب ارقام با کودپذیری بالا از جمله گزینش‌های اصلی در انتخاب یک رقم می‌باشد (Farsi & Bagheri, 2006)، افزایش عملکرد دانه ناشی از اعمال کود دامی در هر چهار رقم به ویژه ارقام اراک و اصفهان، می‌تواند نشان‌دهنده کودپذیری نسبتاً بالای این ارقام باشد. همچنین از نظر ترکیب تیماری نیز بیشترین عملکرد دانه در نتیجه کاربرد کود دامی در رقم اصفهان (۱۸۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار) مشاهده گردید که نشان‌دهنده واکنش‌پذیری نسبتاً بالای این رقم به اعمال کود دامی می‌باشد (جدول ۴).

اثرات متقابل تلقیح میکوریزایی × ارقام گلرنگ

همانند اثرات متقابل اعمال کود دامی × رقم، اعمال تلقیح میکوریزایی نیز نقش مثبتی در افزایش معنی‌دار ($p\leq۰/۰۵$) تعداد دانه در طبق و نیز وزن هزار دانه در ارقام گلرنگ داشت (جدول ۵).

همچنین عملکرد گلبرگ و عملکرد دانه ارقام گلرنگ نیز تحت تأثیر اعمال تلقیح میکوریزایی قرار گرفت (جدول ۵). میرزاخانی و همکاران (Mirza Khani et al., 2010) نیز گزارش کردند که تلقیح میکوریزایی نقش مؤثری در افزایش عملکرد دانه در گلرنگ رقم IL-111 داشت. با توجه به آن‌که شناخت اثر متقابل محیط × ژنوتیپ، نقش مؤثری در تعیین پایداری و برآورد عملکرد در ارقام گلرنگ دارد (Omidi et al., 2010)، واکنش‌پذیری و بهبود عملکرد ارقام گلرنگ در نتیجه اعمال کودهای آلی و زیستی می‌تواند نقش مؤثری در برنامه‌ریزی صحیح پیرامون مدیریت کودی هر یک از ارقام این گیاه ایفا کند.

اثرات متقابل اعمال کود دامی × تلقیح میکوریزایی

بر اساس نتایج جدول ۲، به جز شاخص برداشت و درصد روغن، سایر شاخص‌های مورد مطالعه ارقام گلرنگ در آزمایش تحت تأثیر اثرات متقابل اعمال کود دامی × تلقیح میکوریزایی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده، اعمال کود دامی به همراه تلقیح میکوریزایی، عملکرد گلبرگ در این گیاه را در مقایسه با تیمار شاهد (عدم اعمال کود دامی + عدم تلقیح میکوریزایی) تا ۲۴ درصد افزایش داد (جدول ۶). همچنین اعمال کود دامی به همراه تلقیح میکوریزایی منجر به افزایش چشمگیر عملکرد دانه در گلرنگ شد (جدول ۶). از سویی عملکرد دانه گلرنگ در تیمار اعمال کود دامی + تلقیح میکوریزایی به طور معنی‌دار بیش از تیمار های اعمال کود دامی + عدم تلقیح میکوریزایی و نیز عدم اعمال کود دامی + تلقیح میکوریزایی بود (جدول ۶). نتایج تحقیق اکبری و همکاران (Akbari et al., 2009) نیز نشان داد که در سیستم‌های تلفیقی شامل ترکیب کودهای آلی و زیستی، عملکرد دانه و اجزای عملکرد در آفتابگردان بیش از زمانی بود که این کودها به تنهایی استفاده شدند. در این ارتباط نقش مؤثر کودهای دامی بر فعالیت جمعیت قارچ‌های میکوریزا در خاک را می‌توان ناشی از اثرات مثبت این کود بر بهبود و پایداری ساختار خاک دانست (Safadoust et al., 2007).

جدول ٤- اثرات متقابل اعمال کود دامی و ارقام بهاره بر عملکرد، اجزای عملکرد و عملکرد روغن گلرنگ

Table 4- Interaction effects of manure and spring cultivars on yield, yield components and oil yield of safflower

کود دامی Manure	ارقام مورد مطالعه Experimental cultivars	تعداد شاخه جانبی در بوته No. of branch per plant	تعداد دانه در طبق No. of seed per head	تعداد دانه در بوته No. of seed per plant	وزن دانه در طبق (گرم) Seed weight per head (g)	وزن دانه در بوته (گرم) Seed weight per plant (g)	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	عملکرد گلبرگ (کیلوگرم در هکتار) Petal yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) Oil yield (kg.ha^{-1})
عدم اعمال No applying	داراب Darab	7.85^{a*}	6.57^{b}	51.94^{b}	1.77^{b}	14.16^{b}	30.92^{e}	607.39^{a}	883.59^{b}	3444.00^{a}	25.13^{b}	23.58^{a}	213.10^{a}
	اصفهان Isfahan	7.06^{a}	6.20^{bc}	44.72^{bc}	1.40^{b}	11.02^{b}	31.33^{e}	494.46^{bc}	701.71^{b}	3120.70^{a}	21.81^{c}	23.83^{a}	169.60^{a}
	اراک Arak	6.48^{a}	5.77^{c}	37.01^{c}	0.94^{c}	6.99^{b}	28.27^{ef}	394.04^{d}	475.44^{c}	2707.92^{a}	16.86^{d}	26.67^{a}	130.87^{a}
	IL-111	7.92^{a}	5.73^{bc}	54.98^{c}	1.76^{b}	15.37^{b}	31.75^{e}	360.93^{d}	878.75^{b}	3448.33^{a}	23.72^{bc}	27.00^{a}	246.15^{a}
اعمال Applying	داراب Darab	9.17^{a}	7.85^{a}	77.19^{a}	3.54^{a}	37.95^{a}	41.38^{b}	335.07^{d}	1771.76^{a}	5459.25^{a}	31.12^{a}	25.26^{a}	479.72^{a}
	اصفهان Isfahan	10.37^{a}	7.78^{a}	85.22^{a}	3.68^{a}	42.90^{a}	36.60^{d}	500.93^{b}	1837.48^{a}	5426.00^{a}	31.58^{a}	23.50^{a}	444.66^{a}
	اراک Arak	10.10^{a}	7.58^{a}	81.72^{a}	3.35^{a}	39.49^{a}	38.43^{c}	418.05^{cd}	1673.02^{a}	5351.50^{a}	30.14^{a}	27.33^{a}	484.78^{a}
	IL-111	10.57^{a}	6.80^{b}	74.12^{a}	3.47^{a}	40.68^{a}	42.83^{a}	518.86^{b}	1734.90^{a}	5543.67^{a}	30.75^{a}	25.31^{a}	425.31^{a}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند

* Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability Level, using Duncan's multiple range test.

جدول ۵- اثرات متقابل تلقیح میکوریزایی و ارقام بهاره بر عملکرد، اجزای عملکرد و عملکرد روغن گلرنگ

Table 5- Interaction effects of mycorrhizal inoculation and spring cultivars on yield, yield components and oil yield of safflower

میکوریزا Mycorrhizal	ارقام مورد مطالعه Experimental cultivars	تعداد شاخه جانبی در بوته No. of branch per plant	تعداد دانه در طبق No. of seed per head	تعداد دانه در بوته No. of seed per plant	وزن دانه در طبق (گرم) Seed weight per head (g)	وزن دانه در بوته (گرم) Seed weight per plant (g)	وزن هزار دانه (گرم) 1000- seed weight (g)	عملکرد گلبرگ (کیلوگرم در هکتار) Petal yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) Oil yield (kg.ha^{-1})
عدم تلقیح No inoculation	دارب Darab	6.63^{a*}	6.03^{d}	39.86^{a}	1.58^{a}	10.19^{a}	36.13^{c}	357.71^{dc}	787.14c	3164.17^{a}	24.67^{a}	21.83^{a}	171.42^{a}
	اصفهان Isfahan	7.08^{a}	5.82^{d}	41.87^{a}	1.21^{a}	9.08^{a}	30.07^{e}	459.22^{bc}	602.22cd	2880.58^{a}	21.34^{a}	22.50^{a}	134.15^{a}
	اراک Arak	5.68^{a}	6.07^{d}	34.56^{a}	1.15^{a}	7.07^{a}	33.08^{d}	315.64^{e}	575.64c	2581.25^{a}	20.49^{a}	23.83^{a}	135.97^{a}
	IL-111	6.80^{a}	5.85^{d}	39.80^{a}	1.56^{a}	10.86^{a}	38.80^{a}	457.29^{bc}	777.69c	3152.50^{a}	23.27^{a}	26.58^{a}	211.94^{a}
تلقیح Inoculation	دارب Darab	10.38^{a}	8.38^{a}	89.27^{a}	3.74^{a}	41.93^{a}	36.17^{c}	584.75^{a}	1868.22a	5739.08^{a}	31.58^{a}	27.02^{a}	521.41^{a}
	اصفهان Isfahan	10.35^{a}	8.17^{ab}	88.07^{a}	3.87^{a}	44.84^{a}	37.87^{b}	536.18^{ab}	1936.52a	5766.12^{a}	32.04^{a}	24.83^{a}	480.12^{a}
	اراک Arak	10.90^{a}	7.28^{c}	84.17^{a}	3.15^{a}	39.40^{a}	33.62^{d}	496.45^{bc}	1572.82b	5478.17^{a}	26.51^{a}	30.17^{a}	479.68^{a}
	IL-111	11.68^{a}	7.68^{bc}	89.30^{a}	3.67^{a}	45.19^{a}	35.78^{c}	422.50^{cd}	1835.95a	5839.50^{a}	31.20^{a}	25.73^{a}	459.51^{a}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند

* Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability Level, using Duncan's multiple range test.

جدول ٦ – اثرات متقابل کود دامی و تلقیح میکوریزایی بر عملکرد، اجزای عملکرد و عملکرد روغن گلرنگ

Table 6- Interaction effects of manure and mycorrhizal inoculation on yield, yield components and oil yield of safflower

کود دامی Manure	میکوریزا Mycorrhizae	تعداد شاخه جانبی در بوته No. of branch per plant	تعداد دانه در طبق No. of seed per head	وزن دانه		وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	عملکرد گلبرگ (کیلوگرم در هکتار) Petal yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) Oil yield (kg.ha^{-1})
				تعداد دانه در بوته No. of seed per plant	وزن دانه در طبق (گرم) Seed weight per head (g)	وزن دانه در بوته (گرم) Seed weight per plant (g)						
عدم اعمال No applying	عدم تلقیح No inoculation	6.19^{e*}	5.78^{e}	36.08^{e}	0.82^{c}	5.33^{c}	27.31^{d}	379.36^{c}	409.76^{c}	2171.75^{c}	18.37^{a}	23.58^{a}	94.94^{c}
	تلقیح Inoculation	8.47^{b}	6.85^{b}	58.24^{b}	2.12^{b}	18.43^{b}	33.83^{c}	549.05^{a}	1059.98^{b}	4188.73^{b}	25.38^{a}	26.96^{a}	284.92^{b}
اعمال Applying	عدم تلقیح No inoculation	6.91^{c}	6.10^{c}	41.96^{c}	1.92^{b}	13.27^{b}	41.73^{a}	415.57^{c}	961.80^{b}	3667.50^{b}	26.51^{a}	23.79^{a}	231.79^{b}
	تلقیح Inoculation	13.19^{a}	8.91^{a}	117.16^{a}	5.09^{a}	67.24^{a}	37.89^{b}	470.88^{ab}	2546.77^{a}	7222.71^{a}	35.28^{a}	26.92^{a}	685.44^{a}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند

* Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability Level, using Duncan's multiple range test.

همچنین فراهمی مواد آلی در خاک بـه عنـوان منبـع کـربن نیـز می‌تواند نقش مؤثری در افزایش فعالیت و تکثیر میکروارگانیسم‌هـای تلقـیح شـده در خـاک داشـته باشـد (Mohammadi Aria et al., 2010).

نتیجه‌گیری

اعمال کود دامی و نیز تلقیح میکوریزایی نقش مؤثری در افزایش عملکرد ارقام گلرنگ بهاره داشت. به عبـارتی دیگـر، نتـایج آزمـایش حاکی از کودپذیری بالای ارقام بهاره گلرنـگ در نتیجـه اعمـال کـود های آلی بود. به طور کلی در شرایط اجرای این آزمایش ارقام داراب و IL-111 در مقایسه با ارقـام اصـفهان و اراک از عملکـرد دانـه و نیـز روغن بالاتری در واحد سطح برخوردار بودند که می‌توان این ارقـام را جهت کشت در سطح وسیع توصیه نمود. با این وجـود جهـت توصـیه یک رقم به یک منطقه باید شرایط محیطی آن منطقه را مدنظر قـرار داد. به عبارتی در راستای برنامه‌های اصلاحی و نیـز ترویجـی جهـت توصیه یک رقم می‌بایست شرایط منطقه مورد نظر تا حد امکان مشابه شرایط محل اجرای آزمایش باشد.

سپاسگزاری

هزینه‌های اجرای این تحقیق توسط معاونـت پژوهشـی دانشـگاه فردوسـی مشـهد و دانشـکده کشـاورزی و از محـل بودجـه بـا کـد ۲/۱۷۳۹۰ تأمین شده است. لذا بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1- Akbari, P., Ghalavand, A., and Modarres Sanavi, S.A.M. 2009. Effects of different nutrition systems (organic, chemical and integrated) and biofertilizer on yield and other growth traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 19: 83-93. (In Persian with English Summary)
2- Alizadeh Oskouei, P., Asgharzadeh, N., Shariatmadari, H., Asgharzadeh, A., and Baghban Sirous, S. 2009. Effect of two species of va mycorrhiza on production of cadmium toxicity in tomato plant under different levels of phosphorus. Iranian Journal of Soil Research 23: 217-228. (In Persian with English Summary)
3- Azimzadeh, S.M. 2010. Evaluation of drought tolerance in 16 genotypes of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 8: 871-877. (In Persian with English Summary)
4- Behdani, M.A., and Jami-Al-Ahmadi, M. 2009. Evaluation of growth and yield of safflower cultivars in different planting dates. Iranian Journal of Field Crops Research 6: 245-254. (In Persian with English Summary)
5- Cardoso, I.M., and Kuyper, T.W. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. Agriculture, Ecosystem and Environment 116: 72-84.
6- Dordas, C.A., and Sioulas, C. 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rain fed conditions. Industrial Crops and Products 27: 75-85.
7- Dordas, C.A., and Sioulas, C. 2009. Dry matter and nitrogen accumulation, partitioning, and retranslocation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as affected by nitrogen fertilization. Field Crops Research 110: 35-43.
8- Farsi, M., and Bagheri, A. 2006. Principle of Plant Breeding. Jihade-e-Daneshghahi Mashhad Press, Mashhad, Iran 376 pp. (In Persian)
9- Guarda, G., Padovan, S., and Delogu, G. 2004. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. European Journal of Agronomy 21: 181-192.
10- Hajibolandi, R., Asgharizadeh, N., and Barzegar, R. 2007. Impacts of inoculation with two species of arbuscular mycorrhizae on rice (*Oryza sativa* L.) growth, phosphorus and potassium uptake and rhizosphere pH. Iranian Journal of Soil and Waters Sciences 21: 111-120. (In Persian with English Summary)
11- Hallajnia, A., Haghnia, G.H., Fotovat, A., and Khorasani, R. 2007. Effect of organic matter on phosphorus availability in calcareous soils. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 10: 121-133. (In Persian with English Summary)
12- Kawthar, A.E.R., Manaf, H.H., Hasna, A.H.G., and Shahat, I.M. 2010. Influence of compost and rock amendments on growth and active ingredients of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Australian Journal of Basic and Applied

Sciences 4: 1626-1631.
13- Khandan, A., and Astaraei, A.R. 2005. Effects of organic (municipal waste compost, manure) and fertilizers on some physical properties of soil. Desert 10: 361-368. (In Persian with English Summary)
14- Kizilkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. Ecological Engineering 33: 150-156.
15- Mando, A., Ouattara, B., Sédogo, M., Stroosnijder, L., Ouattara, K., Brussaard, L., and Vanlauwe, B. 2005. Long-term effect of tillage and manure application on soil organic fractions and crop performance under Sudano-Sahelian conditions. Soil and Tillage Research 80: 95-101.
16- Mirza Khani, M., Ardakani, M.H., Shirani Rad, A., and Rajali, F. 2010. Evaluation of seed twofold inoculation by fungi *Glomus Intraradices* Mycorrhiza and *Azotobacter chorococum* with various nitrogen and phosphorus levels use on oil yield and some of traits in safflower. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding 6: 75-87. (In Persian with English Summary)
17- Mohammadi Aria, M., Lakzian, A., Haghnia, G.H., Besharati, H., and Fotovat, A. 2010. The effect of *Thiobacillus* and Aspergillus on phosphorus availability of enriched rock phosphate with sulfur and vermicompost. Water and Soil 24: 1-7. (In Persian with English Summary)
18- Mostafavian, S.R., Pirdashti, H., Ramzanpour, M.R., Andarkhor, A.A., and Shahsavari, A. 2008. Effect of mycorrhizae, *Thiobacillus* and sulfur nutrition on the chemical composition of soybean (*Glycine max* L.) seed. Pakistan Journal of Biological Sciences 11: 826-835.
19- Omidi, A.H., Shahsavari, M.R., Motalebipour, S., and Mohammadi, A.A. 2010. Estimation of adaptability and stability of new spring safflower lines for seed and oil yields in different environmental conditions. Seed and Plant Improvement Journal 26: 351-366. (In Persian with English Summary)
20- Poor Mousavi, S.M., Galavi, M., Daneshiyan, J., Ghanbari, A., Basirani, N., and Jonoobi, P. 2009. Effect of animal manure application on quantitative and qualitative yield of soybean in drought stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 40: 133-145. (In Persian with English Summary)
21- Sabahi, H., Takafooyan, J., Mahdavi Damghani, A.M., and Liyaghati, H. 2010. Effects of integrated application of farmyard manure, plant growth promoting rhizobacteria and chemical fertilizers on production of canola (*Brassica napus* L.) in saline soil of Qum. Journal of Agroecology 2: 287-291. (In Persian with English Summary)
22- Safadoust, A., Mosadeghi, M.R., Mahboubi, A.A., Norouzi, A., and Asadian, G.H. 2007. Short-term tillage and manure influences on soil structural properties. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 11: 91-99. (In Persian with English Summary)
23- Shirani, H., Abolhasani Zeraatkar, M., Lakzian, A., and Akhgar, A. 2011. Decomposition rate of municipal wastes compost, vermi compost, manure and pistaco compost in different soil texture and salinity in laboratory condition. Water and Soil 25: 84-93. (In Persian with English Summary)
24- Shiranirad, A.H., and Nouralizadeh, A. 2000. Study on the effects of vesicular arbuscular mycorrhizae fungi, *Bradyrhizobium japonicum* and phosphorus on nutrient uptake efficiency in soybean. Seed and Plant 16: 172-191. (In Persian with English Summary)
25- Turk, M.A., Assaf, T.A., Hameed, K.M., and Al-Tawaha, A.M. 2006. Significance of mycorrhizae. World Journal of Agricultural Sciences 2: 16-20.

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 331-343

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۳۴۳-۳۳۱

Evaluation the effects of manure and mycorrhizal inoculation on grain and oil yield of spring safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.)

P. Rezvani Moghaddam[1]*, A. Norouzian[2] and S.M. Seyyedi[2]
Submitted: 06-05-2013
Accepted: 17-08-2013

Introduction

Considering the nutrient loss, environmental pollution and increase in production costs on account of chemical fertilizer application, supplying mineral nutrients based on organic sources and mycorrhizal inoculation can improve organic matter content in soil (Hallajnia et al., 2007), promote sustainable production of oil crops (Kawthar et al., 2010) and ultimately affect the long term performance of the agricultural ecosystems in arid and semi-arid regions. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) is an annual oil seed crop belonging to the Asteraceae family and its spring cultivars are mainly grown in semiarid regions, especially in Iran.

Hence, the current experiment was aimed to evaluate the effects of manure application and mycorrhizal inoculation on yield and yield components of spring safflower cultivars in Iran. In addition, quality yield in term of oil percentage was studied in response to experimental treatments.

Materials and methods

A field experiment was conducted at Agricultural Research Station of Ferdowsi University of Mashhad, Iran (latitude: 15° 36´ N, longitude: 28° 59´ E, altitude: 985 m), during growing season of 2009-2010, by using a completely randomized block design based on factorial fraction with three replications and sixteen treatments.

The experimental treatments included four spring safflower cultivars (Darab, Isfahan, Arak and IL-111), two manure levels (no applying and applying manure 25 $t.ha^{-1}$) and two mycorrhiza levels (no inoculation and inoculation with *Glomus mosseae*).

The experimental field was prepared according to the local practices for safflower production. Each plot was 6 m^2 (3 m long) and 1 m apart. Between blocks, 2 m alley was kept to eliminate all side effects of treatments.

Seed sowing was performed at 14th April in 2010. Final density was 50 $plants.m^{-2}$. The first irrigation was immediately done after seed sowing with weekly irrigation until physiological maturity stage (10 days before harvesting).

At fully blooming stage, plant were harvested in one square meter in each plot and fresh and dry petal yield were recorded. At maturity stage, five plants from each plot were chosen randomly and number of branch per plant, number of seeds per head, seed weight per plant and 1000-seed weight were recorded. Final grain and oil yields were measured by harvesting 1 m^2 of the central part of each plot.

For statistical analysis, analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test (DMRT) were performed using SAS ver. 9.1 software.

Results and discussion

Results indicated that applying manure significantly affected number of branch per plant, number of seed per head, seed weight per head and 1000- seed weight as well as petal, grain, biological and oil yields of safflower cultivars. For instance, the applying manure significantly increased grain and oil yields of safflower cultivars more than two times.

As mentioned before, organic fertilizers can improve the organic matter content, aggregates stability and nutrients availability in soil (Khandan & Astaraei, 2005; Halajnia et al., 2007), so application of manure fertilizer and gradual release of mineral nutrients into the soil would increase the growth, production and quality yield of spring safflower cultivars.

Based on the results, effects of mycorrhiza inoculation on increasing the number of seed per plant, 1000 seed weight, petal, grain, biological and oil yields of safflower were significant. The highest grain (2546 $kg.ha^{-1}$) and oil yields (685 $kg.ha^{-1}$) were obtained from manure + mycorrhiza inoculation treatment. However, manure + mycorrhiza inoculation treatment did not have any effect on oil percentage and harvest index. Effective role of

1 and 2- Professor and PhD Students of Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: rezvani@um.ac.ir)

mycorrhizal inoculation in increasing the grain yield of safflower has also been reported by (Mirza Khani et al., 2010).

Among safflower cultivars, Darab cultivar indicated the highest grain and oil yields (1327.7 and 346.4 $kg.ha^{-1}$, respectively). Based on our results, Darab and IL-111 cultivars had the most grain and oil yields, in comparison with Isfahan and Arak cultivars. However, no significant difference was observed between the spring safflower cultivars in term of number of seed per head and oil percentage.

Conclusion

Consequently, selecting the Darab cultivar and applying manure in combination with mycorrhizal inoculation is strongly recommended to achieve a reasonable and stable yield of safflower. However, the environmental conditions of the cultivated area should be specifically considered to select a spring safflower cultivar.

Keywords: Bio fertilizer, Harvest index, Oil yield, Organic fertilizer

References

Hallajnia, A., Haghnia, G.H., Fotovat, A., and Khorasani, R. 2007. Effect of organic matter on phosphorus availability in calcareous soils. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 10: 121-133. (In Persian with English Summary)

Kawthar, A.E.R., Manaf, H.H., Hasna, A.H.G., and Shahat, I.M. 2010. Influence of compost and rock amendments on growth and active ingredients of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Australian Journal of Basic and Applied Sciences 4: 1626-1631.

Mirza Khani, M., Ardakani, M.H., Shirani Rad, A., and Rajali, F. 2010. Evaluation of seed twofold inoculation by fungi *Glomus Intraradices* Mycorrhiza and *Azotobacter chorococum* with various nitrogen and phosphorus levels use on oil yield and some of traits in safflower. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding 6: 75-87. (In Persian with English Summary)

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۳۵۵-۳۴۴

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 344-355

ارزیابی شاخص‌های رقابت در کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum* L.) و نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) تحت تأثیر نیتروژن

طیبه مشهدی[1*]، علی نخ زری مقدم[2] و حسین صبوری[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۱٤
تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۰٤/۲۳

چکیده

به منظور بررسی شاخص‌های رقابت کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum* L.) و نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) تحت تأثیر نیتروژن، آزمایشی در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشگاه گنبد کاووس در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. عامل الگوی کاشت در چهار سطح شامل کشت خالص گندم (W)، کشت مخلوط دو ردیف گندم و یک ردیف نخود زراعی (W_2C_1)، کشت مخلوط یک ردیف گندم و دو ردیف نخود زراعی (W_1C_2) و کشت خالص نخود زراعی (C) و عامل نیتروژن در پنج سطح شامل صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بود. نتایج نشان داد که حداکثر عملکرد دانه و عملکرد معادل گندم به ترتیب از کشت خالص گندم و کشت خالص نخود زراعی به دست آمد. در تیمار کشت مخلوط دو ردیف گندم و یک ردیف نخود زراعی و یک ردیف گندم و دو ردیف نخود زراعی نسبت برابری زمین به ترتیب ۰/۸۷ و ۰/۷۱ بود که کم‌تر از کشت خالص دو گیاه بود. ضریب نسبی تراکم گندم در تیمار کشت مخلوط دو ردیف گندم و یک ردیف نخود زراعی و تیمار کشت مخلوط یک ردیف گندم و دو ردیف نخود زراعی به ترتیب ۱/۹۳ و ۱/۷۳ و نخود به ترتیب ۰/۱۵ و ۰/۱۷ بود. در هر دو کشت مخلوط، گندم غالب و نخود مغلوب بود. نسبت رقابتی در تیمار کشت مخلوط دو ردیف گندم و یک ردیف نخود زراعی بیش‌تر از یک ردیف گندم و دو ردیف نخود زراعی بود. کاهش عملکرد واقعی و سودمندی کشت مخلوط در گندم مثبت و در نخود زراعی منفی بود. کشت مخلوط گندم و نخود زراعی باعث کاهش عملکرد واقعی و سودمندی کشت مخلوط شد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد دانه، کشت مخلوط، غالبیت، نسبت برابری زمین، نسبت رقابتی

مقدمه

شیوه‌های رایج تولید در کشاورزی، تولید آینده را در ازای افزایش تولید فعلی به خطر انداخته است. بنابراین، علایم زوال و نابودی شرایط مورد نیاز برای تولید پایدار در گذر زمان بیش از پیش آشکار شده است (Nassiri Mahallati et al., 2001). کشت مخلوط عملیات رشد دو یا چند گیاه زراعی در کنار هم است که در کشورهای توسعه یافته طرفداران زیادی را به دلیل عملکرد بالایی که در یک نظام پایدار محیطی دارد به خود جلب کرده است (Park et al., 2002). گیل و همکاران (Gill et al., 2009) گزارش کردند که عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) در کشت مخلوط گندم و نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) به دلیل سیستم ریشه‌ای گسترده و قابلیت توانایی بالا در جذب مواد غذایی افزایش یافت. عملکرد نخود زراعی به خاطر اثر بازدارندگی غله و کاهش تعداد گره و تثبیت کم نیتروژن کاهش یافت. عملکرد نخود زراعی در کشت مخلوط با کتان (*Linum usitatissimum* L.) در شرایطی که کتان ۳۳ درصد فضا را به خود اختصاص داده بود به دلیل رقابت بین اجزای مخلوط و غالب بودن گیاه کتان، کاهش یافت (Ahlawat & Gangaiah, 2010). علی و همکاران (Ali et al., 2009) ملاحظه کردند که حداکثر عملکرد از کشت خالص گندم (با ۴۰۴۶ کیلوگرم در

۱، ۲ و ۳- به ترتیب کارشناس ارشد کشاورزی اکولوژیک، استادیار و دانشیار گروه تولیدات گیاهی دانشگاه گنبد کاووس
(*- نویسنده مسئول: Email: mashhadi_ta@yahoo.com)

هکتار) و حداقل آن از کشت مخلوط آن با خردل (*Barassica campestris* L.) با ۲۶۶۷ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. در بررسی بانیک و همکاران (Banik et al., 2006) کشت مخلوط گندم و نخود زراعی باعث کاهش عملکرد دانه شد.

نسبت برابری زمین نسبت میزان زمین لازم برای تک‌کشتی را در مقایسه با کشت مخلوط توصیف می‌کند. اگر مقدار نسبت برابری زمین بیش‌تر از یک باشد، کشت مخلوط به تک‌کشتی مزیت دارد. اگر میزان آن کم‌تر از یک باشد کشت خالص ترجیح داده می‌شود و اگر مساوی یک باشد کشت مخلوط با تک‌کشتی یکسان می‌باشد (Mazaheri, 1998). گونس و همکاران (Gunes et al., 2007) بیان داشتند که نسبت برابری زمین برای عملکرد دانه و بیولوژیک در کشت مخلوط نخود زراعی و جو (*Hordeum vulgare* L.) بیش از یک بود اما در بررسی جهانسوز و همکاران (Jahansooz et al., 2007) در کشت مخلوط گندم و لگوم کم‌تر از یک بود.

ضریب نسبی تراکم، غلبه نسبی یک گیاه بر گیاه دیگر را در کشت مخلوط نشان می‌دهد (De Wit, 1960). اگر ضریب نسبی تراکم بیش‌تر از یک باشد کشت مخلوط سودمند است. اگر کم‌تر از یک باشد کشت مخلوط سودمند نیست و اگر برابر یک باشد در کشت مخلوط حالت موازنه یا تعادل رقابت برقرار است و کشت مخلوط هیچ‌گونه مزیتی نسبت به کشت خالص ندارد (Dhima et al., 2007). اعظم خان (Azam Khan, 2002) ضریب نسبی تراکم کم‌تر از یک را از کشت مخلوط نخود زراعی و کلزا (*Brassica napus* L.) گزارش کرده است.

شاخص غالبیت، رابطه رقابتی بین دو گیاه در کشت مخلوط را تعیین می‌کند (Willy, 1979). اگر این ضریب برابر صفر باشد نشان می‌دهد که بین دو گونه هیچ نوع رقابتی وجود ندارد و به عبارت دیگر رقابت درون‌گونه‌ای با رقابت برون‌گونه‌ای برابر است. علامت‌های مثبت و منفی به ترتیب نشان‌دهنده غالب و مغلوب بودن گونه‌ها است (Mazaheri, 1998). وهلا و همکاران (Wahla et al., 2009) با بررسی کشت مخلوط جو با نخود زراعی و عدس (*Lens culinaris* L.)، غالبیت جو را در تمام تیمارهای کشت مخلوط گزارش کردند.

نسبت رقابتی، اندازه‌گیری بهتری از توانایی رقابتی گیاهان می‌دهد و شاخص مطلوب‌تری نسبت به ضریب نسبی تراکم و غالبیت است (Willy & Rao, 1980). اوال و همکاران (Awal et al., 2007) با بررسی کشت مخلوط جو و بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) دریافتند که جو رقیب قوی‌تری نسبت به بادام‌زمینی بود. توانایی رقابتی جو در تیمار کشت مخلوط یک ردیف جو و دو ردیف بادام‌زمینی حداکثر بود.

کاهش یا سودمندی عملکرد واقعی، شاخصی است که اطلاعات حقیقی بیش‌تری را در مورد رقابت بین اجزای مخلوط و عکس‌العمل هر یک از گیاهان در نظام کشت مخلوط نسبت به شاخص‌های دیگر می‌دهد. علامت مثبت و منفی به ترتیب نشان‌دهنده افزایش و کاهش عملکرد واقعی کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی می‌باشد (Banik, 1996). محمد و همکاران (Muhammad et al., 2008) کاهش عملکرد واقعی پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) و افزایش عملکرد واقعی بادام‌زمینی و سورگوم (*Sorghum vulgare* L.) را در کشت مخلوط گزارش کردند.

برای تعیین سودمندی کشت مخلوط، کاهش یا سودمندی عملکرد واقعی هر محصول در قیمت آن ضرب و سپس مجموع آن‌ها تعیین می‌گردد. اگر علامت این ضریب مثبت باشد کشت مخلوط سودمندی اقتصادی دارد و علامت منفی نشان‌دهنده کاهش سودمندی اقتصادی کشت مخلوط می‌باشد (Banik et al., 2000). سودمندی منفی در لگوم و مثبت در غله توسط یلماز و همکاران (Yilmaz et al., 2008) در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseulos vulgaris* L.) گزارش شده است.

برای تعیین عملکرد معادل کشت مخلوط بر مبنای یکی از گیاهان، عملکرد گیاه مورد نظر در حاصل تقسیم قیمت آن گیاه بر قیمت گیاه دیگر ضرب می‌گردد. بالاترین عملکرد معادل گندم (با ۳۹۴۳ کیلوگرم در هکتار) از کشت مخلوط گندم و نخود زراعی به فاصله کشت ۳۰ سانتی‌متر و دو مرتبه کنترل علف‌های هرز به دست آمد. در این تیمار، عملکرد گندم ۲۴۴۲ و عملکرد نخود زراعی ۸۸۷ کیلوگرم در هکتار بود. عملکرد کشت خالص گندم ۱۲۷۲ کیلوگرم کم‌تر از این تیمار بود (Banik, 1996).

با توجه به اطلاعات بسیار کم در زمینه کشت مخلوط در استان گلستان، این بررسی به منظور تعیین مناسب‌ترین تیمار کشت خالص یا مخلوط گندم و نخود زراعی از نظر عملکرد دانه و ارزیابی شاخص‌های رقابت در کشت مخلوط تحت تأثیر نیتروژن انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه آموزشی و تحقیقاتی دانشگاه گنبد کاووس واقع در طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۴۵ متر از سطح دریا

در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ اجرا شد. مشخصات خاک مزرعه در محدوده آزمایش در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات خاک مزرعه دانشگاه گنبد کاووس

Table 1- Soil characteristics of Gonbad Kavous university farm

بافت Texture -	نیتروژن (درصد) N (%)	فسفر (پی‌پی‌ام) P (ppm)	پتاسیم (پی‌پی‌ام) K (ppm)	اسیدیته pH -	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس برمتر) EC ($dS.m^{-1}$)	ماده آلی (درصد) Organic matter (%)
سیلتی رسی لوم Silt-clay-loam	0.11	6.8	23	7.9	0.86	1.07

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل الگوی کاشت در چهار سطح شامل کشت خالص گندم (W)، کشت مخلوط دو ردیف گندم و یک ردیف نخود زراعی (W_2C_1)، کشت مخلوط یک ردیف گندم و دو ردیف نخود زراعی (W_1C_2) و کشت خالص نخود زراعی (C) و عامل نیتروژن در پنج سطح شامل صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بود. در تیمار کشت مخلوط جایگزین یک ردیف نخود زراعی به جای گندم (W_2C_1) از هر سه ردیف گندم یک ردیف حذف و یک ردیف نخود زراعی اضافه شد و در کشت مخلوط جایگزین دو ردیف نخود زراعی به جای گندم (W_1C_2) از هر سه ردیف گندم دو ردیف حذف و دو ردیف نخود زراعی اضافه شد. زمین آزمایش در سال قبل زیر کشت عدس بود. کاشت در تاریخ ۲۸ آذر ماه انجام شد. در این بررسی از رقم کوهدشت گندم و رقم آزاد نخود زراعی زراعی استفاده شد. هر کرت شامل پنج خط با فاصله ردیف ۲۵ سانتی‌متر به طول پنج متر بود. فاصله تقریبی گندم دو سانتی‌متر و فاصله تقریبی نخود زراعی ده سانتی‌متر بود. در زمان کاشت ۱۲۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار مصرف گردید. کود نیتروژن خالص (با منشأ اوره ۴۶ درصد) به نسبت مساوی در سه مرحله کاشت، شروع ساقه رفتن و سنبله رفتن گندم با توجه به میزان تعیین شده در تیمارها مصرف شد. جهت کنترل علف‌های هرز سه مرتبه عملیات وجین با دست انجام شد. میزان بارندگی از آذر ماه ۱۳۸۸ لغایت خرداد ماه ۱۳۸۹ برابر ۳۴۶/۳ میلی‌متر بود لذا، کشت به صورت دیم انجام شد. پس از رسیدن دانه‌ها، برداشت گندم در اوایل خرداد و برداشت نخود زراعی در اواسط خرداد با حذف دو ردیف حاشیه و نیم متر از دو طرف سه ردیف وسط انجام شد.

برای ارزیابی شاخص‌های رقابت، ۰/۵ متر طولی از هر ردیف برداشت و از معادلات جدول ۲ برای ارزیابی شاخص‌های رقابت استفاده شد. جهت تعیین وزن خشک دانه، نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت در داخل خشک‌کن الکتریکی قرار داده شدند. در تیمارهای کشت مخلوط، نسبت برابری زمین گندم و نخود زراعی بر مبنای وزن دانه به طور مجزا محاسبه و سپس با هم جمع گردید (Agegnehu et al., 2006).

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه گندم: الگوی کاشت و نیتروژن اثر معنی‌داری (در سطح یک درصد) بر عملکرد دانه گندم داشت (جدول ۳).

بیش‌ترین عملکرد دانه گندم مربوط به تیمار کشت خالص گندم با ۵۳۵۹ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴). عملکرد گندم به دلیل کاهش نسبت گندم در تیمار کشت مخلوط یک ردیف گندم و دو ردیف نخود زراعی کاهش یافت. در این بررسی، رشد سریع گندم در اوایل رشد باعث جذب بهتر منابع از جمله نور شد که نتیجه آن برتری گندم و افزایش عملکرد آن بود.

جهانسوز و همکاران (Jahansooz et al., 2007) در کشت مخلوط گندم و نخود زراعی با نسبت یک: یک مشاهده کردند که عملکرد دانه گندم در کشت مخلوط ۷۲ درصد کشت خالص آن و عملکرد دانه نخود زراعی برابر با ۲۹ درصد کشت خالص آن بود. این کاهش عملکرد در نخود زراعی به دلیل گسترش کم کانوپی در اوایل فصل رشد و پایین بودن کارآیی استفاده از نور و آب توسط نخود

زراعی بود. با افزایش مصرف نیتروژن از صفر به ۷۵ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار، عملکرد دانه گندم افزایش یافت و این تیمار از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمارهای مصرف ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار نداشت (جدول ۴).

جدول ۲- شاخص‌های رقابت در کشت مخلوط

Table 2- Competition indices in intercropping

شاخص Index	معادله Equation
نسبت برابری زمین (Willy, 1979)	Land equivalent ratio (LER)=$(Y_{ab}/Y_{aa}) + (Y_{ba}/Y_{bb})$
ضریب نسبی تراکم (Banik et al., 2006)	Relative crowding coefficient (RCC) = $K_a \times K_b$
برای گیاه a	$RCC_a = (Y_{ab} \times Z_{ba}) / (Y_{aa} - Y_{ab})(Z_{ab})$
برای گیاه b	$RCC_b = (Y_{ba} \times Z_{ab}) / (Y_{bb} - Y_{ba})(Z_{ba})$
غالبیت برای گیاه a (Dhima et al., 2007)	Aggressivity$_a$ (A_a)= $(Y_{ab}/Y_{aa}\times Z_{ab}) - (Y_{ba}/Y_{bb}\times Z_{ba})$
غالبیت برای گیاه b	Aggressivity$_b$ (A_b)= $(Y_{ba}/Y_{bb}\times Z_{ba}) - (Y_{ab}/Y_{aa}\times Z_{ab})$
نسبت رقابتی a (Willy & Rao, 1980)	Competitive Ratio$_a$ (CR_a) = $(LER_a/LER_b)\times(Z_{ba}/Z_{ab})$
نسبت رقابتی b	Competitive Ratio$_b$ (CR_b) = $(LER_b/LER_a)\ (Z_{ab}/Z_{ba})$
کاهش عملکرد واقعی (Banik et al., 2000)	Actual yield loss (AYL) = $AYL_a + AYL_b$
برای گیاه a	$AYL_a = ((Y_{ab} / Z_{ab}) / (Y_{aa} / Z_{aa})) - 1$
برای گیاه b	$AYL_b = ((Y_{ba} / Z_{ba}) / (Y_{bb} / Z_{bb})) - 1$
سودمندی کشت مخلوط (Banik et al., 2000)	Intercropping advantage (IA) = $IA_a + IA_b$
برای گیاه a	$IA_a = AYL_a \times P_a$
برای گیاه b	$IA_b = AYL_b \times P_b$
عملکرد معادل گیاه b (Banik, 1996)	Equivalent yield$_a$ (EY_a) = $Y_b + Y_{aa} \times (P_a / P_b)$
عملکرد معادل گیاه a	Equivalent yield$_b$ (EY_a) = $Y_a + Y_{bb} \times (P_b / P_a)$

Y_{ab}: عملکرد گیاه a در کشت مخلوط
Y_{ab}: Yield of plant a in intercropping
Y_{bb}: عملکرد گیاه b در کشت خالص
Y_{bb}: Yield of plant b in sole cropping
Z_{ab}: نسبت گیاه a در کشت مخلوط
Z_{ab}: Rate of plant a in intercropping
P_b: قیمت محصول گیاه b
P_b: Price of plant b

Y_{aa}: عملکرد گیاه a در کشت خالص
Y_{aa}: Yield of plant a in sole cropping
Z_{aa}: نسبت گیاه a در کشت خالص
Z_{aa}: Rate of plant a in sole cropping
Z_{ba}: نسبت گیاه b در کشت مخلوط
Z_{ba}: Rate of plant b in intercropping

Y_{ba}: عملکرد گیاه b در کشت مخلوط
Y_{ba}: Yield of plant b in intercropping
Z_{bb}: نسبت گیاه b در کشت خالص
Z_{bb}: Rate of plant b in sole cropping
P_a: قیمت محصول گیاه a
P_a: Price of plant a

کم‌ترین عملکرد گندم با ۳۲۶۸ کیلوگرم در هکتار به تیمار عدم مصرف کود نیتروژن تعلق داشت. علت آن را می‌توان به افزایش رشد و نمو، فتوسنتز و انتقال بیش‌تر مواد فتوسنتزی به دانه مربوط دانست. لوپزبلیدو و لوپزبلیدو (Lopez-Bellido & Lopez-Bellido, 2001) گزارش کردند که مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در مقایسه با ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش عملکرد دانه گندم گردید.

عملکرد دانه نخود زراعی: بر اساس نتایج جدول ۲ مشخص گردید که عملکرد دانه نخود زراعی تحت تأثیر الگوی کاشت و نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت. با توجه به جدول ۵، حداکثر عملکرد دانه نخود زراعی به تیمار کشت خالص نخود زراعی با مصرف ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تعلق داشت که این تیمار اختلاف معنی‌داری با تیمار کشت خالص نخود زراعی با مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نداشت. حداقل آن به تیمار کشت مخلوط دو ردیف گندم و یک ردیف نخود زراعی با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تعلق داشت که اختلاف معنی‌داری با تیمار کشت مخلوط دو

ردیف گندم و یک ردیف نخود زراعی با کاربرد صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نداشت.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه گندم، عملکرد دانه نخود زراعی و عملکرد معادل گندم تحت تأثیر الگوی کاشت و مصرف نیتروژن

Table 3- Analysis of variance (mean square) of planting pattern and nitrogen on wheat yield, chickpea yield and wheat equivalent yield

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد دانه گندم Grain yield of wheat	عملکرد دانه نخود زراعی Seed yield of Chickpea	عملکرد معادل گندم yield of Equivalent wheat
تکرار Replication	2	21146	22160	139076
الگوی کاشت (P) Planting pattern (P)	3	31576437**	13763635**	13544162**
نیتروژن (N) Nitrogen (N)	4	1930508**	26640**	2837484**
الگوی کاشت × نیتروژن P × N	8	197985ns	94885**	1183492**
خطا Error	28	133265	18103	241380
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	9.04	15.50	8.91

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

ns, * and **: Non significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول٤- مقایسه میانگین عملکرد دانه گندم تحت تأثیر الگوی کاشت و نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)

Table 4- Effect of planting pattern and nitrogen on wheat yield (kg.ha^{-1})

الگوی کاشت Planting pattern	عملکرد گندم Wheat yield	نیتروژن Nitrogen	عملکرد گندم Wheat yield
W*	5359a	0	3268c
W_2C_1	4258b	25	3954b
W_1C_2	2483c	50	4195ab
–	-	75	4430a
–	-	100	4320a
LSD 5%	273	-	352

W*: کشت خالص گندم W_1C_2: کشت مخلوط یک ردیف گندم و دو ردیف نخود زراعی

W_2C_1: کشت مخلوط دو ردیف گندم و یک ردیف نخود زراعی

W*: Sole cropping wheat W_2C_1: Two rows of wheat with one row of chickpea

W_1C_2: One row of wheat with two rows of chickpea

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

Different alphabet indicate significant difference at p≤0.05 based on LSD.

کاهش عملکرد دانه نخود زراعی در تیمارهای کشت مخلوط به احتمال زیاد به دلیل رقابت شدید گندم با نخود زراعی و همچنین استفاده از منابع غذایی در اول فصل رشد توسط گندم است. گیل و همکاران (Gill et al., 2009) کاهش عملکرد نخود زراعی در کشت مخلوط ۵۰ درصد گندم و ۵۰ درصد نخود زراعی را به خاطر اثر بازدارندگی غله و کاهش تعداد گره و تثبیت کم نیتروژن ذکر کردند.

عملکرد معادل گندم: براساس نتایج جدول ۶، حداکثر عملکرد معادل گندم با ۶۴۷۲ کیلوگرم به تیمار کشت خالص نخود زراعی با کاربرد ۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تعلق داشت که با تیمارهای کشت خالص نخود زراعی با کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و

کشت خالص گندم با مصرف ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت. تیمار کشت مخلوط دو ردیف نخود زراعی و یک ردیف گندم با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۳۴۴۲ کیلوگرم، حداقل عملکرد معادل گندم را داشت که با تیمارهای کشت خالص نخود با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، کشت مخلوط دو ردیف گندم و یک ردیف نخود با عدم کاربرد کود نیتروژن و کشت مخلوط یک ردیف گندم و دو ردیف نخود زراعی با مصرف صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار اختلاف معنی‌داری نشان نداد. با وجودی که قیمت نخود زراعی بیش از گندم بود اما کاهش زیاد عملکرد نخود زراعی در تیمارهای کشت مخلوط باعث کاهش عملکرد معادل در این تیمارها گردید.

نسبت برابری زمین: نسبت برابری زمین بر اساس وزن دانه در تیمار کشت مخلوط دو ردیف گندم و یک ردیف نخود زراعی برابر ۰/۸۷ و در تیمار کشت مخلوط یک ردیف گندم و دو ردیف نخود زراعی برابر ۰/۷۱ بود (جدول ۷).

جدول ۵- اثر متقابل الگوی کاشت × نیتروژن بر عملکرد دانه نخود زراعی (کیلوگرم در هکتار)

Table 5- Interaction of planting pattern×nitrogen on chickpea yield (kg.ha^{-1})

الگوی کاشت Planting pattern \ نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen (kg.ha^{-1})	0	25	50	75	100
C	1483^{c}	1810^{b}	2212^{a}	2424^{a}	1821^{b}
W_1C_2	539.8^{de}	619.1^{d}	555^{d}	451.1^{de}	317.2^{ef}
W_2C_1	156.7^{fg}	193.6^{fg}	153.1^{fg}	119.2^{fg}	90.51^{g}
LSD 5%			225		

C: نخود زراعی خالص W_2C_1: دو ردیف گندم و یک ردیف نخود زراعی W_1C_2: یک ردیف گندم و دو ردیف نخود زراعی

C: Sole cropping of chickpea W_1C_2: One row of wheat with two rows of chickpea

W_2C_1: Two rows of wheat with one row of chickpea

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

Different alphabet indicate significant difference at p≤0.05 based on LSD.

جدول ٦- اثر متقابل الگوی کاشت × نیتروژن بر عملکرد معادل گندم (کیلوگرم در هکتار)

Table 6- Interaction of planting pattern×nitrogen on wheat equivalent yield (kg.ha^{-1})

الگوی کاشت Planting pattern \ نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen (kg.ha^{-1})	0	25	50	75	100
W	4308^{efgh}	5233^{bcd}	5810^{ab}	5819^{ab}	5624^{bc}
W_2C_1	3781^{hi}	4695^{def}	4642^{defg}	5093^{cd}	4984^{cde}
W_1C_2	3575^{hi}	4104^{fghi}	4024^{fghi}	3901^{hi}	3442^{i}
C	4862de	6472^{a}	5906^{ab}	4833de	3960^{ghi}
LSD 5%			716		

C: نخود زراعی خالص $W2C_1$: دو ردیف گندم و یک ردیف نخود زراعی W_1C_2: یک ردیف گندم و دو ردیف نخود زراعی W: گندم خالص

C: Sole cropping chickpea W_1C_2: One row of wheat with two rows of chickpea

W_2C_1: Two rows of wheat with one row of chickpea W: Sole cropping wheat

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

Different alphabet indicate significant difference at p≤0.05 based on LSD.

حداکثر نسبت برابری زمین گندم متعلق به تیمار کشت مخلوط دو ردیف گندم و یک ردیف نخود زراعی با ۰/۷۹ و حداکثر نسبت برابری زمین نخود زراعی با ۰/۲۵ متعلق به تیمار کشت مخلوط یک ردیف گندم و دو ردیف نخود زراعی بود که بسیار کمتر از حد مورد انتظار بود. کاهش نسبت برابری زمین در تیمارهای کشت مخلوط ناشی از تولید نسبتاً پایین نخود زراعی به دلیل سایه‌اندازی گندم بر آن و نامطلوب بودن شرایط برای رشد این گیاه بود. با وجودی که نسبت برابری زمین گندم بیش از حد انتظار بود اما نسبت برابری زمین نخود زراعی بسیار پایین و باعث کاهش این شاخص به کمتر از یک شد. بنابراین، کشت مخلوط نسبت به کشت خالص سودمند نبود. در بررسی بانیک (Banik,1996) نیز نسبت برابری زمین کشت مخلوط گندم و لگوم تحت سری‌های جایگزین ردیفی دو به یک و یک به یک کمتر از یک بود.

ضریب نسبی تراکم: اثر الگوی کاشت بر ضریب نسبی تراکم (جدول ۷) نشان داد که ضریب نسبی تراکم گندم در تیمار کشت مخلوط دو ردیف گندم و یک ردیف نخود زراعی و همچنین یک ردیف گندم و دو ردیف نخود زراعی به ترتیب با ۱/۹۳ و ۱/۷۳ بیش از نخود زراعی به ترتیب با ۰/۱۵ و ۰/۱۷ بود. ضریب نسبی تراکم کل کمتر از یک بود که نشان‌دهنده عدم مزیت کشت مخلوط بر کشت خالص بود. چنین نتیجه‌ای توسط اعظم خان (Azam Khan, 2002) نیز در کشت مخلوط نخود زراعی و کلزا گزارش شده است.

شاخص غالبیت: نتایج حاصل از محاسبه شاخص چیرگی (غالبیت) گندم و نخود زراعی نشان داد که در تیمار کشت مخلوط دو ردیف گندم و یک ردیف نخود زراعی و یک ردیف گندم و دو ردیف نخود زراعی، گیاه گندم غالب و گیاه نخود زراعی مغلوب بود. در نتیجه علامت چیرگی گندم مثبت و نخود منفی شد (جدول ۸). رشد زیاد و سایه‌اندازی گندم بر نخود و در نتیجه رشد بهتر گندم نسبت به نخود باعث غالبیت آن نسبت به نخود گردید. در بررسی بانیک (Banik et al., 2006) نیز گندم گیاه غالب و نخود گیاه مغلوب بود. وهلا و همکاران (Wahla et al., 2009) غالبیت جو را در تمام تیمارهای کشت مخلوط با نخود و عدس در سطوح مختلف کودی گزارش کردند.

جدول ۷- اثر الگوی کاشت مخلوط بر نسبت برابری زمین و ضریب نسبی تراکم گندم، نخود زراعی و کل

Table 7- Effect of planting pattern on wheat, chickpea and total land equivalent ratio and relative crowding coefficient

الگوی کاشت Planting pattern	نسبت برابری زمین (LER) Land equivalent ratio			ضریب نسبی تراکم (K) Relative crowding coefficient		
	گندم Wheat	نخود زراعی Chickpea	کل Total	گندم Wheat	نخود زراعی Chickpea	کل Total
W_2C_1	0.79	0.08	0.87	1.93	0.15	0.30
W_1C_2	0.46	0.25	0.71	1.73	0.17	0.29

W_2C_1: کشت مخلوط دو ردیف گندم و یک ردیف نخود زراعی W_1C_2: کشت مخلوط یک ردیف گندم و دو ردیف نخود زراعی

W_2C_1: Two rows of wheat with one row of chickpea W_1C_2: One row of wheat with two rows of chickpea

جدول ۸- اثر الگوی کاشت بر شاخص غالبیت، نسبت رقابتی، کاهش عملکرد واقعی و سودمندی کشت مخلوط گندم و نخود

Table 8- Effect of planting pattern on wheat and chickpea aggressivity, competitive ratio, actual yield loss and intercropping advantage

الگوی کاشت planting pattern	شاخص غالبیت (A) Aggressivity (A)		نسبت رقابتی (CR) Competitive ratio (CR)		کاهش عملکرد واقعی (AYL) Actual yield loss (AYL)			سودمندی کشت مخلوط (IA) Intercropping advantage (IA)		
	گندم Wheat	نخود زراعی Chickpea	گندم Wheat	نخود زراعی Chickpea	گندم Wheat	نخود زراعی Chickpea	کل Total	گندم Wheat	نخود زراعی Chickpea	کل Total
$W_2C_1^*$	0.97	-0.97	5.43	0.18	0.19	-0.78	-0 .59	64.7	-702.4	-637.7
W_1C_2	1.01	-1.01	3.64	0.27	0.39	-0.62	-0 .23	131.5	-556.2	-424.7

$W_2C_1^*$: کشت مخلوط دو ردیف گندم و یک ردیف نخود زراعی W_1C_2: کشت مخلوط یک ردیف گندم و دو ردیف نخود زراعی

$W_2C_1^*$: Two rows of wheat with one row of chickpea W_1C_2: One row of wheat with two rows of chickpea

نسبت رقابتی: بررسی نسبت رقابتی گندم و نخود زراعی بیان‌گر توانایی رقابتی بیشتر گندم نسبت به نخود زراعی می‌باشد. در واقع ارتفاع بیشتر گندم و همچنین اشغال فضای بیشتر عرضی منجر به رشد ضعیف نخود زراعی و در نتیجه مغلوب شدن آن شد. این نسبت در تیمار کشت مخلوط دو ردیف گندم و یک ردیف نخود زراعی بیشتر از یک ردیف گندم و دو ردیف نخود زراعی بود (جدول ۸). بانیک و همکاران (Banik et al., 2006) نیز در بررسی خود به این نتیجه رسیدند که گندم توانایی رقابت بالاتری نسبت به نخود زراعی در کشت مخلوط دارد. در بررسی اوال (Awal et al., 2007) جو رقیب قوی‌تری نسبت به بادام زمینی برای استفاده از منابع در کشت مخلوط بود. بیش‌ترین توانایی رقابتی جو مربوط به کشت مخلوط یک ردیف جو و دو ردیف بادام‌زمینی با ۱/۱۸ بود.

کاهش عملکرد واقعی: در تیمارهای کشت مخلوط، این شاخص در گندم مثبت (افزایش عملکرد نسبت به فضای اشغال شده) و در نخود زراعی منفی (کاهش عملکرد نسبت به فضای اشغال شده) بود (جدول ۸). با افزایش نسبت نخود زراعی، این شاخص در گندم افزایش بیشتری یافت بنابراین، عملکرد گندم نه تنها کاهش، بلکه افزایش بیش‌تری نسبت به فضای اشغال شده یافت. بیش‌ترین کاهش عملکرد واقعی کل با ۰/۵۹- مربوط به تیمار کشت مخلوط دو ردیف گندم و یک ردیف نخود زراعی بود که ناشی از اثرات منفی رقابت بین‌گونه‌ای بود. با توجه به این‌که کاهش عملکرد واقعی اطلاعات حقیقی بیش‌تری را در مورد رقابت بین اجزای مخلوط و عکس‌العمل هر یک از گیاهان در نظام کشت مخلوط نسبت به شاخص‌های دیگر می‌دهد (Banik, 1996)، با اطمینان می‌توان گفت که در این بررسی گندم گیاه غالب و نخود زراعی گیاه مغلوب بود. در بررسی محمد و همکاران (Muhammad et al., 2008) کشت مخلوط پنبه با بادام‌زمینی و سورگوم منجر به کاهش عملکرد واقعی پنبه و افزایش عملکرد واقعی بادام‌زمینی و سورگوم گردید. اثرات منفی رقابت بین‌گونه‌ای روی پنبه باعث کاهش عملکرد واقعی آن شد. کاهش عملکرد واقعی پنبه در مخلوط با سورگوم به علت سایه‌اندازی زود هنگام آن در اوایل فصل بر پنبه بود.

سودمندی کشت مخلوط: با بررسی این شاخص مشاهده گردید که کشت مخلوط گندم و نخود زراعی باعث کاهش سودمندی کل با وجود افزایش سودمندی اقتصادی گندم گردید. علت این امر، کاهش زیاد سودمندی نخود زراعی به دلیل عملکرد بسیار پایین آن و عدم جبران توسط گندم بود (جدول ۸). بیش‌ترین سودمندی اقتصادی گندم و نخود زراعی به ترتیب به تیمارهای کشت مخلوط یک ردیف گندم و دو ردیف نخود زراعی با ۱۳۱/۵ و ۵۵۶/۲- تعلق داشت. در بررسی یلماز و همکاران (Yilmaz et al., 2008) در کشت مخلوط ذرت و لوبیا و در بررسی دهیما (Dhima et al., 2007) در کشت مخلوط یولاف (*Avena sativa* L.) و جو با ماشک (*Vicia sativa* L.) نیز این شاخص در لگوم منفی و در غله مثبت بود.

نتیجه‌گیری

کشت خالص گندم با مصرف ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار عملکرد مطلوبی نسبت به سایر تیمارها تولید کرد. حداکثر عملکرد نخود زراعی و عملکرد معادل گندم مربوط به تیمار کشت خالص نخود زراعی بود. بررسی شاخص‌های رقابت نشان داد که گندم گیاه غالب و نخود زراعی گیاه مغلوب بود. کشت مخلوط گندم و نخود زراعی باعث کاهش عملکرد واقعی و سودمندی کشت مخلوط شد.

منابع

1- Agegnehu, G., Ghizaw, A., and Sinebo, W. 2006. Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. European Journal of Agronomy 2: 202-207.

2- Ahlawat, I.P.S., and Gangaiah, B. 2010. Effect of land configuration and irrigation on sole linseed (*Linum usitatissimum*) intercropped chickpea (*Cicer arietinum*). Indian Journal of Agricultural Science 80: 250-253.

3- Ali, M.A., Wahla, A.J., and Rehman, Z.U. 2009. Economics of wheat intercropping with major and minor crop under rainfed conditions. Journal of Agricultural Research 47: 375-380.

4- Awal, M.A., Pramanik, M.H.R., and Hossen, M.A. 2007. Interspecies competition, growth and yield in barley-peanut intercropping. Asian Journal of Plant Science 6: 577-584.

5- Azam Khan, M. 2002. Production efficiency of chickpea (*cicer arietinum*) as affected by inoculation phosphorus levels and intercropping. MSc thesis, Pakistan, Faisalabad university 110 pp.
6- Banik, P. 1996. Evaluation of wheat *(Triticum aestivum)* and legume intercropping under 1:1 and 2:1 row replacement series system. Journal of Agronomy and Crop Science 176: 289-294.
7- Banik, P., Sasmal, T., Ghosal, P.K., and Bagchi, D.K. 2000. Evalution of mustard (*Brassica campestris* var. toria*)* and legume in 1:1 and 2:1 replacement series system. Journal of Agronomy and Crop Science 185: 9-14.
8- Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S.S. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. European Journal of Agronomy 24: 325-332.
9- Connolly, J., Goma, H.C., and Rahim, K. 2001. The information content of indicators in intercropping research. Journal Agriculture, Ecosystem and Environment 87: 191-207.
10- De Wit, C.T. 1960. On competition. Verslag Land Bouwkundige Onderzoek 1: 28-66.
11- Dhima, K.V., Lithourgidis, A.S., and Vasilakoglou, I.B. 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. Field Crop Research 100: 249-256.
12- Gao, Y., Duan, A., Sun, J., Li, F., Liu, Z., and Liu, H. 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. Field Crops Research 111: 65-73.
13- Gill, S., Abid, M., and Azam, F. 2009. Mixed cropping effects on growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) and chickpea (*cicer arietinum* L.). Pakistan Journal of Botany 41: 1029-1036.
14- Gunes, A., Bagci, E.G., and Inal, A. 2007. Inter specific facilitative root interactions and rhizosphere effects on phosphorus and Iron nutritiaon between mixed grown chickpea and barley. Journal of Plant Nutrition 30: 1455-1469.
15- Hauggaard-Nielsen, H., and Jensen, E.S. 2001. Evaluating pea and barley cultivars for complementarily in intercropping at different levels of soil N availability. Field Crops Research 72: 185-196.
16- Jahansooz, M.R., Yunusa, I.A.M., Coventry, D.R., Palmer, A.R., and Eamus, D. 2007. Radiation and water-use associated with growth and yields of wheat and chickpea in sole and mixed crops. European Journal of Agronomy 26: 275-282.
17- Li, L., Zhang, F.S., Li, X.L., Christie, P., Sun, J.H., Yang, S.C., and Tang, C. 2003. Inter specific facilitation of nutrient uptake by intercropped maize and faba bean. Nutrient Cycling in Agroecosystems 68: 61-71.
18- Lopez-Bellido, R.J., and Lopez-Bellido, L. 2001. Effeciency of nitrogen in wheat under Mediterranean condition effect of tillage, crop rotation and N fertilization. Field Crops Research 71: 31-46.
19- Mazaheri, D. 1998. Intercropping. Tehran University Press 262 pp. (In Persian)
20- Mpairwe, D.R., Sabiiti, E.N., Ummuna, N.N., Tegegne, A., and Osuji, P. 2002. Effect of intercropping cereal crops with forage legumes and source of nutrients on cereal grain yield and fodder dry matter yields. African Crop Science Journal 10: 81-97.
21- Muhammad, A., Umer, E.M., and Karim, A. 2008. Yield and competition indices of intercropping cotton 329 (*Gossypium hirsutum* L.) using different planting patterns. Tarim Bilimleri Dergisi 14: 326-333.
22- Park, S.E., Benjamin, L.R., and Watkinson, A.R. 2002. Comparing biological productivity in cropping systems: A Competition Approach**.** Journal of Applied Ecology 39: 416-426.
23- Rezvani Moghaddam, P., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Beheshti, A. 2003. Agroecology. Mashhad University Press, Mashhad, Iran 460 pp. (In Persian)
24- Silwana, T., and Lucas, E.O. 2002. The effect of planting combinations and weeding on the growth and yield of component crops of maize/bean and maize/pumpkin intercrops. Journal of Agricultural Science 138: 193-200.
25- Thakur, N.S. 2003. Identification in chickpea (*Cicer arietinum* L.) based intercropping system under irrigated condition of Satpura Plateau. Crop Research and Research on Crops 4: 310-312.
26- Thomas, A., Thenua, O.V.S., and Shivakumar, B.G. 2010. Impact of levels of irrigation and fertility gradients on dry matter production, nutrient uptake and yield on chickpea (*Cicer arietinum*) intercropping system. Legume Research: An International Journal 33: 0250-5371.
27- Wahla, I.H., Ahmad, R., Ehsanullah Ahmad, A., and Jabbar, A. 2009. Competitive functions of components crops in some barley based intercropping systems. International Journal of Agriculture and Biology 11: 69-72.
28- Willey, R.M. 1979. Intercropping, its importance and research needs, competition and yield advantages. Journal of Field Crop Abstracts 32: 1-10.

29- Willey, R.W., and Rao, M.R. 1980. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. Experimental Agriculture 16: 105-117.
30- Yilmaz, S., Atak, M., and Erayman, M. 2008. Identification of advantages of maize-legume intercropping over solitary cropping through competition indices in the East Mediterranean region. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 32: 111-119.

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 344-355

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۳۵۵-۳۴۴

Investigation of competition indices in intercropping of wheat (*Triticum aestivum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) under nitrogen consumption

T. Mashhadi[1*], A. Nakhzari Moghaddam[2] and H. Sabouri[2]

Submitted: 06-10-2013
Accepted: 14-07-2015

Introduction

The practice of growing two or more crops simultaneously in the same field is called intercropping and it is a common feature in traditional farming of small landholders. It provides farmers with a variety of returns from land and labour, often increases the efficiency with which scarce resources are used and reduces the failure risk of a single crop that is susceptible to environmental and economic fluctuation. The most common advantage of intercropping is the production of greater yield on a given piece of land by making more efficient use of the available growth resources using a mixture of crops of different rooting ability, canopy structure, height, and nutrient requirements based on the complementary utilization of growth resources by the component crops. Moreover, intercropping improves soil fertility through biological nitrogen fixation with the use of legumes, increases soil conservation through greater ground cover than sole cropping, and provides better lodging resistance for crops susceptible to lodging than when grown in monoculture. Careful planning is required when selecting the component crops of a mixture, taking into account the environmental conditions of an area and the available crops or varieties. A number of indices such as land equivalent ratio (LER), relative crowding coefficient (RCC), aggressivity (A), competitive ratio (CR), actual yield loss (AYL), and intercropping advantage (IA) have been proposed to describe competition within, economic advantages and equivalent yield of intercropping systems (Agegnehu et al., 2006; Banik et al., 2006; Dhima et al., 2007). The objective of this study was to determine the best treatment of sole or intercropping of wheat and chickpea and evaluation of competition indices in intercropping under nitrogen consumption.

Materials and methods

In order to investigate the competition indices of intercropping of wheat and chickpea under nitrogen effect, an experiment was arranged as factorial based on Randomized Complete Block Design with three replications during 2009-2010 in Gonbad Kavous University farm. Planting patterns factor included four levels of sole cropping of wheat (W), two rows of wheat with one row of chickpea (W_2C_1), one row of wheat with two rows of chickpea (W_1C_2) and sole cropping of chickpea (C) and nitrogen application consisted of four levels of 0, 25, 50, 75 and 100 kg_N ha^{-1}. Each plot had 5 rows and the rows distance was kept 25 cm in all the treatments. Sowing date was 19th December 2009 and plants harvested at 25th May 2010. Eventually, seed yield and indices of land equivalent ratio, relative crowding coefficient, aggressivity, competitive ratio, actual yield loss, intercropping advantage and barley equivalent yield were computed. Analysis of variance was performed using SAS Software (Ver. 9.1.3) and treatment mean differences were separated by the least significant difference (LSD) test at the 0.05 probability level.

Results and discussion

The results showed that the highest grain yield and wheat equivalent yield was obtained from sole cropping of wheat. In the intercropping of two rows of wheat with one row of chickpea and one row of wheat with two rows of chickpea land equivalent ratio was 0.87 and 0.71 ,respectively, that was less than sole cropping of wheat and chickpea. This means that intercropping requires 13% to 29% more land than the sole crop to produce equal yieldswhich indicating greater land-use efficiency of sole crops than intercrops. relative crowding coefficient of wheat in two rows of wheat with one row of chickpea and one row of wheat with two rows of chickpea was 1.93 and 1.73 and of chickpea was 0.15 and 0.17, respectively. The Aggressivity parameter indicated a tendency for wheat to dominate chickpea in both intercropping. Competitive Ratio in two rows of wheat with one row of

1 and 2- MSc of Agroecology, Assistant Professor and Associate Professor Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: mashhadi_ta@yahoo.com)

chickpea was greater than one row of wheat with two rows of chickpea. Actual yield loss and intercropping advantage in wheat was positive and in chickpea was negative. Intercropping of wheat and chickpea decreased actual yield loss and intercropping advantage. The present study concludes that intercropping of wheat with chickpea in different planting patterns affected seed yield, competition between the two species and economics of the planting patterns as compared to solitary cropping of the same species.

Conclusion

Results of this study illustrated that intercropping of wheat and chickpea was not suitable system. Intercropping indices such as Land Equivalent Ratio, Aggressivity, Competitive Ratio and Intercropping Advantage indicated that wheat crop was the dominant species in two intercropping treatments.

Keywords: Aggressivity, Competitive ratio, Intercropping, Land equivalent ratio, Seed yield

References

Agegnehu, G., Ghizaw, A., and Sinebo, W. 2006. Yield performance and land use efficiency of barley and faba bean mixed cropping Ethiopian highlands. European Journal of Agronomy 25: 202-207.

Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S.S. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive experiment: European Journal of Agronomy 24: 325-332.

Dhima, K.V., Lithourgidis, A.A., Vasilakoglou, I.B., and Dordas, C.A. 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercropping in two seeding ratio. Field Crops Research 100: 249-256.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۳۶۷-۳۵۶

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 356-367

ارزیابی توان رقابتی کنجد (*Sesamum indicum* L.) و ماش (*Vigna radiata* L.) در دو بوم‌نظام تک‌کشتی و کشت مخلوط

سجاد راستگو[۱]، امیر آینه بند[۲*] و اسفندیار فاتح[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۲۷

چکیده

به منظور مطالعه پتانسیل تولید و توان رقابتی گیاهان کنجد (*Sesamum indicum* L.) و ماش (*Vigna radiata* L.)، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز در تابستان ۱۳۹۱ اجرا شد. طرح آزمایشی به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار بود. تیمار اصلی شامل دو آرایش کشت (فواصل بین ردیف ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر) بود. عامل فرعی نسبت‌های مختلف تراکمی گیاهان در پنج سطح (شامل نسبت صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و۱۰۰٪ تراکم بوته) بود. خصوصیات عملکرد و واکنش رقابتی گیاهان در الگوی کشت بررسی شد. این آزمایش نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه در نسبت تراکمی ۵۰+۵۰٪ بدون تأثیر معنی‌دار افزایش فاصله ردیف از ۵۰ به ۷۵ سانتی‌متر به دست آمد (به ترتیب ۲/۰۵ و ۲ تن در هکتار). در بیشتر تیمارها عملکرد دانه کنجد بیش‌تر از ماش بود. با افزایش نسبت تراکمی هر یک از گیاهان، عملکرد دانه هر یک از آن‌ها نیز بهبود یافت. افزایش فواصل بین ردیف، شاخص برداشت مخلوط را بهبود داد (از ۲۶/۶ به ۳۲/۸ درصد) که در اکثر حالات به علت افزایش عملکرد دانه و کاهش عملکرد بیولوژیک بود. مقدار شاخص نسبت برابری زمین در کلیه الگوهای مخلوط بیش‌تر از یک بود که بیانگر برتری کشت مخلوط دو گیاه نسبت به تک‌کشتی است. نتایج تیمارها نشان داد که گیاه کنجد توان رقابتی بیش‌تری نسبت به ماش داشت. لذا در تیمارهایی که بیش‌ترین عملکرد مخلوط را دارا بودند، کنجد گونه غالب مخلوط بود.

واژه‌های کلیدی: آرایش کشت، درجه‌ی تهاجمی، شدت رقابتی، نسبت برابری زمین، نسبت تراکمی

مقدمه

وجود تفاوت‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی همراه با به کارگیری برخی تکنیک‌های زراعی بر توانایی هر یک از گیاهان در الگوی مخلوط در خصوص میزان و چگونگی استفاده از منابع محیطی تأثیرگذار می‌باشد (Zhang & Li, 2003). در الگوی کشت مخلوط عواملی هم‌چون نوع گیاه زراعی (Oroka & Omoregie, 2007)، نسبت تراکمی (Bhatti at al., 2008) و واکنش‌های رقابتی (Wahla et al., 2009) هر یک از گیاهان در مخلوط، در رشد مناسب هر دو یا یکی از گونه‌های زراعی مؤثر می‌باشند. برای مثال یک راهکار برای انتخاب گیاه بقولات با توان رقابت‌کنندگی مناسب با گیاه غیر بقولات در مخلوط، افزایش نسبت تراکمی و یا تغییر فواصل بین ردیف است (Sobkowcz, 2006). اظهار شده که بقولات در شرایط کشت مخلوط با غیر بقولات ضمن کاهش ریسک تولید، میزان استفاده از برخی نهاده‌های بیولوژیکی را در مقایسه با نهاده‌های شیمیایی (مانند نیتروژن بیولوژیکی و کاهش مصرف سموم شیمیایی) بهبود می‌بخشند (Ali et al., 2007). برای نمونه در خوزستان گیاه ماش (*Vigna radiata* L.) عنوان تنها گیاه حبوبات دارای عملکرد مطلوب در طول تابستان‌های گرم خوزستان، جایگاه ویژه‌ای در سیستم‌های کشت این منطقه دارا می‌باشد (Aynehband et al., 2010). به هر حال کاشت این گیاه با کنجد (*Sesamum indicum* L.) در کشت مخلوط، تحت تأثیر فرآیند رقابت قرار می‌گیرد (Aynahband & Behrooz, 2011). لذا با آگاهی از توان رقابتی هر یک از گیاهان در شرایط مخلوط و ارتباط آن با تغییرات عملکرد، کشت مخلوطی مناسب خواهد بود که در آن علی‌رغم وجود شرایط رقابتی، واکنش غالب یا

۱، ۲ و۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، استاد و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
(*- نویسنده مسئول: Email: aynehband@scu.ac.ir)

مغلوب بودن گیاهان به گونه‌ای باشد کـه عملکـرد نهـایی مخلـوط از عملکرد تک‌کشتی هر یک بـیش‌تـر باشـد (Oseni, 2010). در ایـن ارتباط برای بررسی اکولوژیکی کشت مخلوط کنجد و ماش، علاوه بر معیـار عملکـرد (عملکـرد دانـه و عملکـرد بیولوژیـک)، از برخـی شاخص‌های رقابتی نیـز مـی‌تـوان اسـتفاده نمـود (Yilmaz et al., 2008; Dahima et al., 2007). بنابراین هدف این تحقیـق بررسـی الگوی مناسب استقرار دو گیاه کنجد و ماش به لحاظ تولید عملکرد و همچنین بررسی چگونگی تـأثیر تغییـر در نسـبت تراکمـی و آرایـش کشت گیاهان بر توان رقابتی هر یک از گیاهان در مخلوط است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی خصوصیات رقـابتی گیاهـان کنجـد و مـاش در الگوی کشت مخلوط دانه‌ای، تحت تأثیر تیمارهای فواصل بین ردیـف و نسبت‌های مختلف تراکمی گیاهان آزمایشـی در مزرعـه تحقیقـاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز در تابسـتان ۱۳۹۱ بـا عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و۲۰ دقیقه شمالی و طـول جغرافیـایی ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و در ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا و با میانگین بارندگی سالانه ۲۱۳/۹۴ میلی‌متـر و متوسـط درجـه حـرارت سـالانه ۲۵/۲۴ درجه سانتی‌گراد انجام شد. آزمایش به صورت طرح کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار اجرا شد. تیمار اصلی شامل فاصله بین ردیف‌های کشت در دو سطح فاصله بین ردیف ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر بود. تیمـار فرعـی شـامل نسـبت‌هـای تراکمی هر یک از گیاهان زراعی ماش و کنجد در مخلوط به صـورت کشت ۱۰۰٪ کنجد + صفر درصد ماش (تـک‌کشـتی کنجـد)، کشـت ۷۵٪ کنجد + ۲۵٪ ماش، کشـت ۵۰٪ کنجـد + ۵۰٪ مـاش، کشـت ۲۵٪ کنجد + ٪۷۵ ماش و کشت صفر درصد کنجـد + ۱۰۰٪ مـاش (تک‌کشتی ماش) بود. تراکم گیاه کنجد و ماش بـه ترتیـب ۱۰ و ۱۲ بوته در مترمربع بود. کنجد رقم داراب ۱۴ و ماش رقـم NM92 بـود. همچنین مقدار کود بر حسب N-P-K معادل ۵۰–۵۰–۷۰ بود.

آزمایش به صورت طرح کرت‌های یـک‌بـار خـرد شـده در قالـب بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار اجرا شد. تیمـار اصـلی شـامل فاصله بین ردیف‌های کشت در دو سطح فاصله بـین ردیـف ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر بود. تیمار فرعی شـامل نسـبت‌هـای تراکمـی هـر یـک از گیاهان زراعی ماش و کنجد در مخلوط به صورت کشت ۱۰۰٪ کنجد + صفر درصد ماش (تک‌کشـتی کنجـد)، کشـت ۷۵٪ کنجـد + ۲۵٪ ماش، کشت ۵۰٪ کنجـد + ۵۰٪ مـاش، کشـت ۲۵٪ کنجـد + ۷۵٪ ماش و کشت صفر درصد کنجد + ۱۰۰٪ ماش (تک‌کشتی ماش) بود. تراکم گیاه کنجد و ماش به ترتیـب ۱۰ و ۱۲ بوته در مترمربـع بـود. کنجد رقم داراب ۱۴ و ماش رقم nm92 بود. همچنین مقدار کود بـر حسب N-P-K معادل۵۰–۵۰–۷۰ بود. روش کاشت به صورت ردیفی بود. زمان کاشت و برداشت به ترتیب نیمـه دوم تیـر مـاه و نیمـه اول مهرماه سال ۱۳۹۱ بود. کلیه عملیات داشت مطابق بـا عـرف منطقـه انجام شد. عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک هر یک از گیاهان کنجـد و ماش در شرایط تک‌کشتی و مخلوط اندازه‌گیری شد. بـرای بررسـی اثـرات رقـابتی بـین گیاهـان کنجـد و مـاش در شـرایط مخلـوط از شاخص‌های مختلف رقابت به شرح زیر استفاده شـد (Banik et al., 2000; Ghosh, 2004; Dhima et al., 2007).

۱- نسبت برابری زمین[1] (LER):

$$LER = LER_a + LER_b \quad (۱)$$

$$LER_a = Y_{ab} / Y_a \quad (۲)$$

$$LER_b = Y_{ba} / Y_b \quad (۳)$$

در این رابطه، Y: عملکرد دانه هر یک از گیاهان، a: کنجـد و b: ماش

۲- کاهش واقعی عملکرد[2] (AYL):

$$AYL = AYL_a + AYL_b \quad (۴)$$

$$AYL_a = ((Y_{ab} / X_{ab}) / (Y_a / X_a)) - 1 \quad (۵)$$

$$AYL_b = ((Y_{ba} / X_{ba}) / (Y_b / X_b))- 1 \quad (۶)$$

در این معادله، X: نسبت تراکمی هر یک از گیاهـان در مخلـوط است.

۳- درجه تهاجمی[3] (A):

$$Aa = (Yab / Ya \times Xab) - (Yba / Yb \times Xba) \quad (۷)$$

$$Ab = (Yba / Yb \times Xba) - (Yab / Ya\times Xab) \quad (۸)$$

۴- ضریب نسبی شلوغی[4] (K):

$$K = (K_a \times K_b) \quad (۹)$$

1- LER: Land equivalent ratio
2- AYL: Actual yield loss
3- A: Aggressivity
4- K: Relative crowding coefficient

$$Ka = (Yab \times Xba) / ((Ya - Yab) \times Xab) \quad (۱۰)$$

$$Kb = (Yba \times Xab) / ((Yb - Yba) \times Xba) \quad (۱۱)$$

۵- شدت نسبی رقابت[1] (RCI):

$$RCI_a = ((Y_a - Y_{ab}) / Y_a) \times 100 \quad (۱۲)$$

$$RCI_b = ((Y_b - Y_{ba}) / Y_b) \times 100 \quad (۱۳)$$

۶- نسبت رقابت‌کنندگی[2] (CR):

$$CR_a = (LER_a / LER_b) \times (X_{ba} / X_{ab}) \quad (۱۴)$$

$$CR_b = (LER_b / LER_a) \times (X_{ab} / X_{ba}) \quad (۱۵)$$

۷-شدت مطلق رقابت[3] (ACI):

$$ACI = Y_{mono} - Y_{mix} \quad (۱۶)$$

نتایج به دست آمده با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۲ مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

نتایج و بحث

عملکرد گیاهان زراعی: بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک (۵/۸۵ تن در هکتار) در شرایط تک‌کشتی و فواصل بین ۵۰ سانتی‌متر به دست آمد (جدول ۱). در حالی‌که در هر دو آرایش کشت ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر، کمترین نسبت تراکمی گیاه کنجد در مخلوط (۲۵٪ تراکمی)، کمترین عملکرد بیولوژیک را تولید کرد (برای فواصل ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر به ترتیب ۳/۵۲ و ۳/۱۲ تن در هکتار). بررسی عملکرد دانه کنجد نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه (۱/۵۱ تن در هکتار) در شرایط تک‌کشتی و فواصل بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر به دست آمد. هر چند که مشابه با نتایج عملکرد بیولوژیک، نسبت‌های تراکمی ۲۵ درصد این گیاه در شرایط مخلوط، در هر دو آرایش کشت ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر، کمترین عملکرد دانه را تولید کرده است (۰/۸۴ و ۰/۸۵). بیش‌ترین درصد شاخص برداشت (۲۹/۳ درصد) در الگوی کشت مخلوطی است که گیاهان کنجد با نسبت تراکمی ۷۵ درصد و با فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر قرار داشتند. این نتایج نشان می‌دهد که تغییر آرایش کشت (افزایش فواصل بین ردیف از ۵۰ به ۷۵ سانتی‌متر) عملکرد بیولوژیک را کاهش داده (از ۴/۹ به ۴/۱) اما تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشته که در نهایت باعث افزایش معنی‌دار شاخص برداشت شده است (از ۲۵/۹ به ۲۹/۲ درصد). این تغییرات بیانگر این است که افزایش فواصل بین ردیف برای گیاه کنجد تأثیر مثبت بیش‌تری بر عملکرد دانه داشته تا عملکرد بیولوژیک. به علاوه زمانی که حضور کنجد در الگوهای کشت مخلوط را بررسی کنیم، مشخص می‌شود که افزایش فواصل بین ردیف از ۵۰ به ۷۵ سانتی‌متر اساساً میانگین عملکرد بیولوژیک را بیش‌تر از عملکرد دانه کاهش داده است. نتیجه این تغییرات، افزایش میانگین شاخص برداشت این گیاه است که بیش‌ترین مقدار آن (۲۹/۸ درصد) در نسبت تراکمی ۵۰+۵۰٪ و در فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر به دست آمد. با بررسی وضعیت عملکرد گیاه ماش تحت تأثیر تیمارهای آزمایش مشخص می‌شود که در هر دو الگوی آرایش کشت، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در شرایط تک‌کشتی بیش‌تر از مخلوط است. به علاوه، در شرایط مخلوط نیز با افزایش نسبت تراکمی از ۲۵ به ۷۵ درصد، هر دو صفت فوق بهبود یافته است. البته بیش‌ترین عملکرد دانه (۱/۶۳ تن در هکتار) در شرایط تک‌کشتی ماش و با فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر به دست آمد. در حالی‌که بیش‌ترین عملکرد بیولوژیکی این گیاه (۵/۵ تن در هکتار) در شرایط تک‌کشتی و در فواصل ردیف ۵۰ سانتی‌متر حاصل شده است. به عبارت دیگر، الگوی واکنش ماش به تغییر آرایش کشت به گونه‌ای است که افزایش فواصل بین ردیف باعث بهبود عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک شده، که دلیل این بهبود نیز با بهبود شاخص برداشت قابل توجیه است. بیش‌ترین کمیت شاخص برداشت (۳۹/۶ درصد) در شرایط تک‌کشتی و فواصل بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر حاصل شد. از آن‌جایی که در ماش دانه‌ها و غلاف‌ها در درون اندام‌های داخلی گیاه توسعه پیدا می‌کنند، لذا به نظر می‌رسد افزایش فواصل بین ردیف، تأثیر منفی فشردگی سایه‌انداز که در نتیجه افزایش تعداد بوته‌های ماش در روی ردیف‌های کشت به وجود آمده را کاهش داده و با گسترش اندام‌های زایشی به فضای بین ردیف‌ها، کمیت اندام‌های زایشی را بهبود داده است. در حالی‌که استقرار اندام‌های زایشی در کنجد که در بخش‌های بالایی گیاه می‌باشد موجب شده که تغییر فواصل بین ردیف تأثیر معنی‌داری بر عملکرد نداشته باشد. نتایج عملکرد الگوی کاشت مخلوط دو گیاه کنجد و ماش نیز نشان می‌دهد که بیش‌ترین عملکرد بیولوژیکی

1- RCI: Relative competition intensity
2- CR: Competitive ratio
3- ACI: Absolute competition intensity

(۷/۶۴ تن در هکتار) و عملکرد دانه (۲/۰۵ تن در هکتار) در نسبت تراکمی ۵۰+۵۰٪ هر یک از گیاهان و در فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر حاصل شده است. به هر حال نتایج این آزمایش نشان داد که در شرایط مخلوط، افزایش فواصل بین ردیف از ۵۰ به ۷۵ سانتی‌متر عملکرد بیولوژیک کل مخلوط را کاهش داده (از ۶/۶ به ۵/۴ تن در هکتار) ولی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه مخلوط نداشته است (۱/۷۶ و ۱/۷۶ تن در هکتار). در ادامه با مقایسه خصوصیات عملکرد گیاهان کنجد و ماش در شرایط مخلوط با شرایط تک‌کشتی هر یک از آن‌ها مشخص می‌شود که در تعیین عملکرد بیولوژیک مخلوط در هر دو فاصله بین ردیف ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر (۶/۶ و ۵/۴ تن در هکتار)، گیاه کنجد سهم بیش‌تری نسبت به ماش داشته است. همین وضعیت یا به عبارتی بیش‌تر بودن سهم کنجد در مخلوط، در رابطه با عملکرد دانه نیز دیده می‌شود. لذا می‌توان چنین نتیجه گرفت که کنجد به لحاظ کمیت عملکرد، گیاه برتر نسبت به ماش در الگوی کشت مخلوط بوده هر چند که واکنش عملکرد بیولوژیک و دانه این دو گیاه با تغییر در فواصل بین ردیف اندکی متفاوت بود. در این ارتباط، کاهش در وزن خشک بقولات زمانی که گیاه غلات رقابت‌کننده قوی‌تری بوده و یا در شرایطی که نسبت تراکمی بقولات زیاد بود، گزارش شده است (Koocheki et al., 2009). به علاوه اظهار شده که حضور گیاه ماش در مخلوط با گیاه کنجد ضمن بهبود خصوصیات شیمیایی خاک، عملکرد دانه کنجد را بیش‌تر از عملکرد دانه ماش بهبود داده است (Bhatti et al., 2008). همچنین گزارش شده که کشت مخلوط کنجد و نخود (*Cicer arietinum* L.) با نسبت تراکمی ۵۰٪ از هر یک از دو گیاه، مجموع عملکرد مخلوط بیش‌تری در مقایسه با سایر نسبت‌های تراکمی تولید کرد (Pouramir et al., 2010). در پژوهشی بر روی کشت مخلوط علوفه‌ای ذرت (*Zea mays* L.) و ماش اظهار شده که نسبت تراکمی ۷۵ درصد ذرت و ۲۵ درصد ماش، بیش‌ترین کمیت علوفه مخلوط را در مقایسه با سایر نسبت‌های تراکمی تولید کردند (Aynehband et al., 2010).

جدول ۱- اثر تیمارهای آزمایش بر خصوصیات عمکرد دانه و بیولوژیک کیاهان کنجد و ماش در الگوهای تک‌کشتی و مخلوط

Table 1- Effect of treatments on seed and biological yield of sesame and mung bean on mono and intercropping systems

فاصله بین ردیف (سانتی‌متر) Inter-row (cm)	نسبت تراکمی (درصد) Planting ratios (%) کنجد:ماش Mung bean: sesame	کنجد Sesame			ماش Mung bean			مخلوط Intercropping		
		عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار) Biological yield ($t.ha^{-1}$)	عملکرد دانه (تن در هکتار) yield ($t.ha^{-1}$)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار) Biological yield ($t.ha^{-1}$)	عملکرد دانه (تن در هکتار) Seed yield ($t.ha^{-1}$)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار) Biological yield ($t.ha^{-1}$)	عملکرد دانه (تن در هکتار) seed yield ($t.ha^{-1}$)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
50	0:100	5.85^{a}	1.51^{a}	25^{bc}	–	–	–	5.85^{bc}	1.51^{ab}	25.8^{c}
	25:75	5.43^{a}	1.37^{a}	25.3^{bc}	1.59^{d}	0.45^{b}	28.3^{c}	7.03^{a}	1.82^{a}	25.9^{c}
	50:50	5.15^{ab}	1.35^{a}	26.3^{bc}	2.4^{c}	0.69^{ab}	28.7^{c}	7.64^{a}	2.05^{a}	26.8^{c}
	75:25	3.52^{c}	0.84^{b}	24^{c}	3.59^{b}	1.03^{a}	28.6^{c}	7.11^{a}	1.87^{a}	26.2^{c}
	100:0	–	–	–	5.5^{a}	1.54^{a}	28^{c}	5.5^{bc}	1.54^{ab}	28^{bc}
75	0:100	4.77^{ab}	1.41^{a}	29^{a}	-	-	-	4.77^{bc}	1.41^{b}	29.5^{bc}
	25:75	4.46^{b}	1.3^{a}	29.1^{a}	1.65^{cd}	0.6^{ab}	36.6^{b}	6.11^{b}	1.9^{a}	31^{b}
	50:50	4.19^{b}	1.25^{a}	29.8^{a}	2.04^{c}	0.74^{ab}	36.2^{b}	6.23^{b}	2^{a}	22.1^{b}
	75:25	3.12^{c}	0.85^{b}	27.3^{bc}	2.6^{c}	0.98^{a}	37.6^{b}	5.79^{bc}	1.84^{a}	31.7^{b}
	100:0	-	-	-	4.11^{b}	1.63^{a}	39.6^{a}	4.11^{c}	1.63^{ab}	39.6^{a}
میانگین ۵۰ Average 50		4.9^{a}	1.27^{a}	24.5^{b}	3.2^{a}	0.93^{a}	28.4^{b}	6.6^{a}	1.76^{a}	26.6^{b}
میانگین ۷۵ Average 75		4.1^{a}	1.2^{a}	28.3^{a}	2.6^{b}	0.99^{a}	37.5^{a}	5.4^{b}	1.76^{a}	32.8^{a}

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک به لحاظ آماری در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means with the same letters in each column are not significantly different at the 0.05 level of probability.

شاخص‌های رقابت:

۱- نسبت برابری زمین: اگرچه نسبت برابری زمین به طور مستقیم شاخص تعیین کننده وضعیت رقابت در کشت مخلوط نمی‌باشد، اما از آن‌جا که به طور غیرمستقیم معیاری از تأثیر رقابت بر عملکرد هر یک از گیاهان در مخلوط و نیز عملکرد نهایی مخلوط می‌باشد، لذا می‌توان آن را معیاری از وضعیت رقابت در جامعه گیاهی مخلوط در نظر گرفت. نتایج این آزمایش نشان داد که در کلیه

حالات، اجرای کشت مخلوط کنجد و ماش نسبت به تک‌کشتی هر یک از آن‌ها برتری دارد (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار نسبت برابری زمین (۱/۳۴) در نسبت تراکمی ۵۰+۵۰٪ هر یک از گیاهان به دست آمد و تغییر فاصله بین ردیف‌ها تأثیری بر آن نداشت. در هر دو آرایش کشت و در دو نسبت تراکمی ۵۰٪ و ۷۵٪ کنجد، مقدار نسبت برابری زمین نسبی کنجد بیش‌تر از ماش می‌باشد. اما در شرایطی که گیاه کنجد با نسبت تراکمی ۲۵٪ در مخلوط قرار گرفت، این مزیت دیده نمی‌شود. بنابراین از این تغییرات می‌توان چنین استنباط نمود که برتری تولید دانه کنجد در شرایط مخلوط نسبت به شرایط تک‌کشتی زمانی نسبت به ماش مزیت خواهد داشت که درصد تراکمی این گیاه همواره از ۵۰٪ بیش‌تر باشد. به هر حال در این آزمایش بیش‌ترین مقدار شاخص نسبت برابری زمین (۱/۳۴) در هر دو آرایش کشت عمدتاً تحت تأثیر گیاه کنجد بوده تا گیاه ماش. افزایش مقدار این شاخص با افزایش فواصل بین ردیف از ۵۰ به ۷۵ سانتی‌متر (۱/۲۵ به ۱/۲۸) می‌تواند بیان‌گر این نکته باشد که کاهش فشردگی سایه‌انداز نقش مطلوبی برای هر دو گیاه کنجد و ماش در شرایط مخلوط ایفا کرده است. بهبود شاخص LER در شرایط مخلوط غلات و بقولات نسبت به تک‌کشتی هر یک از آن‌ها در منابع دیگر نیز گزارش شده است (Aynehband & Behrooz, 2010; Ali et al., 2007). همچنین گزارش شده که افزایش نسبت برابری زمین در کشت مخلوط غلات با بقولات بیش‌تر به خاطر افزایش نسبت برابری جزئی در ذرت (غلات) بوده و عملکرد دانه و ماده خشک لوبیا (حبوبات) رابطه مستقیم و معنی‌داری با تراکم لوبیا و نیز رابطه منفی و معنی‌داری با تراکم ذرت (غلات) داشت که احتمالاً به دلیل سایه‌اندازی ذرت بوده است (Koocheki et al., 2009).

۲- کاهش عملکرد واقعی: در کلیه حالات، مقدار این شاخص مثبت می‌باشد که نشان‌گر سودمندی اجرای این مخلوط البته بر اساس تک بوته است (جدول ۲). بیش‌ترین (۳/۲ درصد) و کمترین (۲/۳۸ درصد) مقدار این شاخص به ترتیب در شرایط آرایش کشت ۷۵ سانتی‌متر با نسبت ۷۵٪ ماش و ۲۵٪ کنجد و در آرایش کشت ۵۰ سانتی‌متر با نسبت تراکمی ۲۵٪ ماش و ۷۵٪ کنجد به‌دست آمد. صرف نظر از نسبت‌های تراکمی، در هر دو آرایش کشت ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر مقدار این شاخص در کنجد بیش‌تر از ماش بود. برای مثال در فواصل بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر ۱/۷۵ و ۰/۹۸ و در فواصل بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر ۱/۸۱ و ۱/۰۷ به ترتیب برای کنجد و ماش بود.

جدول ۲- اثر تیمارهای آزمایش بر شاخص‌های کاهش واقعی عمکرد و نسبت برابری زمین

Table 2- effect of treatments on Land equivalent ratio and Actual yield loss indexes

فاصله بین ردیف (سانتی‌متر) Inter-row (cm)	نسبت تراکمی (درصد) Planting ratios (%)	کاهش واقعی عملکرد Actual yield loss			نسبت برابری زمین Land equivalent ratio		
	کنجد:ماش Mung bean: sesame	کنجد Sesame	ماش Mung bean	مخلوط Intercropping	کنجد Sesame	ماش Mung bean	مخلوط Intercropping
50	0:100	–	–	–	–	–	1
	25:75	1.2	1.16	2.38	0.91	0.29	1.2
	50:50	1.7	0.89	2.69	0.89	0.44	1.34
	75:25	2.2	0.88	3.12	0.55	0.66	1.22
	100:0	–	–	–	–	–	1
75	0:100	–	–	–	–	–	1
	25:75	1.2	1.48	2.72	0.92	0.37	1.3
	50:50	1.7	0.91	2.69	0.89	0.45	1.34
	75:25	2.4	0.8	3.2	0.6	0.6	1.21
	100:0	–	–	–	–	–	1
میانگین ۵۰ Average 50		1.75^{b}	0.98^{a}	2.73^{a}	0.79^{a}	0.46^{a}	1.25^{a}
میانگین ۷۵ Average 75		1.81^{a}	1.07^{a}	2.88^{a}	0.8^{a}	0.47^{a}	1.28^{a}

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک به لحاظ آماری در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

* Means with the same letters in each column are not significantly different at the 0.05 level of probability.

این مسأله نشان‌دهنده این نکته است که میزان کاهش عملکرد گیاه کنجد در مخلوط نسبت به تک‌کشتی آن بیش‌تر از گیاه ماش است. به عبارت دیگر، تغییرات افت عملکرد گیاه ماش در الگوی مخلوط کمتر از گیاه کنجد است. این مسأله شاید به تعبیری انعطاف-پذیری بیش‌تر گیاه ماش را به الگوهای مختلف کشت (تک کشتی و مخلوط) در مقایسه با کنجد نشان می‌دهد. اظهار شده که در مخلوط‌های ماشک (*Vicia sativa* L.) با گیاهان جو (*Hordeum vulgare* L.) و یولاف (*Avena sativa* L.)، گیاهان غلات گونه غالب در مخلوط بودند، زیرا AYL جزیی غلات بیش‌تر از AYL جزیی ماشک بود (Dahima et al., 2007).

۳- درجه تهاجمی: مقدار این شاخص برای گیاه کنجد در هر دو آرایش کشت ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر صرفاً زمانی که نسبت تراکمی این گیاه ۲۵٪ بود، منفی شد (۰/۳۵- و ۰/۳- به ترتیب برای فواصل ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر). در مقابل، برای گیاه ماش تغییرات به گونه‌ای است که کمیت این شاخص در هر دو فاصله بین ردیف ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر تنها زمانی که نسبت تراکمی ماش ۷۵٪ بود، مقدار آن مثبت شده و در سایر حالات منفی است (جدول ۳). به بیان دیگر، چنان‌چه نسبت تراکمی کنجد از ۲۵٪ کل تراکم مخلوط کمتر شود، این گیاه قدرت تهاجمی مطلوبی در مخلوط نخواهد داشت. اما گیاه ماش تنها زمانی از قدرت تهاجمی مناسبی در مخلوط برخوردار خواهد بود که نسبت تراکمی آن در مخلوط ۷۵٪ به بالا باشد. لذا چنان‌چه دو گیاه در نسبت تراکمی یک‌سان در مخلوط کشت شوند (۵۰+۵۰٪)، گیاه کنجد تهاجمی‌تر بوده و بر این اساس از منابع محیطی بهتر استفاده خواهد کرد. حال چنان‌چه نسبت‌های تراکمی را در نظر نگیریم، افزایش فواصل بین ردیف باعث تشدید درجه تهاجمی کنجد خواهد شد (از ۰/۱۵ به ۰/۱۷)، اما در مقابل باعث تضعیف این ویژگی در در گیاه ماش می‌گردد (از ۰/۱۵- به ۰/۱۷-). به نظر می‌رسد بخشی از این واکنش‌های متفاوت دو گیاه کنجد و ماش از یک سو ناشی از تفاوت در ارتفاع بوته گیاهان (کنجد اندکی بلندتر از ماش) و از سوی دیگر به علت تفاوت در محل قرار گیری اندام‌های زایشی دو گیاه باشد (گیاه کنجد عمدتاً در بالای بوته و در گیاه ماش عمدتاً در قسمت میانی گیاه).

جدول ۳- اثر تیمارهای آزمایش بر شاخص‌های درجه تهاجمی و ضریب شلوغی و شدت رقابت نسبی

Table 3- Effect of treatments on Relative competition intensity and relative crowding coefficient and aggressivity indexes

فاصله بین ردیف (سانتی‌متر) Inter-row (cm)	نسبت تراکمی (درصد) Planting ratios (%) کنجد:ماش Mung bean: (sesame	درجه تهاجمی Aggressivity		ضریب شلوغی Relative crowding coefficient			شدت رقابت نسبی (درصد) Relative competition intensity (%)	
		کنجد Sesame	ماش Mung bean	کنجد Sesame	ماش Mung bean	مخلوط Intercropping	کنجد Sesame	ماش Mung bean
50	0:100	–	–	–	–	–	–	–
	25:75	0.6	-0.61	3.4	1.23	4.2	8.8	70
	50:50	0.2	-0.22	8.9	0.82	7.2	10	55
	75:25	-0.35	0.35	3.8	0.66	2.5	44	33
	100:0	–	-	–	–	–	–	–
75	0:100	–	-	–	–	–	–	–
	25:75	0.6	-0.6	4.3	1.77	7.7	7	62
	50:50	0.21	-0.21	8.2	0.84	6.9	10	54
	75:25	-0.3	0.3	4.5	0.51	2.3	39	39
	100:0	–	–	–	–	–	–	–
میانگین ۵۰ Average 50		0.15^b	-0.15^a	5.3^a	0.9^a	4.6^b	20.9^a	53.1^a
میانگین ۷۵ Average 75		0.17^a	-0.17^b	5.7^a	1.04^a	5.6^a	19.1^a	52.1^a

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک به لحاظ آماری در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means with the same letters in each column are not significantly different at the 0.05 level of probability.

از دلایل پذیرش تفسیر فوق، بهبود درجه تهاجمی گیاه ماش در شرایطی است که نسبت تراکمی آن در مخلوط بیش از ۷۵٪ بوده است. در این ارتباط اظهار شده که در مخلوط سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) و لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) صرف نظر از الگوی کشت و با توجه به کمیت شاخص درجه تهاجمی، سورگوم گیاه غالب و لوبیا چشم بلبلی گیاه مغلوب بود. بخش زیادی از این غالبیت به علت ارتفاع زیادتر و سرعت رشد اولیه بیش‌تر سورگوم بود (Oseni, 2010)، اما در کشت مخلوط برنج و لوبیا چشم بلبلی، حبوبات در تراکم‌های بالا از درجه تهاجمی بیش‌تری نسبت به غلات (برنج) برخوردار بودند که بخشی از آن به خاطر مشابه بودن ارتفاع دو گیاه بوجود آمد (Oroka & Omoregie, 2007).

٤- ضریب شلوغی: الگوی کشت مخلوط کنجد و ماش زمانی بیش‌ترین کمیت شاخص ضریب شلوغی را دارا بود (۷/۷) که هر دو گیاه در فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر با نسبت تراکمی ۲۵٪ ماش و ۷۵٪ کنجد استقرار یافته بودند (جدول ۴). در کلیه نسبت‌های تراکمی و همچنین در هر دو آرایش کشت ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر، میزان کمیت شاخص ضریب نسبی شلوغی برای گیاه کنجد بیش‌تر از ماش بود، لذا این گیاه نقش تعیین‌کننده‌تری نسبت به ماش در تعیین آرایش هندسی سایه‌انداز مخلوط داشته است. گزارش شده با افزایش نسبت تراکمی غلات به ویژه در شرایطی که گیاهان غلات در مقایسه با بقولات ارتفاع و جثه بزرگ‌تری داشته باشند، شلوغی بیش از حد کانوپی در رابطه با رقابت به نفع غلات خواهد بود (Yilmaz et al., 2008). به طور مشابه نیز مقدار ضریب شلوغی نسبی غلات در مقایسه با بقولات در شرایطی که ماشک علوفه‌ای با تریتیکاله (*Triticosecale witmack*)، جو و یولاف کشت شده بود، نیز گزارش شد. البته در برخی نسبت‌های تراکمی مقدار این ضریب بین الگوهای مخلوط تفاوت معنی‌داری نداشته که نشان‌دهنده این است که اجرای این نسبت‌های تراکمی به لحاظ عملکرد نهایی سودمند یا زیان‌آور نخواهد بود (Dhima et al., 2007).

٥- شدت رقابت نسبی: بیش‌ترین مقدار این شاخص برای کنجد (۴۴٪) در شرایط فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و در نسبت تراکمی ۲۵٪ کنجد و ۷۵٪ ماش به دست آمد (جدول ۳). در این شرایط گیاه کنجد بیش‌ترین افت عملکرد را در اثر رقابت با گیاه ماش در الگوی کشت مخلوط نسبت به شرایط تک‌کشتی آن داشته است. همچنین با افزایش فواصل بین ردیف از ۵۰ به ۷۵ سانتی‌متر، کمیت این شاخص کاهش یافته (از ۲۰/۹ به ۱۹/۱) که نشان می‌دهد گیاه کنجد در الگوی کشت مخلوط به افزایش فاصله بین ردیف واکنش بهتری نشان داده است. به تعبیری، افزایش فاصله بین ردیف‌ها باعث شده که از شدت رقابت بر این گیاه کاسته شده لذا افت عملکرد نسبت به تک‌کشتی کاهش یابد. بررسی وضعیت گیاه ماش برای این شاخص حاکی از این است که مشابه گیاه کنجد، با افزایش فواصل بین ردیف از ۵۰ به ۷۵ سانتی‌متر، میزان افت عملکرد از ۵۳/۱٪ به ۵۲/۱٪ کاهش یافته است. به هر حال نتایج به دست آمده برای شاخص شدت رقابت نسبی و مقایسه آن بین دو گیاه کنجد و ماش نشان‌دهنده این مطلب است که تأثیر منفی رقابت در الگوی کشت مخلوط نسبت به شرایط عدم رقابت (که در شرایط تراکم بهینه در الگوی تک‌کشتی حاصل می‌شود)، به طور میانگین برای ماش بیش‌تر از کنجد است، البته به غیر از تیمار فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و نسبت تراکمی ۲۵٪ کنجد و ۷۵٪ ماش که در آن مقدار این شاخص برای کنجد بیش‌تر از ماش است (به ترتیب ۴۴٪ و ۳۳٪). پژوهشگران اظهار داشتند که شاخص شدت رقابت نسبی همبستگی مثبت و خطی با میزان وزن زیست‌توده اندام هوایی گیاهان دارد (Banik et al., 2000). البته بیان شده که کاهش تراکم کل، باعث افزایش جثه گیاهان مغلوب در پوشش گیاهی شده که این مسأله مزیت غالبیت گونه‌هایی با ارتفاع زیاد نسبت به گونه‌هایی با ارتفاع کم را در مخلوط از بین خواهد برد (Bhatti et al., 2008).

٦- نسبت رقابت‌کنندگی: بیش‌ترین (۲/۵) و کمترین (۱/۰۴) کمیت شاخص نسبت رقابتی برای کنجد در فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر، به ترتیب در نسبت تراکمی ۲۵٪ و ۷۵٪ کنجد به دست آمد (جدول ۴). با افزایش فواصل بین ردیف از ۵۰ به ۷۵ سانتی‌متر، توان رقابتی کنجد کاهش (از ۱/۸۵ تا ۱/۴۲) اما در مقابل، مقدار این شاخص در گیاه ماش افزایش یافت (از ۰/۵۲ به ۰/۶۸). اعداد این نسبت نشان می‌دهد که در اکثر موارد توان رقابت‌کنندگی گیاه کنجد بیش‌تر از ماش بود (به استثناء تیمار فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و نسبت تراکمی ۷۵٪ کنجد و ۲۵٪ ماش).این برتری رقابت‌کنندگی کنجد در مقایسه با ماش را می‌توان با توجه به وضعیت عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه هر دو گیاه نیز مشاهده نمود (جدول ۱). زیرا میانگین کاهش عملکرد گیاه کنجد در شرایط مخلوط نسبت به

تک‌کشتی کمتر از میزان کاهش عملکرد گیاه ماش در شرایط مخلوط نسبت به تک‌کشتی آن است. به عبارت دیگر در شرایط کشت مخلوط، گیاه کنجد گونه غالب محسوب می‌گردد. گزارش شده که میانگین کمیت شاخص توان رقابتی برای ذرت در کشت مخلوط ذرت و آمارانت (*Amaranthus hypochondriacus* L.) بیش‌تراز کشت مخلوط ذرت و ماش بود. این مسأله بیانگر این نکته است که گیاه ماش در مقایسه با گیاه آمارانت از توان رقابت‌کنندگی بیش‌تری با گیاه ذرت برخوردار بوده است (Aynehband & behrooz, 2011). همچنین گزارش شده که در کشت مخلوط لوبیا چشم بلبلی، سویا (*Glycine max* L.)، و ماش با گیاه کنجد، گیاه لوبیا چشم بلبلی در مقایسه با دو گیاه دیگر از کمیت شاخص توان رقابتی بیش‌تری برخوردار بود. به عبارت دیگر لوبیا چشم بلبلی رقابت‌کننده قوی‌تری با کنجد در مقایسه با دو بقولات دیگر بود. در مقابل، کمتر بودن مقدار این شاخص برای ماش نشان‌دهنده مناسب بودن اجرای کشت مخلوط کنجد و ماش بیان شده است (Bhatti et al., 2008).

۷- شدت مطلق رقابت: در هر دو گیاه کنجد و ماش با کاهش نسبت تراکمی از ۷۵ ٪به ۲۵٪، مقدار این شاخص افزایش یافت. در کنجد، بیش‌ترین (۶۶۴ تن در هکتار) و کمترین (۹۹ تن در هکتار) میزان اختلاف در تولید بین شرایط کشت مخلوط و تک‌کشتی به ترتیب در فواصل بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و نسبت تراکمی ۲۵٪ و فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و نسبت تراکمی ۷۵٪ به دست آمد. به عبارت دیگر در گیاه کنجد چنان‌چه فواصل بین ردیف افزایش یابد (از ۵۰ به ۷۵ تن در هکتار)، برای جبران کاهش عملکرد باید نسبت تراکمی آن افزایش یابد (از ۲۵٪ به ۷۵٪). در گیاه ماش، بیش‌ترین میزان اختلاف عملکرد بین شرایط کشت مخلوط و تک‌کشتی در هر دو فاصله بین ردیف ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر در نسبت تراکمی ۲۵٪ ماش به دست آمد (به ترتیب ۱۰۹۷ و ۱۰۲۵ کیلوگرم در هکتار). به عبارت دیگر در کنجد افزایش فواصل بین ردیف از ۵۰ به ۷۵ سانتی‌متر، میانگین اختلاف عملکرد را کاهش داده (از ۳۱۶ به ۲۷۰ تن در هکتار)، در حالی‌که این وضعیت در ماش افزایش یافته است (از ۸۲۳ به ۸۵۱ تن در هکتار). بنابراین، ماش در فواصل بین ردیف کمتر و برعکس، کنجد در فواصل بین‌ردیف بیش‌تر، گیاه رقابت‌کننده‌تری بوده اند. گزارش شده که هر چه مقدار این شاخص بیش‌تر باشد، افت عملکرد دانه در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی بیش‌تر خواهد بود (Sobkowicz, 2006).

جدول ٤- اثر تیمارهای آزمایش بر شاخص‌های نسبت رقاب‌کنندگی و شدت رقابت مطلق

Table 4- Effect of treatments on Absolute competition intensity and competitive ratio indexes

فاصله بین ردیف (سانتی‌متر) Inter-row (cm)	نسبت تراکمی (درصد) Planting ratios (%)	نسبت رقابت‌کنندگی Competitive ratio		شدت مطلق رقابت Absolute competition intensity	
	کنجد:ماش Mung bean: sesame	کنجد Sesame	ماش Mung bean	کنجد Sesame	ماش Mung bean
50	0:100	–	–	–	–
	25:75	1.04	0.96	134	1097
	50:50	2	0.49	152	854
	75:25	2.5	0.12	664	517
	100:0	–	–	–	–
75	0:100	–	–	–	–
	25:75	0.8	1.1	99	1025
	50:50	1.9	0.51	153	885
	75:25	1.4	0.33	558	642
	100:0	–	–	–	–
میانگین ۵۰ Average 50		1.85[a]	0.52[b]	316[a]	823[a]
میانگین ۷۵ Average 75		1.42[b]	0.68[a]	270[b]	851[a]

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک به لحاظ آماری در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means with the same letters in each column are not significantly different at the 0.05 level of probability.

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج این آزمایش نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه مخلوط در نسبت تراکمی ۵۰٪ هر یک از گیاهان بدون تأثیر معنی‌دار فاصله ردیف ۵۰ یا ۷۵ سانتی‌متر به دست آمد (۲/۰۵ و ۲ تن در هکتار). در این شرایط سهم عملکرد دانه کنجد دو برابر عملکرد دانه ماش بود (به ترتیب ۱/۳۵ و ۰/۶۹ کیلوگرم در هکتار). عملکرد و مقدار نسبت برابری زمین الگوهای کشت مخلوط بیش‌تر از عملکرد تک‌کشتی هر یک از گیاهان بود. شاخص‌های رقابت نشان داد که در بیش‌تر حالات، گیاه کنجد گونه رقابت‌کننده قوی‌تری نسبت به ماش بود. به علاوه، چنان‌چه نسبت تراکمی کنجد از ۲۵٪ کل تراکم مخلوط کمتر شود، این گیاه قدرت تهاجمی مطلوبی نخواهد داشت. در مقابل، گیاه ماش تنها زمانی از قدرت تهاجمی مناسبی در مخلوط برخوردار خواهد بود که نسبت تراکمی آن ۷۵٪ به بالا باشد.

منابع

1- Ali, M.O., Alam, M.J., Alam, M.S., Islam, M.S., Islam, M.A., and Shahin-Uz-Zaman, M. 2007. Study of mixed cropping mung bean with sesame at different seeding rates. International Journal of Sustainable Crop Production 2(5): 74-77.

2- Aynehband, A., and Behrooz, M. 2011. Evaluation of cereal-legume and cereal-pseudocereal intercropping systems through forage productivity and competition ability. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 10(4): 675-683.

3- Aynehband, A., Behrooz, M., and Afshar, A.H. 2010. Study of intercropping agroecosystem productivity influenced by different crops and planting ratios. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 7(2): 163-169.

4- Banik, P., Sasmal, T., Ghosal, P.K., and Bagchi, D.K. 2000. Evaluation of mustard (*Brassica campestris* var. Toria) and legume intercropping under 1:1 and 2:1 row-replacement series systems. Journal of Agronomy and Crop Science 185: 9-14.

5- Bhatti, I.H., Ahmad, R., Jabbar, A., Virk, Z.A., and Aslam, M. 2008. Agro-Economic performance of mung bean intercropped in sesame under different planting patterns. Pakistan Journal of Agricultural Science 45(3): 25-28.

6- Dhima, K.V., Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., and Dordas, C.A. 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. Field Crops Research 100: 249-256.

7- Ghosh, P.K. 2004. Growth, yield, competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. Field Crops Research 88: 227-237.

8- Hauggaard-Nielsen, H., and Jensen, E.S. 2001. Evaluation pea and barley cultivars for complementarily in intercropping at different levels of soil N availability. Field Crops Research 72: 185-196.

9- Koocheki, A., Lalehgani, B., and Najibnia, S. 2009. Evaluation of productivity in bean and corn intercropping. Iranian Journal of Field Crop Research 7(2): 605-614. (In Persian with English Summary)

10- Oroka, F.O., and Omoregie, A.U. 2007. Competition in rice-cowpea intercrops as affected by nitrogen fertilization and plant population. Scientia Agricola (Piracicaba, Braz) 64: 621-629.

11- Oseni, T.O. 2010. Evaluation of Sorghum-Cowpea Intercrop Productivity in Savanna Agro-ecology using Competition Indices. Journal of Agricultural Science 2(3): 229-234.

12- Pouramir, F., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Ghorbani, R. 2010. Evaluation the effect of different planting ratios on yield and yield components of intercropping sesame and chickpea in additive series. Iranian Journal of Field Crops Research 8(3): 393-402. (In Persian with English Summary)

13- Sobkowicz, P. 2006. Competition between triticale (*Triticosecale* Witt.) and field beans (*Vicia faba* var. minor L.) in additive intercrops. Plant, Soil and Environment 2: 47-54.

14- Wahla, I.H., Ahmad, R., Ehsanullah, Ahmad, A., and Jabbar, A. 2009. Competitive function of components crops in some barley based intercropping systems. International Journal of Agriculture and Biology 11: 69-72.

15- Yilmaz, F., Atak, M., and Erayman, M. 2008. Identification of advantages of maize-legume intercropping over solitary cropping through competition indices in the East Mediterranean region. Turkish Journal of Agriculture and

Forestry 32: 111-119.

16- Zhang, F., and Li, L. 2003. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crops productivity and nutrient-use efficiency. Plant and Soil 248: 305-312.

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 356-367

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۳۶۷-۳۵۶

Competitiveness of sesame and mung bean crops in both monocropping and intercropping systems

S. Rastgo[1], A. Aynehband[2*] and E. Fateh[3]
Submitted: 20-01-2014
Accepted: 18-12-2014

Introduction

Intercropping is one of the effective agroecological systems which presence of two or more crops in this system will increase total yield due to improving some resource use efficiencies such as nutrient and light (Aynehband et al., 2010). In this regard, it has been found that-in corn-mung bean intercropping system the highest forage yield was belonged to 75% corn and 25% mung bean density ratio (Aynehband & Behroz, 2011). Hence, the aim of this study was to evaluate the competitive ability of sesame and mung bean crops in intercropping system and its effects on grain yield of these crops in Ahvaz.

Material and methods

In this research, a field experiment was conducted for one year (2012) at the experimental farm of Collage of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. Experimental design was split-plot based on RCB with three replications. Main plot was included two planting patterns with 50 and 75 cm inter-rows and sub-plots were included five plant density ratios with 100% sesame or mung bean and, 25% - 75%, 50% - 50%, 75% - 25% of each crop. Finally, grain and biological yield of both crop in monocropping and double cropping were calculated and also some competitive indices such as LER: Land equivalent ratio, AYL: Actual yield loss, A: Aggressivity, K: Relative crowding coefficient, RCI: Relative competition intensity, CR: Competitive ratio and ACI: Absolute competition intensity were computed.

Results and discussion

Our result showed that both 50 and 75 cm inter-rows in 50+50% density ratios had the highest intercrop grain yield, respectively (2.05 and 2 $t.ha^{-1}$). In the most treatments, sesame had the higher grain yield than Mung bean. Increasing plant density had a positive effect on yield improving of both crops and increasing of inter-row had more positive effect on grain yield than biological yield. The harvest index (HI) was improved by increasing of inter-row due to increase in grain yield and decrease in biological yield. The LER index was higher than one in all intercropping treatments which mirror the priority of intercropping systems compared to mono-cropping systems. In both inter-rows and in 50% and 75% sesame density, LER of sesame was higher than LER of mung bean. The highest LER (1.34) belonged to 50–50% density ratio of each crop and changing in inter-row had not effect on LER. In addition, reduction in sesame density ratio (less than 25%) converts this crop to lower aggressive crop. When density ratio of mung bean was more than 75%, this crop had a suitable aggressive situation in canopy. At the same planting density (e.g. 50%+50%), sesame will be more aggressive crop and also, have higher use of inputs than mung bean. Without change in density ratio, increase in inter-rows, increased the aggressively of sesame (from 0.15 to 0.17), while this situation decreased the aggressively of mung bean (from –0.15 to –0.17). It is found that, ignoring the density ratios, wider inter-row caused increase in sesame aggressively (from 0.15 to 0.17), but, this situation had opposite effect on mung bean. It seems that some of these different reactions between both crops was due to differences in plant height (sesame was taller than mung bean) and the placement of pods in crop stand (sesame pods mostly located on the top of stand, but mung bean pods are in the middle of stand). These anatomic differences caused that just when mung bean density was more than 75%, this crop became more aggressive than sesame.

Conclusion

1, 2 and 3- Msc student, Professor and Associate professor of Department of Agronomy and Plant Breeding, Agricultural Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: aynehband@scu.ac.ir)

It is concluded that sesame had higher competition ability than mung bean, so this crop was dominant crop in intercropping system. Sesame also had higher relative crowding coefficient. This advantage caused to this fact that sesame had a decisive role to shape the intercropping canopy arrangement, but mung bean had a lower change in actual yield loss than sesame in intercropping system. In addition, 50% - 50% density ratio was the optimum intercropping density due to the highest grain yield and also, 75 cm inter-row was the best cropping pattern due to optimum competition ability. It is also found that the grain yield is not the only appropriate parameter in intercropping system; therefore the other competition indices for this system should also be considered.

Keywords: Aggressively, Competition intensity, Land equivalent ratio, Plant density ratio

References

Aynehband, A., and Behrooz, M. 2011. Evaluation of cereal-legume and cereal-pseudocereal intercropping systems through forage productivity and competition ability. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 10(4): 675-683

Aynehband, A., Behrooz, M., and Afshar, A.H. 2010. Study of intercropping agroecosystem productivity influenced by different crops and planting ratios. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 7(2): 163-169.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۳۸۰-۳۶۸

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 368-380

پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی بخشی از اراضی قزوین برای کشت گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از RS و GIS

فریدون سرمدیان[1*] و عباس طاعتی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۰۸

چکیده

یکی از ابزارهای مؤثر برای شناخت توانمندی‌های اراضی و اختصاص آن‌ها به بهترین و سودآورترین انواع بهره‌وری، پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی می‌باشد. در این تحقیق به منظور پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی بخش از اراضی قزوین از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. پس از پهنه‌بندی اگروکلیماتیک (بر اساس نقشه‌های هم‌باران، هم‌دما و طول دوره رشد) و پهنه‌بندی اگروادافیک (بر اساس نقشه‌های خاک، شیب و کاربری اراضی)، در نهایت ۴۳ پهنه اگرواکولوژیکی به دست آمد. سپس مشخصات اقلیم، خاک و توپوگرافی هر پهنه با نیازهای رویشی گندم (*Triticum aestivum* L.) مقایسه و کلاس‌های تناسب اراضی با استفاده از روش پارامتریک (ریشه دوم) تعیین شدند. نتایج نشان داد که کلاس تناسب اقلیم برای محصول گندم خیلی مناسب (S_1) می‌باشد. بر اساس روش ریشه دوم تقریباً ۳۴/۱۴٪، ۴۳/۱۶٪، ۱۴/۹۴٪، ۴/۰۳٪ و ۳/۷۲٪ اراضی به ترتیب در کلاس‌های خیلی مناسب (S_1)، مناسب (S_2)، تناسب بحرانی (S_3)، نامناسب (N) و مطالعه نشده (NS) قرار گرفتند. به علاوه محدودیت‌های عمده در منطقه شامل عمق خاک و درصد سنگریزه در شمال منطقه، همچنین شور و سدیمی بودن اراضی، کمبود ماده آلی و گچ در جنوب منطقه می‌باشد. پتانسیل تولید گندم نیز با استفاده از روش فائو محاسبه شد و مقدار آن ۶۶۶۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. همچنین پتانسیل تولید اراضی در هر یک از پهنه‌ها، نیز تعیین شد. این کاهش عملکرد نسبت به پتانسیل تولید به علت تأثیر عوامل محدودکننده می‌باشدکه با اصلاح این محدودیت‌ها مثل اعمال مدیریت صحیح از قبیل افزایش ماده آلی به خاک و زهکشی و آبشویی اراضی می‌توان عملکرد محصول را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل تولید، تصاویر ماهواره‌ای، ریشه دوم، کاربری اراضی، کلاس‌های تناسب

مقدمه

رشد روز افزون جمعیت از طرفی و نابودی منابع طبیعی از طرف دیگر باعث شده است که عصر حاضر با بحران‌های گوناگون رو به رو گردد. بر اساس گزارش فائو غذای مورد نیاز برای یک و نیم میلیارد نفری که تا سال ۲۰۲۰ میلادی به جمعیت کره زمین افزوده می‌شود باید از تولید بیشتر بر روی اراضی کشاورزی تأمین گردد (FAO, 2007). در حال حاضر، اطلاع دقیقی از اراضی مناسب برای محصولات مهم که لازم است تولید شوند وجود ندارد. از طرف دیگر، تنوع آب و هوایی، خاک و توپوگرافی، شرایط متفاوت اگرواکولوژیکی را نیز به وجود می‌آورد که این شرایط برای تولید بعضی گیاهان مناسب و برای برخی دیگر دارای تناسب متوسط و یا نامناسب محسوب می‌شود (Ghaffari et al., 2012). لذا برای دستیابی به تولید مناسب لازم است محدودیت‌ها و قابلیت‌های این مناطق شناسایی شود. با توجه به مطالب مذکور می‌توان عنوان کرد که تأمین بیشتر غذا و سایر منابع محیطی با حفظ منابع زیستی برای آیندگان تنها در سایه تغییر در الگوی مصرف و کاربری اراضی به منظور بهره‌برداری عادلانه‌تر همه انسان‌هاست که برای نیل به این اهداف باید به کشاورزی پایدار روی آورد و برای رسیدن به کشاورزی پایدار یکی از روش‌های کاربردی، ارزیابی تناسب اراضی می‌باشد که برای حل این مشکلات یک روش مناسب است. بنابراین ارزیابی و مدیریت خاک و اراضی از اهمیت روزافزونی بر خوردار است و ارائه یک برنامه کاربردی، برای استفاده مؤثر و کارا از اراضی بیش از پیش احساس می‌شود (Teka & Haftu, 2012).

۱ و ۲- به ترتیب استاد و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: fsarmad@ut.ac.ir)

پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی یکی از انواع ارزیابی است که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است و می‌تواند به عنوان الگویی برای ارزیابی اراضی، برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر از منابع اراضی مورد استفاده قرار گیرد. FAO در سال ۱۹۹۷ میلادی پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی را این‌طور توصیف کرده است: پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی به عنوان یک واحد ارزیابی، شامل پهنه نسبتاً وسیعی است که از نظر طبقه‌بندی و نیازهای اقلیمی، خاک، توپوگرافی، کاربری اراضی و همچنین دوره رشد برای محصولات مورد نظر یکسان و همگن است. نقشه‌های پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی یک ابزار ضروری و اجتناب‌ناپذیر برای برنامه‌ریزی کشاورزی می‌باشد. در این نقشه‌ها تک‌تک اجزای کلیدی و مهم به صورت یک مجموع همگن واحد، ظرفیت بالقوه کشاورزی و محدودیت‌های آن را برای تصمیم گیرندگان و برنامه‌ریزان کشاورزی مشخص می‌نماید (FAO, 1997).

AEZ[1] یک منطقه را بر اساس توانایی‌های آن از لحاظ استعداد اراضی، تولید و قابلیت اراضی تقسیم‌بندی می‌نماید؛ با توجه به توانمندی‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، استفاده و تلفیق این سیستم‌ها از طریق ایجاد مجموعه‌ای از پایگاه داده‌ها به صورت لایه‌های مختلف و در نهایت استفاده از مدل‌های موجود در ارزیابی همزمان لایه‌ها، کمک شایان توجهی به پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی می‌نماید (Maji et al., 1998; Walk et al., 2012). پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی در کشورهای مختلف برای مقاصد متفاوت به کار گرفته شده است. به عنوان مثال، می‌توان به مطالعات پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی در مصر با استفاده از GIS[2] و RS[3] اشاره نمود (Ismail, 2012). در اندونزی نیز، پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی و ارزیابی تناسب اراضی برای کشت ذرت با استفاده از GIS انجام شد و برای تعیین کلاس‌های تناسب اراضی در پهنه‌ها از چارچوب فائو استفاده کردند (Kandari et al., 2013). دچانگ و همکاران (Dacheng et al., 2011) نیز ارزیابی تناسب اراضی را با استفاده از GIS و RS برای کشت گندم زمستانه (*Triticum aestivum* L.) در منطقه بیجینگ چین انجام دادند. بر اساس نتایج ۲۷/۲٪ از اراضی در کلاس S_1، ۶۱/۵٪ در کلاس S_2، ۱۶/۱٪ در کلاس S_3 و ۳۹/۹٪ در کلاس N قرار گرفتند. در ایران نیز نصیری و کوچکی (Nassiri & Koocheki, 2009) مطالعه‌ای را به منظور پهنه‌بندی اگرواکولوژی استان خراسان از نظر پتانسیل عملکرد گندم انجام دادند.

بنابراین، این تحقیق با هدف پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی بخشی از اراضی قزوین برای کشت گندم، به منظور فراهم آوردن یک پایگاه جامع و کامل از خصوصیات منابع اراضی به منظور برنامه‌ریزی و سازماندهی بهره‌برداری بهینه اراضی، ارزیابی تناسب اراضی در هر یک از پهنه‌های اگرواکولوژیکی با استفاده از روش پارامتریک (ریشه دوم)، محاسبه پتانسیل تولید گندم؛ همچنین پتانسیل تولید اراضی در هر یک از پهنه‌های اگرواکولوژیکی و در نهایت تهیه یک بانک اطلاعاتی در محیط GIS به منظور استخراج نقشه‌های پهنه‌بندی مربوط به هر یک از مشخصات خاک انجام شد.

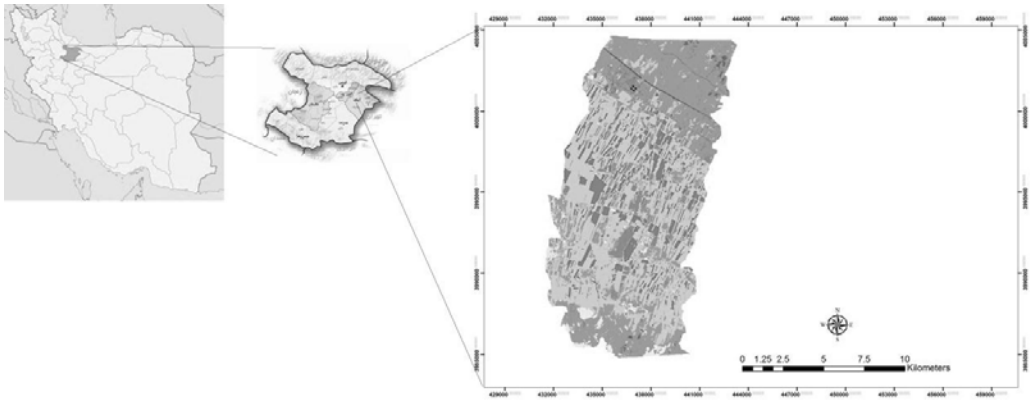
مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از اراضی دشت قزوین می‌باشد که در محدوده نصف النهارهای "۵۸ '۱۶ °۵۰ تا "۱۶ '۲۰ °۵۰ طول شرقی و مدارهای "۶' ۱۱ °۳۶ تا "۲۷ '۰۰ °۳۶ عرض شمالی قرار دارد. که در سیستم متریک[4] در زون ۳۹ قرار گرفته است. وسعت منطقه مورد مطالعه ۱۶۶۱۸ هکتار می‌باشد. این منطقه در محدوده شهرستان آبیک واقع شده است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس آمار هواشناسی روزانه و ماهانه ایستگاه کلیماتولوژی نیروگاه شهید رجائی در یک دوره آماری ۲۱ ساله (۲۰۰۵-۱۹۸۴ میلادی)، متوسط بارندگی سالیانه این منطقه ۲۵۷/۵ میلی‌متر در سال است که بیشترین آن به میزان ۴۹/۵ میلی‌متر در ماه مارس (اسفند) و کمترین آن به میزان صفر میلی‌متر در ماه سپتامبر (شهریور) رخ داده است. متوسط دمای سالانه ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداکثر و حداقل دما به ترتیب ۲۱/۵ و ۷/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رژیم حرارتی و رطوبتی خاک به ترتیب ترمیک[5] و زریک خشک[6] و اریدیک ضعیف[7] می‌باشد.

1- Agro-ecological zoning
2- Geographic information system
3- Remote sensing

4- Universal transverse mercator
5- Thermic
6- Dry xeric
7- Weak aridic



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان قزوین
Fig. 1- Position of the study area in Qazvin province

نقشه هم‌باران

به منظور تهیه نقشه هم‌باران، به علت این‌که در منطقه مورد مطالعه، تعداد ایستگاه هواشناسی محدود بود از نقشه هم‌باران تهیه شده توسط اداره کل هواشناسی استان قزوین استفاده شد. به این صورت که به منظور تهیه نقشه هم‌باران از داده‌های نرمال میانگین بارش سالیانه ۶۰ ایستگاه هواشناسی مختلف (سینوپتیک و کلیماتولوژی) موجود در داخل و خارج استان در یک دوره آماری ۲۷ ساله استفاده شد. برای میانیابی از روش IDW[1] موجود در نرم‌افزار ArcMap استفاده شد و نقشه هم‌باران با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ به دست آمد؛ سپس نقشه رستری به وکتوری تبدیل و به عنوان یک لایه در پهنه‌بندی استفاده شد.

نقشه هم‌دما

جهت تهیه نقشه هم‌دما، از معادله رگرسیونی بین متوسط سالانه دما و ارتفاع استفاده شد.

$$Tmean = -0.0045H + 19.54 \ , \ R^2 = 0.78 \qquad (۱)$$

که در این معادله، Tmean: متوسط سالانه دما و H: ارتفاع می‌باشد و در نهایت، با وارد کردن مدل رقومی ارتفاع[2] منطقه با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر، نقشه هم‌دمای منطقه با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ تهیه گردید و سپس نقشه رستری به وکتوری تبدیل شد.

نقشه طول دوره رشد

در این تحقیق برای تهیه نقشه طول دوره رشد در ابتدا تبخیر و تعرق پتانسیل برای چهار ایستگاه هواشناسی (نیروگاه، باغ کوثر، قزوین و بوئین زهرا) توسط نرم‌افزار Cropwat به دست آمد و همچنین طول دوره رشد نیز برای این ایستگاه‌ها محاسبه گردید. طبق تعریف فائو دوره رشد در هر منطقه شامل دوره‌ای از سال است که تولید محصولات کشاورزی به خاطر وجود رطوبت کافی و عدم محدودیت حرارتی، امکان‌پذیر باشد و دوره رشد در هر منطقه شامل دوره‌ای می‌شود که دمای هوا بالای ۶/۵ درجه سانتی‌گراد بوده و میزان نزولات بیش از نصف میزان تبخیر و تعرق پتانسیل بوده به اضافه تعداد روزهایی که لازم است تا ۱۰۰ میلی‌متر آب ذخیره شده در خاک پس از پایان بارندگی به اتمام برسد (FAO, 1996). یکی از روش‌های محاسبه دوره رشد که در این‌جا به آن اشاره می‌شود روش خطی است. در این روش از اطلاعات اقلیمی ده روزه استفاده می‌شود که روش محاسبه آن به شرح زیر می‌باشد:

محاسبه شروع دوره رشد (بارندگی)

زمانی که دو دهه متوالی دو شرط مقابل را داشته باشند را در نظر می‌گیریم: $P_2 > 1/2E_2, P_1 < 1/2E_1$

P_1 و P_2: میزان بارندگی، E_1 و E_2: میزان تبخیر و تعرق پتانسیل

1- Inverse distance weighted
2- Digital elevation model

دهه اول و دوم هستند. شروع دوره رشد (بارندگی) از معادله زیر به دست می‌آید:

$$T = \text{int}eger\frac{[(P_1 - 1/2E_1)*10]}{(P_1 - P_2 + 1/2E_2 - 1/2E_1)} \quad (۲)$$

t: زمان بر حسب روز است که از وسط دهه اول شروع می‌شود.

محاسبه پایان دوره بارندگی

زمانی که دو دهه متوالی دو شرط مقابل را داشته باشند را در نظر گرفته می‌شود: $P_1 > 1/2E_1, P_2 < 1/2E_2$

پایان دوره بارندگی از معادله (۲) به دست می‌آید.

محاسبه شروع دوره مرطوب

زمانی که دو دهه متوالی دو شرط مقابل را داشته باشند را در نظر گرفته شد: $P_1 < E_1, P_2 > E_2$

شروع دوره مرطوب از معادله زیر به دست می‌آید:

$$t = \text{int}eger\frac{[(P_1 - E_1)*10]}{(P_1 - P_2 + E_2 - E_1)} \quad (۳)$$

در این معادله، t: زمان بر حسب روز است که از وسط دهه اول شروع می‌شود.

محاسبه پایان دوره مرطوب

زمانی که دو دهه متوالی دو شرط مقابل را داشته باشند را در نظر گرفته شد: $P_1 > E_1, P_2 < E_2$

پایان دوره مرطوب از معادله (۳) به دست می‌آید.

پایان دوره رشد

پایان دوره رشد با اضافه کردن تعداد روزهایی که در آن‌ها ۱۰۰ میلی‌متر از آب خاک تبخیر شده است به پایان دوره بارندگی به دست می‌آید. پس از به دست آوردن طول دوره رشد برای ایستگاه‌های فوق، نقشه طول دوره رشد منطقه بر اساس موقعیت ایستگاه‌ها و خطوط هم‌دما و هم‌بارش به دست آمد.

نقشه خاک

برای تهیه نقشه خاک، با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی ۱/۴۰۰۰۰ منطقه و همچنین تصاویر IRS[1] به عنوان داده کمکی و همچنین با توجه به مطالعات صحرایی، خصوصیات موفولوژی ۶۱ پروفیل خاک و انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی لازم بر روی نمونه‌های خاک فامیل‌های خاک مشخص و در نهایت نقشه خاک با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ تهیه گردید. نقشه شیب نیز با استفاده از مدل رقومی ارتفاع منطقه با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ در محیط ArcMap تهیه شد.

نقشه کاربری اراضی

جهت تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه از داده‌های سنجنده ETM+[2] ماهواره لندست ۷ مربوط به سال ۲۰۱۱ میلادی با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر و پانکروماتیک[3] ماهواره IRS مربوط به سال ۲۰۰۶ میلادی با قدرت تفکیک مکانی شش متر استفاده شد و پس از انجام پردازش تصاویر ماهواره‌ای، نقشه کاربری اراضی منطقه، توسط الگوریتم بیشترین شباهت[4] استخراج شد (Ahmad & Quegan, 2012; Manisha et al., 2012).

تهیه نقشه پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی

برای تهیه نقشه پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی منطقه، لایه‌های اطلاعاتی شامل: (نقشه‌های هم‌باران، هم‌دما، طول دوره رشد، خاک، شیب و کاربری اراضی) در محیط GIS فراخوانی شدند و با کمک دستور Union کار تلفیق و همپوشانی لایه‌ها انجام و نقشه پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی منطقه استخراج گردید.

ارزیابی تناسب اراضی

به منظور ارزیابی تناسب اراضی در پهنه‌های اگرواکولوژیکی عمل انطباق خصوصیات اراضی در هر یک از پهنه‌های تعریف شده با نیازهای رویشی گندم انجام و کلاس نهایی اراضی تعیین گردید. در این تحقیق از روش پارامتریک (ریشه دوم) که توسط (Sys et al., 1991) ارائه شده است برای تعیین کلاس‌های تناسب اراضی استفاده شد. در این روش، یک درجه‌بندی کمی به هر خصوصیت اراضی اختصاص داده می‌شود. اگر خصوصیتی برای محصول مورد نظر کاملاً مطلوب باشد، درجه حداکثر ۱۰۰ به آن اختصاص می‌یابد. اگر همان خصوصیت دارای محدودیت باشد درجه کمتری به آن اختصاص

1- Indian remote sensing satellite

2- Enhanced thematic mapper plus
3- Panchromatic
3- Maximum likelihood

می‌یابد. در روش ریشه دوم برای به دست آوردن شاخص اراضی از معادله ۴ استفاده می‌شود.

$$I = R\min * \sqrt{A/100 * B/100 * \ldots} \quad (۴)$$

در این معادله، I: شاخص اراضی، A,B,C,…: درجات اختصاص داده شده به هر کدام از خصوصیات اراضی، R_{min}: خصوصیت با درجه حداقل می‌باشد. سپس با استفاده از جدول ۱ کلاس تناسب اراضی مشخص می‌شود.

جدول ۱- کلاس‌های تناسب اراضی بر اساس شاخص اراضی در روش پارامتریک (ریشه دوم)، (Sys et al., 1991)

Table 1- Land suitability classes based on land index in the parametric methods (square root)، (Sys et al., 1991)

شاخص Index	کلاس‌های تناسب Suitability classes
75-100	S_1 (خیلی مناسب) S_1 (Highly suitable)
50-75	S_2 (نسبتاً مناسب) S_2 (Moderately suitable)
25-50	S_3 (تناسب بحرانی) S_3 (Marginally suitable)
0-25	N (نامناسب) N (Unsuitable)

محاسبه پتانسیل تولید محصولات

برای تخمین پتانسیل تولید محصولات در منطقه مورد مطالعه، بر اساس مدل فائو (Sys et al., 1991)، موارد زیر اندازه‌گیری و محاسبه گردید:

ضریب تنفس

برای محاسبه ضریب تنفس از معادله (۵) استفاده شد.

$$Ct = C30(0.044 + 0.0019t + 0.001t^2) \quad (۵)$$

در این معادله، Ct: ضریب تنفس، C30: برای گیاهان غیرلگوم، ۰/۰۱۰۸ و t: متوسط درجه حرارت در طول دوره رشد (بر حسب درجه سانتی‌گراد) می‌باشد.

حداکثر سرعت تولید ناخالص بیوماس

برای محاسبه این متغیر، معادلات (۶) و (۷) مورد استفاده قرار گرفت:

$$bgm = f * bo.(1 + 0.002y) + (1 - f) * bc.(1 + 0.005y) \quad (۶)$$

$$y = \left|(pm - 20) * 5\right| \quad (۷)$$

در این معادلات، bgm: حداکثر سرعت تولید ناخالص بیوماس (کیلوگرم در هکتار در ساعت)، f: بخشی از روز که آسمان ابری است که برای محاسبه f از معادله ۸ استفاده شد:

$$f = 1 - n/N \quad (۸)$$

در این معادله، n:تعداد ساعات آفتابی واقعی است که از آمار هواشناسی منطقه به دست آمد و N: تعداد ساعات آفتابی ممکن در منطقه است که بستگی به عرض جغرافیایی دارد. bo: حداکثر سرعت تولید ناخالص بیوماس در روزهای ابری (کیلوگرم در هکتار در روز)؛ bc: حداکثر سرعت تولید ناخالص بیوماس در روزهای آفتابی (کیلوگرم در هکتار در روز) می‌باشد که مقادیر bo و bc بسته به عرض جغرافیایی منطقه، متفاوت می‌باشند. این مقادیر توسط دوایت (De Wit, 1965) محاسبه شده به صورت جدولی ارائه شده است. pm: سرعت حداکثر فتوسنتز (کیلوگرم CH_2O در هکتار در ساعت) می‌باشد. مقدار pm بستگی به درجه حرارت روزانه و روش فتوسنتزی محصول دارد. بسته به روش فتوسنتزی محصول، مقدار pm از روی شکل ۲ به دست آمد.

محاسبه تولید پتانسیل محصول

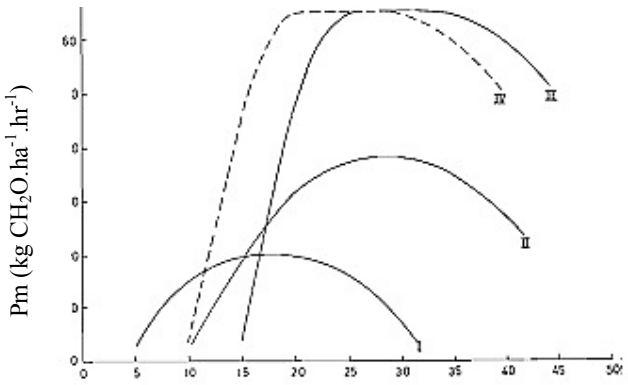
برای محاسبه تولید پتانسیل محصول از معادله (۹) استفاده شد.

$$Y = 0.36bgm * KLAI * Hi/\left[1/L + 0.25Ct\right] \quad (۹)$$

در این معادله، Y: پتانسیل تولید محصول (کیلوگرم ماده خشک در هکتار)، KLAI: نسبت حداکثر سرعت تولید ناخالص زیست‌توده وقتی که شاخص سطح برگ کمتر از پنج باشد. برای محاسبه KLAI ابتدا باید شاخص سطح برگ را برآورد کنیم که مقادیر متوسط شاخص سطح برگ برخی گیاهان به صورت جدولی ارائه شده است (Sys et al., 1991). با دانستن شاخص سطح برگ، مقدار KLAI از طریق شکل ۳ به دست آمد.

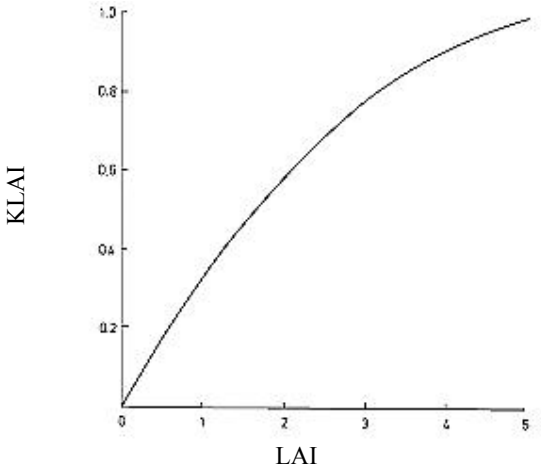
نتایج و بحث

پس از انجام همپوشانی نقشه‌های مورد نظر در محیط GIS، منطقه مورد مطالعه در قالب ۴۳ پهنه اگرواکولوژیکی تفکیک و تعریف شد. شکل ۴ نقشه پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی منطقه را نشان می‌دهد.



شکل۲- ارتباط بین سرعت حداکثر فتوسنتز (pm) و میانگین درجه حرارت روزانه برای محصولات گروه I، II، III و VI (Sys et al., 1991)

Fig. 2- Relationship between maximum leaf photosynthesis rate (pm) and day time temperature for crop groups I,II,III and IV (Sys et al., 1991)



شکل۳- ارتباط بین شاخص سطح برگ (LAI) و حداکثر سرعت تولید ناخالص زیست‌توده (Sys et al., 1991)

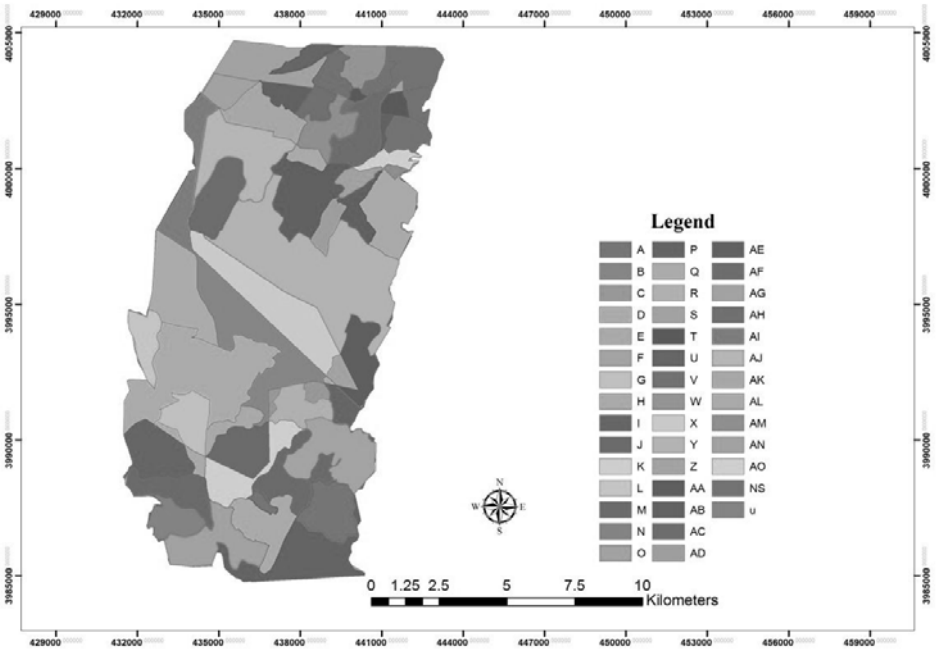
Fig. 3- Relationship between leaf area index (LAI) and maximum growth rate ratio (Sys et al., 1991)

که در این شکل، Hi: شاخص برداشت و L: طول دوره رشد (روز) می‌باشد.

در این نقشه، پهنه‌های اگرواکولوژیکی با حروف A تا AO نشان داده شده است. در این نقشه پهنه Y با مساحت ۱۸۰۸/۷ هکتار، بزرگترین پهنه را شامل می‌شود که ۱۰/۶۵ درصد از منطقه را در بر می‌گیرد و پهنه Z با مساحت ۷۶/۳۶ هکتار، کمترین پهنه را شامل می‌شود که ۰/۴۴ درصد از منطقه را در بر می‌گیرد.

نتایج ارزیابی اقلیم

نتایج ارزیابی اقلیم برای کشت گندم نشان داد که به طور کلی اقلیم محدودیت زیادی برای رشد ایجاد نمی‌کند و کلاس تناسب اقلیم، خیلی مناسب (S_1) می‌باشد.



شکل ٤- نقشه پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی منطقه مورد مطالعه در استان قزوین
Fig. 4- Agro-ecological zoning map of the study area in Qazvin province

نتایج ارزیابی تناسب اراضی

شکل ۵ نقشه پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی برای گندم با استفاده از روش پارامتریک (ریشه دوم) و شکل ۶ نیز درصد هر یک از کلاس‌های تناسب اراضی را نشان می‌دهد. کلاس تناسب اراضی نیز در در هر یک از پهنه‌ها نیز در جدول ۲ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج فوق، حدود ۳۴/۱۴٪ از اراضی در کلاس S_1، ۴۳/۱۶٪ در کلاس S_2، ۱۴/۹۴٪ در کلاس S_3، ۴/۰۳٪ در کلاس N و ۳/۷۲٪ در کلاس NS (مطالعه نشده) قرار گرفتند. پهنه‌های AG، AC، X، R، L، E و B در کلاس S_1 قرار می‌گیرند و بهترین شرایط را برای کشت گندم دارا هستند. پهنه R دارای بیشترین شاخص اراضی و پهنه N و O دارای کمترین شاخص اراضی می‌باشند. که به ترتیب دارای بهترین و بدترین شرایط برای کشت گندم دارا می‌باشند. به طوری که در پهنه‌های N و O کشت گندم از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد. اکثر پهنه‌های اگرواکولوژیکی در قسمت شمالی منطقه، دارای محدودیت‌های مربوط به خصوصیات فیزیکی خاک از جمله سنگریزه می‌باشند که آن‌ها را در کلاس S_2 قرار می‌دهد، که در این پهنه‌ها به دلیل وجود سنگریزه، ظرفیت نگه داشت آب کاهش یافته و امکان کشت مکانیزه نیز کاهش می‌یابد (Navidi, 2012). در پهنه‌های AN، AH، AD، W و V علاوه بر سنگیزه، عمق خاک نیز یکی از محدودیت‌های عمده برای کشت گندم محسوب می‌شود. بریزا و همکاران (Briza et al., 2003) با مطالعه ارزیابی تناسب اراضی در مراکش، مهمترین عامل محدودیت در کشت گندم را خصوصیات فیزیکی خاک از جمله عمق و بافت خاک معرفی کردند.

در پهنه‌های P، O، N، J، G، A، AB، Z، I و D نیز یکی از محدودیت‌های عمده شور و سدیمی بودن اراضی، همچنین بالا بودن مقدار گچ و کمبود ماده آلی می‌باشد. که با افزودن ماده آلی، آبشویی و اصلاح این اراضی می‌توان سطح قابل کشت اراضی منطقه را برای گندم افزایش داد (Sathish & Niranjana, Saremi et al., 2011; 2009). کمالی (Kamali, 2003) نیز با مطالعه ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات آبی گندم و جو (*Hordeum vulgare* L.) در منطقه آبیک استان قزوین، مهمترین عامل محدودیت را شوری خاک، گچ و pH بیان کرد.

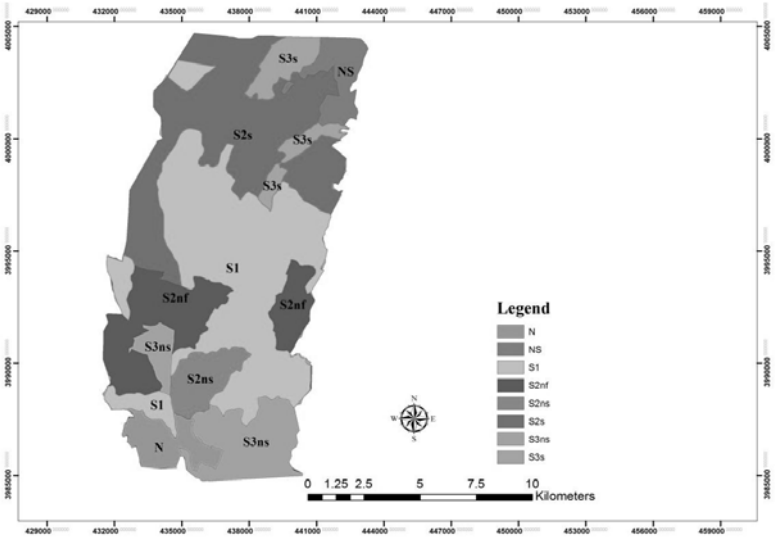
جدول ۲- کلاس تناسب اراضی در هر یک ازپهنه‌های اگرواکولوژیبرای گندم

Table 2- Land suitability classes in each agro-ecological zones for wheat

پهنه‌های اگرواکولوژی Agro-ecological zones	شاخص اراضی Land index	کلاس تناسب Suitability classes
A	41.24	S_3ns^*
B	86.47	S_1
D	62.84	S_2nf
E	77.50	S_1
G	47.70	S_3ns
I	51.20	S_2nf
J	59.40	S_2ns
L	80.85	S_1
N	21.30	N
O	18.43	N
P	40.62	S_3ns
Q	65.50	S_2s
R	92.30	S_1
S	57.66	S_2s
U	67.70	S_2s
V	44.30	S_3s
W	38.20	S_3s
X	86.47	S_1
Z	51.20	S_2nf
AB	57.66	S_2s
AC	81.20	S_1
AD	43.58	S_3s
AE	67.70	S_2s
AG	88.50	S_1
AH	44.30	S_3s
AI	74.00	S_2s
AL	55.61	S_2s
AN	41.71	S_3s

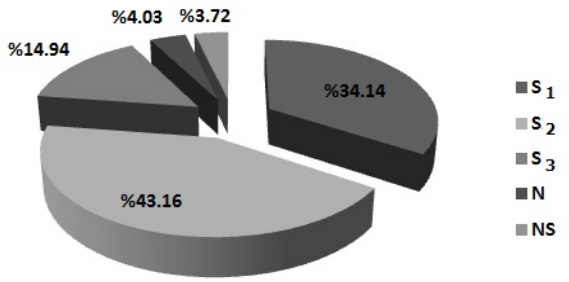
n، s و f: به ترتیب نشان‌دهنده محدودیت شوری و سدیمی، خصوصیات فیزیکی خاک و حاصل‌خیزی

n, s and f: Represent the salinity and alkalinity limitations, physical properties of soil and fertility respectively.

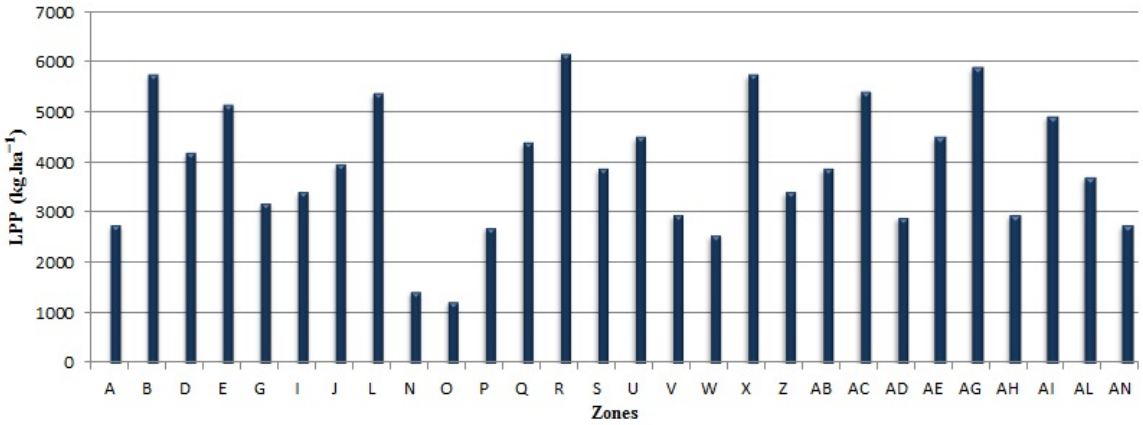


شکل۵- نقشه پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی منطقه مورد مطالعه برای گندم با استفاده از روش پارامتریک (ریشه دوم) در استان قزوین

Fig. 5- Agro-ecological zoning map of the study area for wheat using parametric method (square root) in Qazvin province



شکل ٦- درصد هر یک از کلاس‌های تناسب اراضی برای گندم
Fig. 6- The percentage of each land suitability classes for wheat



شکل ۷- پتانسیل تولید اراضی در هر یک از پهنه‌ها برای گندم
Fig. 7- Land production potential in each zones for wheat

محاسبه تولید پتانسیل برای گندم

با استفاده از روش فائو که قبلاً توضیح داده شد میزان تولید پتانسیل برای محصول گندم به دست آمد که مقدار آن ۶/۶۶ تن در هکتار برآورد گردید. همچنین پتانسیل تولید اراضی (LPP[1])، برای گندم با استفاده از شاخص به دست آمده از روش ریشه دوم، در هر یک از پهنه‌ها محاسبه شد (Tang et al., 1992). که نتایج آن در شکل ۷ آورده شده است.

عملکرد گندم با استفاده از روش ریشه دوم، بین ۱۲۲۸/۵ و ۶۱۵۲/۷ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. که کمترین و بیشترین عملکرد به ترتیب مربوط به پهنه‌های O و R بود. میزان عملکرد محصول بستگی به میزان محدودیت ناشی از خصوصیات اراضی دارد و برای استفاده بهینه می‌بایست؛ بهره‌برداری از اراضی با توجه به عملکرد به دست آمده در هر پهنه اگرواکولوژیکی صورت گیرد. این کاهش عملکرد در هر یک از پهنه‌های اگرواکولوژیکی، به علت تأثیر عوامل محدودکننده از قبیل محدودیت‌های مربوط به خصوصیات فیزیکی خاک از قبیل: عمق خاک و درصد سنگریزه در قسمت شمالی منطقه، همچنین شور و سدیمی بودن اراضی، کمبود ماده آلی و گچ در جنوب منطقه بود. یه و وانرانست (Ye & Van Ranst, 2002) پتانسیل تولید اراضی را برای گندم در شرایط مدیریت متوسط در شمال چین در واحدهای خاک مختلف بین صفر تا شش تن در هکتار به دست آوردند و محدودیت‌های عمده در میزان عملکرد محصول را بافت خاک، ماده آلی، pH و شور و سدیمی بودن اراضی بیان کردند. کشاورزی و همکاران (Keshavarzi et al., 2010)، در منطقه زیاران قزوین عملکرد محصول گندم را در واحدهای اراضی مختلف برآورد

1- Land production potential

کردند و نشان دادند که مهمترین ویژگی‌های مؤثر در تغییرات عملکرد محصول گندم در واحدهای اراضی مختلف، درصد سنگریزه و شور و سدیمی بودن اراضی بوده است. قسمت‌های مرکزی منطقه که شامل پهنه‌های X، R و B می‌باشد، دارای پتانسیل بالایی جهت تولید گندم هستند؛ و باید اولویت کشت گندم در این پهنه‌ها باشد. در پهنه‌هایی که دارای پتانسیل پائینی هستند با اعمال مدیریت صحیح از قبیل افزایش ماده آلی به خاک، زهکشی و آبشوئی اراضی، تناوب زراعی مناسب، استفاده از ارقام مقاوم به شوری، افزایش کارآیی مصرف آب و استفاده از روش‌های نوین آبیاری می‌توان عملکرد را افزایش داد.

نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی اراضی که یک ابزار ضروری و اجتناب‌ناپذیر برای برنامه‌ریزی کشاورزی می‌باشد؛ در قسمتی از اراضی قزوین انجام شد و از ادغام نقشه‌های پهنه‌بندی اگروکلیماتیک و اگروادافیک ۴۳ پهنه اگرواکولوژیکی به دست آمد و ارزیابی تناسب اراضی و همچنین پتانسیل تولید اراضی، در هر یک از پهنه‌ها برای محصول گندم با استفاده ازروش پارامتریک (ریشه دوم) انجام شد. نتایج نشان داد که خصوصیات اقلیمی محدودیتی را در کشت گندم ایجاد نمی‌کند. در مورد محدودیت‌های مربوط به خصوصیات خاک نیز نتایج نشان داد که قسمت مرکزی منطقه عمدتاً از تناسب بالایی برخوردارند و در قسمت شمالی منطقه محدودیت‌های مربوط به سنگریزه و عمق خاک و در قسمت جنوبی منطقه نیز عوامل ایجاد محدودیت، شور و سدیمی بودن خاک، کمبود ماده آلی و مقدار گچ می‌باشد همچنین در این تحقیق از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به عنوان ابزاری قدرتمند به عنوان یک پایگاه اطلاعات برای تجزیه و تحلیل اطلاعات و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی استفاده شد. استفاده توأم از سنجش از دور و GIS، یک مجموعه ابزارهای قدرتمند برای ذخیره، بازیابی، تحلیل و به روز کردن داده‌ها فراهم می‌کنند که نتایج آن می‌تواند به منظور برنامه‌ریزی، مدیریت منابع اراضی، کشت هر محصول مطابق با پتانسیل اراضی و در نهایت دستیابی به کشاورزی پایدار ارزشمند، کاربردی و گرانبها باشد.

منابع

1- Ahmad, A., and Quegan, S. 2012. Analysis of Maximum Likelihood Classification Technique on Landsat 5 TM Satellite Data of Tropical Land Covers. IEEE International Conference on Control System. Computing and Engineering. 23-25 Nov. Malaysia

2- Briza, Y., Delionardo, F., and Spisni, A. 2001. Land evaluation in the province of Ben Sliman, Morocco. 21st Course Professional Master Remote Sensing and Natural Resources Evaluation, 10 Nov. 2000-22 June 2001, IAO Florence, Italy, Vol. 1 p. 62-78.

3- Da-cheng, W., Cun-jun, L., Xiao-yu, S., Ji-hua, W., Xiao-dong, Y., Wen-jiang, H., and Ji-hong, Z. 2011. Assessment of land suitability potentials for selecting winter wheat cultivation areas in Beijing China using RS and GIS. Agricultural Sciences in China 10(9): 1419-1430.

4- De Wit, C.T. 1965. Photosynthesis of leaf canopies. Agricultural Research Reports. N° 663. Pudocsn, Wageningen 57 pp.

5- FAO. 1996. Agro-ecological Zoning. Guidelines. FAO Soils Bulletin No: 76. FAO. Rome.

6- FAO. 1997. Zonification agro-ecological, Gula general. Servicio de Recur sos, manejo y conservation de suelos, direction de fomento de tiers y aquas, FAO, Rome Italy 82 pp.

7- FAO. 2007. Land evaluation: Towards a revised framework. Land and Water Discussion Paper. No. 6, Rome.

8- Ghaffari, A., De Pauw, E., and Mirghasemi, S. 2012. Agroecological zone of Karkheh river Basin. Iranian Journal of Agriculture Sciences 1: 1-16. (In Persian with English Summary)

9- Ismail, M. 2012. Using remote sensing and GIS application in agro-ecological zoning of Egypt. International Journal of Environmental Sciences 2: 85-94.

10- Kamali, A. 2003. Land suitability assessment for major irrigated crops in Abyek (Qazvin) using remote sensing and GIS. MSc Thesis, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. (In Persian with English Summery)

11- Kandari, A., Baja, S., and Ala, A. 2013. Agro ecological zoning and land suitability assessment for maize (*Zea mays* L.) development in button regency Indonesia 2(6): 202-211.

12- Keshavarzi, A., Sarmadian, F., Heidari, A., and Omid, M. 2010. Land suitability evaluation using fuzzy continuous classification (a case study: Ziaran Region). Modern Applied Science 4(7): 72-81.
13- Maji, A., Krishna, N., and Challa, O. 1998. Geographical information system in analysis and interpretation of soil resource data for land use planning. Journal of Indian Society of Soil Science 46(2): 260-263.
14- Manisha, B., Chitra, G., and Umrikar, N. 2012. Image classification tool for land use/ land cover analysis: A comparative study of maximum likelihood and minimum distance method. International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences 3: 189-196.
15- Nassiri, M., and Koocheki, A. 2009. Agroecological zoning of wheat in Khorasan province: Estimating yield potential and yield gap. Journal of Iranian Field Crop Research 2: 695-709. (In Persian with English Summary)
16- Navidi, M. 2013. Application ofadvanced methodsinorder to achievesustainable agricultural and assessment using remote sensing and GIS in east Qazvin. PhD thesis, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. (In Persian with English Summery)
17- Saremi, H., Kumar, L., Sarmadian, F., Heidari, A., and Shabani, F. 2011. GIS based evaluation of land suitability : A case study for major crops in Zanjan University region. Journal of Food, Agriculture and Environmental 9: 741-744. (In Persian with English Summery)
18- Sathish, A., and Niranjana, V. 2009. Land suitability studies for major crops in pavagada taluk, Karnataka using remote sensing and GIS techniques. Journal of Indian Society Remote Sensing 38: 143-151.
19- Sys, C., Van Ranst, E., and Debaveye, J. 1991. Land Evaluation. Part I: Principles in Land Evaluation And Crop Production Calculations. General administration for development cooperation. Agricultural Publisher No. 7, Brussels, Belgium 274 pp.
20- Sys, C., Van Ranst, E., Debaveye, J., and Beernarent, F. 1993. Land evaluation. Part III: Crop requirements. International Training Center For Postgraduate Soil Scientist. Ghent University, Ghent 199 pp.
21- Tang, H., Van Ranst, E., and Sys, C. 1992. An approach to predict land production potential for irrigated and rainfed winter wheat in pinan county, Soil Technology 5: 213-224.
22- Teka, K., and Haftu, M. 2012. Land suitability characterization for crop and fruit production in midlands of tigray, Ethiopia. African Journals 4: 64-76.
23- Walke, N., Reddy, G., Maji, A., and Thayalan, S. 2012. GIS-based multicriteria overlay analysis in soil-suitability evaluation for cotton (*Gossypium* spp.): A case study in the black soil region of Central India. Computers and Geosciences 41: 108-118.
24- Ye, L., and Van Ranst, E. 2002. Population carrying capacity and sustainable agricultural use of land resources in Caoxian County (North China). Journal of Sustainable Agriculture 19(4): 75-94.

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 368-380

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۳۸۰-۳۶۸

Agro-ecological zoning of the Qazvin area for wheat (*Triticum aestivum* L.) using RS and GIS

F. Sarmadian[1*] and A. Taati[2]
Submitted: 27-04-2014
Accepted: 30-08-2014

Introduction

In many parts of the world, there is not enough precise information about suitable land for cultivation. On the other hand, variability of weather, soil and topography result in different agro-ecological conditions which may be suitable or unsuitable for some crops (Ghaffari et al., 2012). Land evaluation is one of the applied methods to achieve sustainable agriculture.Agro-ecological zoning is one of the land evaluating method that can be used to find better lands and improve the planning and management of land resources. This research was performed to perform agro-ecological zoning across Qazvin for cultivation of wheat. Providing a comprehensive database of land resources properties for planning and organizing of optimal land use, land suitability evaluation in each of the Agro-ecological zones was aimed as well by using parametric method (square root), calculation of wheat potential yield and land production potential in each of the agro-ecological zones .Finally in order to extract the zoning maps of each soil profile a database in the GIS environment was created.

Material and methods

Study area: The present study was conducted across Qazvin which is located in 36° 00' 27" and 36° 11' 6" N latitude and between 50° 16' 58" and 50° 20' 16" E longitude. The study area is 16618 hectares.

Isohyet map: In order to prepare the Isohyet map, since there was a few number of meteorological stations in the study area isohyet map was supplied by the Directorate General of Qazvin weather. IDW was used as interpolation. To obtain isothermal map, the regression equation was used between annual mean temperature and height temperature..

Length of growth period map: To obtain length of growth period map, the, potential evapotranspiration during growth period was calculated by Cropwat software across for selected weather stations (Nirugah, Bagh Kousar, Qazvin and Boyin Zahra). After Growth period maps were obtained based on stations, isothermal and isohyet lines.

The soil map: For soil mapping, aerial images 1/40000 area and the IRS images as auxiliary data were used in field studies. Morphological properties of 61 soil samples were measured. then soil families were determined and finally the soil map was prepared.

Land use map: Landsat 7 ETM^{+} and IRS satellite images in 2011 were used to prepare a land use map.

Agro-ecological zoning map: Agro-ecological zoning map of the study area was obtained by combination of agro-climatic data (Isohyet map, Isothermal map, Length of growing period map), agro-edephic zoning (Soil Map, Slope Map, Land use map) and using the Union function in GIS environment.

Land suitability evaluation: In order to evaluate the Land suitability in Agro-ecological zoning, conformity of the land characteristics in each defined zone with wheat growing requirements was done and the final class of land was measured.

Potential yield: To estimate the Potential yield in the region, FAO model (Sys et al., 1991), was used.

Results and discussion

After overlapping desired maps in the GIS, the study area was defined and separated into 43 Agro-ecological zones.

Land suitability evaluation results: Based on square root method, 34.14%, 43.16%, 14.94%, 4.03% and 3.72% of land were located in the classes including highly suitable land (S_1), moderately suitable (S_2), marginally suitable (S_3), unsuitable (N) and unstudied (NS), respectively. Potential yield of wheat was obtained 6666 $kg.ha^{-1}$ by using the FAO method.

1 and 2- Professor and MSc Student, Soil Science Engineering Department, University of Tehran, Karaj, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: fsarmad@ut.ac.ir)

Conclusion

The main aim of this study was agro-ecological zoning of Qazvin for agricultural planning. By overlay agro-climatic and agro-edaphic zoning maps, 43 agro-ecological maps were obtained. Land suitability and potential land production evaluation were performed in each zone for wheat based on parametric method (square root). The results showed that climatic properties did not create significant limitations for wheat cultivation. Limitations related to soil properties results showed that the central part of the study area was the most suitable zone. In addition, soil depth and gravel percentage in the northern part beside salinity, alkalinity, lack of organic material and gypsum are the major limiting factors in the southern part of the area. Our results indicated that agro-ecological zoning is an essential tool for agricultural planning. In this approach, key and important components, as a similar set, characterized potential agricultural capacity and its limitations for decision makers and planners.

Keywords: Land use, Potential yield, Satellite images, Square root, Suitability classes

References

Ghaffari, A., De Pauw, E., and Mirghasemi, S. 2012. Agroecological Zone of Karkheh River Basin. Iranian Journal of Agriculture Sciences 1:1-16. (In Persian with English Summary)

Sys, C., Van Ranst, E., and Debaveye, J. 1991. Land evaluation. Part I: Principles in land evaluation and crop production calculations. General Administration for Development cooperation. Agricultural Publisher. No. 7, Brussels, Belgium 274pp.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 7، شماره 3، پاییز 1394، ص. 396-381

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 381-396

بررسی خصوصیات زراعی و شاخص‌های سودمندی در کشت مخلوط افزایشی نخود (*Cicer arietinum* L.) و سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)

اسماعیل رضایی چیانه[1*] و اسماعیل قلی‌نژاد[2]

تاریخ دریافت: 1393/03/12
تاریخ پذیرش: 1393/05/11

چکیده

به منظور بررسی عملکرد کمی و کیفی نخود (*Cicer arietinum* L.) و سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در کشت مخلوط افزایشی، آزمایشی در مزرعه‌ای واقع در استان آذربایجان غربی- شهرستان نقده در سال زراعی 92-1391 در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایشی شامل کشت مخلوط 100% سیاهدانه + 10% نخود، 100% سیاهدانه + 20% نخود، 100% سیاهدانه + 30% نخود، 100% سیاهدانه + 40% نخود و 100% سیاهدانه + 50% نخود و کشت خالص نخود و سیاهدانه بود. نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری ($p\leq0/01$) بر صفات مورد مطالعه دو گیاه نخود و سیاهدانه (به جز عملکرد اسانس سیاهدانه) داشت. بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی نخود از تیمار کشت خالص به ترتیب برابر با 1105 و 4479 کیلوگرم در هکتار حاصل شد. نتایج در مورد گیاه سیاهدانه نشان داد که بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی از کشت خالص به ترتیب برابر با 750 و 2310 کیلوگرم در هکتار به دست آمد. بالاترین درصد پروتئین دانه نخود (23 درصد) و درصد اسانس سیاهدانه (1/47 درصد) مربوط به نسبت کاشت 50% نخود + 100% سیاهدانه بود. بر اساس نتایج این آزمایش، بیشترین نسبت برابری زمین (1/74= LER)، افت واقعی عملکرد (AYL=6/45) و میزان سودمندی کشت مخلوط (IA =1/70) از تیمار افزایشی 10% نخود + 100% سیاهدانه به دست آمد. لذا چنین می‌توان استنباط کرد که تیمارکشت مخلوط افزایشی 100% سیاهدانه + 10% نخود برای افزایش درآمد اقتصادی و بهره‌وری استفاده از زمین به طور قابل ملاحظه‌ای مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، افت واقعی عملکرد، پروتئین دانه، سودمندی کشت مخلوط، نسبت برابری زمین

مقدمه

برخی از نتایج تحقیقات علمی حاکی از تأثیر منفی به کارگیری کودها و سموم شیمیایی بر کمیت و کیفیت گیاهان دارویی دارد (Griffe et al., 2003). رویکردهای جدیدی مثل کشت مخلوط که در فرآیند تولید اولویت را به استفاده از روش‌های اکولوژیکی و سازگار با محیط زیست می‌دهند، در رابطه با تولیداین محصولات از اهمیتی دو چندان برخوردار است (Rezaei-Chiyaneh et al., 2014; Koocheki et al., 2012).

کشت مخلوط به عنوان یکی از سیستم‌های کشاورزی قابل اجرا در بسیاری از کشورهای توسعه یافته شناخته شده است که به جهت تنوع محصولات و افزایش سود حاصله در واحد سطح و زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Vandermeer, 1990). بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده، هنگامی که دو گونه با خصوصیات رشدی متفاوت در کشت مخلوط قرار گیرند، کمترین رقابت را با یکدیگر ایجاد می‌کنند و این موضوع باعث افزایش کارآیی مصرف منابع (نور، آب و عناصر غذایی) و عملکرد کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص می‌شود (Neumann et al., 2009). با توجه به محدودیت اراضی قابل کشت در دنیا، سیستم کشت مخلوط با تولید دو یا چند گیاه زراعی در یک قطعه زمین و در یک سال زراعی در جهت تأمین اهداف کشاورزی پایدار مطرح است (Banik et al., 2006).

پورامیر و همکاران (Pooramir et al., 2010) در بررسی اثر

1 و 2- به ترتیب استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه و استادیار گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: ismaeil.rezaei@gmail.com)

ترکیب‌های مختلف کشت بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد (*Sesamus indicum* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) در کشت مخلوط سری‌های افزایشی نشان دادند که بیشترین مقادیر عملکرد دانه و بیولوژیک نخود از کشت خالص و کمترین عملکرد بیولوژیک و دانه از نسبت کاشت 100% کنجد + 10% نخود به دست آمد. این محققان علت کاهش عملکرد را به دلیل کاهش نسبت نخود در مخلوط گزارش کردند. در بررسی اکولوژیک الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) مشخص شد که بیشترین عملکرد اقتصادی لوبیا و گاوزبان اروپایی از کشت خالص و کمترین مقدار آن‌ها از الگوی چهار ریف لوبیا و گاوزبان (4:4) به دست آمد. اما، بالاترین نسبت برابری زمین[1] (LER) در الگوی کشت نواری 2:2 مشاهده گردید (Koocheki et al., 2012).

حسن زاده اول و همکاران (Hasanzadeh Aval et al., 2012) در بررسی کشت مخلوط مرزه (*Satureja hortensis* L.) و شبدر ایرانی (*Trifolium respinatum* L.) بیان داشتند که وزن خشک اندام‌های رویشی مرزه در کشت خالص بیشتر از کشت مخلوط بود. متقیان و همکاران (Motaghian et al., 2014) در بررسی کشت مخلوط ریحان (*Ocimum basilicum* L.) و کنجد دریافتند که وزن هزار دانه ریحان در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود. جهان (Jahan, 2004) جنبه‌های اکولوژیکی کشت مخلوط بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) و همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) را در واکنش به کود دامی، بررسی کرد و عنوان داشت که بالاترین میزان اسانس را نسبت‌های کمتر از 50:50 و مصرف کود دامی تا سطح 40 تن در هکتار دارد. نتایج یک تحقیق در کشت مخلوط نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) و سویا (*Glycine max* L.) نشان داد که عملکرد نعناع فلفلی حدود 50 درصد افزایش پیدا می‌کند و در ضمن درصد منتول بالاتر و درصد منتوفوران و منتیل اکتات کمتر می‌شود که از لحاظ کیفیت اسانس با اهمیت تلقی می‌شوند (Maeffei & Mucciarelli, 2003).

قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2010) در بررسی کشت مخلوط ذرت (*Zea may* L.) و کدو (*Cucurbita pepo* L.) اظهار داشتند که در کلیه تیمارهای کشت مخلوط نسبت برابری زمین بزرگتر از یک بوده و به کشت خالص برتری داشتند. احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2010) در ارزیابی عملکرد و شاخص‌های سودمندی در کشت مخلوط جو (*Hordium vulgare* L.) و ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.) گزارش کردند که سودمندی کشت مخلوط[2] (IA) این دو گیاه بیشتر از کشت خالص آن‌ها می‌باشد و نسبت برابری زمین (LER) در تمامی تیمارهای مخلوط بیشتر از یک بود و شاخص افت واقعی عملکرد[3] (AYL) نیز در هیچ یک از ترکیب‌های کشت مخلوط با تراکم‌های مورد بررسی افت عملکرد نداشت که بیان‌گر سودمندی کشت مخلوط به تک‌کشتی بود.

تولید ارگانیک گیاهان دارویی، تضمین‌کننده سلامت و ایمنی محصولات و داروهای تولید شده از آن‌ها می‌باشد، با توجه به اهمیت اکولوژیکی و زراعی نظام‌های کشت مخلوط و نیز با توجه به لزوم ارزیابی دقیق این نظام‌ها از حیث شاخص‌های علمی، این آزمایش با هدف بررسی تعیین بهترین نسبت کشت مخلوط افزایشی نخود و سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در مقایسه با تک‌کشتی از لحاظ حصول حداکثر عملکرد کمی و کیفی دو گونه و امتیازات کشت مخلوط در شرایط آب و هوایی نقده اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی عملکرد کمی و کیفی نخود و سیاهدانه در کشت مخلوط افزایشی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در استان آذربایجان غربی- شهرستان نقده در سال زراعی 92-1391 با طول جغرافیایی 45 درجه و 23 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 36 درجه و 57 دقیقه شمالی و ارتفاع 1290متر از سطح دریا و با میانگین‌های متوسط دما و بارندگی سالیانه در طی یک دوره ده ساله به ترتیب برابر 12/40 درجه سانتی‌گراد و 323 میلی‌متر به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص نخود، کشت خالص سیاهدانه، 100% سیاهدانه + 10% نخود، 100% سیاهدانه + 20% نخود، 100% سیاهدانه + 30% نخود، 100% سیاهدانه + 40% نخود و 100% سیاهدانه+ 50% نخود بر اساس سری‌های افزایشی بود.

بذر مورد استفاده سیاهدانه از توده بومی سمیرم اصفهان که از شرکت پاکان بذر اصفهان و بذر مورد استفاده نخود رقم ILC 482 بود که از سازمان تحقیقات دیم مراغه تهیه شده بود. هر کرت شامل

1- Land equivalent ratio

2- Intercropping advantage

3- Actual yield loss

هشت ردیف کاشت بـه طـول چهـار متـر و فاصـله بـین ردیـف 40 سانتی‌متر بود.

جدول 1- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil

بافت Texture	شن (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	رس (درصد) Clay (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC × 10 ^{3} ($dS.m^{-1}$)	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	درصد ماده آلی O.C (%)	فسفر قابل جذب (پی‌پی‌ام) Available P (ppm)	پتاسیم قابل جذب (پی‌پی‌ام) Available K (ppm)
رس- سیلتی Silty- clay	5	45	50	7.5	0.34	0.11	1.27	14.1	467

فاصله روی ردیف برای نخود هفت سانتی‌متر و برای سـیاهدانه پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در نتیجه تراکم نهـایی در کشـت خالص برای نخود 360 هزار و برای سـیاهدانه 500 هـزار بوتـه در هکتار به دست آمد. در نسبت‌های کشت مخلوط افزایشـی فواصـل بوته‌های نخود روی ردیف‌های سیاهدانه بـرای نسـبت‌هـای 100% سـیاهدانه + 10% نخـود، 100% سـیاهدانه + 20% نخـود، 100% سـیاهدانه + 30% نخـود، 100% سـیاهدانه + 40% نخـود و 100% سیاهدانه + 50% نخود به ترتیب برابر با 70، 34/7، 23/15، 17/36 و 13/8 سانتی‌متر بود.

محصول قبلی مزرعه قبل از اجرای آزمایش ذرت دانـه‌ای بـود. عملیات کاشت سیاهدانه و نخود به صورت همزمان در پنج فروردین ماه به صورت جوی و پشته انجام شد. بذور نخود قبل از کاشـت بـا باکتری *ریزوبیوم لگومینوزاروم*[1] آغشته گردید. بـذور قبـل از کاشـت جهت حفاظت و پیشگیری در برابر بیماری‌های قـارچی توسـط سـم کاربندازیم ضد عفونی شدند. عملیات وجین علف‌های هرز بـه طـور مرتب به صورت دستی و در هنگام لزوم انجام شد و آبیاری بر حسب شرایط اقلیمی منطقه به طور متوسط هر 10 روز یک‌بار بـه طریقـه آبیاری جوی و پشته انجام گرفت. کود گاوی پوسیده قبل از کاشـت به میزان 20 تن در هکتار به طور یکنواخت در سطح کرت‌ها پخش و سپس در عمق 20-0 سانتی‌متری توسط رتیواتور با خاک مخلوط شد. اما به منظور بررسی آزمایش در شرایط کم‌نهاده و بیشتر نمـود پیدا کردن تأثیر تثبیت نیتروژن گیاه نخود در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد از هیچ‌گونه کود و سم شیمیایی در تیمارها استفاده نشد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول 1 آورده شده است.

در پایان فصل رشد هر دو گیاه، ابتدا از هر کرت به طور تصادفی تعداد 10 بوته انتخاب و صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه برای سیاهدانه و بـرای گیاه نخود صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند. برای تعیـین وزن هـزار دانه هر دو گونه، از هـر واحـد آزمایشـی هشـت نمونـه 100 تـایی شمارش و با میانگین‌گیری وزن آن‌ها، وزن هزار دانه محاسبه شد.

جهت محاسـبه عملکـرد دانـه و عملکـرد بیولـوژیکی نخـود و سیاهدانه پس از حذف دو خطوط کناری و نیم متر از انتهای هر واحد آزمایشی به عنوان اثـر حاشـیه‌ای از سـطحی معـادل 4/8 مترمربـع صورت گرفت. برای تعیین عملکرد بیولوژیکی، پـس از جـدا نمـودن بذور نخود و سیاهدانه، نمونه‌ها در دمای اتاق و تحت شرایط سـایه خشک شدند و هنگامی که تغییرات وزن طـی 24 سـاعت مشـاهده نگردید، اعداد حاصل از توزین به عنوان وزن خشک نمونه‌هـا ثبـت گردید. برداشت نخود 10 تیر ماه سال 92 زمانی که رنگ غلاف‌هـا زرد شده بود، صورت گرفت. برداشت سیاهدانه 15 مرداد ماه سال 92 هنگامی‌که رنگ بوته‌ها متمایل به زرد شده، ولی هنوز فولیکـول‌هـا شکاف بر نداشته بودند، انجام شد.

درصد پروتئین دانه نخود نیز با روش کجلـدال و بـا اسـتفاده از دستگاه اتوماتیک مدل K-370 اندازه‌گیـری شـد. اسـتخراج اسـانس سیاهدانه به روش تقطیر با آب و توسط دستگاه کلونجر انجام شـد. بدین منظور، 30 گرم نمونه بذری از هر کرت وزن گردید و پـس از آسیاب شدن مختصر در 300 میلی‌لیتر آب در داخل دستگاه کلونجر به مدت سـه سـاعت جوشـانده شـد تـا اسـانس آن اسـتخراج شـود

1- *Rhizobium leguminozarum*

(Clevenger, 1928). پس از تعیین درصد اسانس، عملکرد اسانس بر اساس عملکرد دانه × درصد اسانس محاسبه شد (Rezaei-chiyaneh et al., 2014).

از طریق معادله های زیر شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط به دست آمد:

الف) شاخص نسبت برابری زمین (بر اساس عملکرد دانه) طبق معادله (1) استفاده گردید (Vandermeer, 1990):

$$LER = \frac{Y_1}{C_1} + \frac{Y_2}{N_2} \quad \text{معادله (1)}$$

در این معادله، Y_1 و Y_2 به ترتیب عملکرد گونه‌های اول و دوم در مخلوط و C_1 و N_2 نیز عملکرد خالص گونه اول و دوم است.

ب) افت واقعی عملکرد (AYL) اطلاعات ارزشمندی در مورد رقابت رفتار هر گونه در مخلوط به دست می‌دهد. از شاخص AYL جزئی می‌توان کاهش یا افزایش عملکرد را به دست آورد. در صورتی که LER جزئی مربوط به هر گونه چنین قابلیتی ندارد که با استفاده از معادله (4) محاسبه گردید (Banik et al., 2006):

$$AYLa = [LERa \times (\frac{100}{Zab}) - 1] \quad (2)$$

$$AYLb = [LERb \times (\frac{100}{Zba}) - 1] \quad (3)$$

$$AYL = AYLa + AYLb \quad (4)$$

Zab: درصد گونه a در کشت مخلوط، Zba: درصد گونه b در کشت مخلوط

ج) شاخص سودمندی کشت مخلوط[1] از معادله (5) محاسبه شد (Vandermeer, 1990) :

(5)

$$IA = [(\frac{Pa}{pa + Pb}) \times AYLa + (\frac{Pb}{pb + Pa}) \times AYLb]$$

Pa: قیمت واحد محصول a، Pb: قیمت واحد محصول b، AYLa: افت واقعی عملکرد جزء a و AYLb: افت واقعی عملکرد جزء b می‌باشد.

جهت تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از نرم‌افزار SPSS 16 و مقایسه میانگین‌های به دست آمده آماری توسط روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

1- Intercropping advantage

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد کمی و کیفی نخود در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

Table 3- Mean comparison of quantity and quality yield of chickpea in different intercropping ratios

نسبت کاشت Planting ratio	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	تعداد دانه در غلاف No. of seed per pod	وزن هزار دانه (گرم) 1000- seed weight (g)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	درصد پروتئین دانه Percentage of seed protein
کشت خالص Sole cropping	*42[a]	36[a]	1.40[a]	253[a]	4479[a]	1105[a]	16[c]
۱۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 10%	36[b]	31[b]	1.37[a]	227[b]	4030[b]	866[b]	16[c]
۲۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 20%	34 [bc]	29[b]	1.34[a]	224[b]	3966[b]	836[b]	17[bc]
۳۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 30%	33[bc]	28[bc]	1.24[ab]	221[bc]	3569[bc]	820[bc]	19[bc]
۴۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 40%	31[bc]	24[c]	1.16[b]	213[bc]	3290[c]	773[bc]	20[b]
۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 50%	29[c]	24[c]	1.13[b]	197[c]	3134[c]	716[c]	23[a]

* میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصددارند

* Means with different letters in each column are significantly different based on Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$.

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد کمی و کیفی نخود در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

Table 2- Analysis of variance for quantity and quality yield of chickpea in different intercropping ratios

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد غلاف در بوته No. of pod per plant	تعداد دانه در بوته No. of seed per plant	وزن هزار دانه 1000- seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	درصد پروتئین دانه Percentage of seed protein
تکرار Replication	2	14^{ns}	9^{ns}	0.027^{*}	139^{ns}	768674^{ns}	1295^{ns}	3.8^{ns}
نسبت‌های کاشت Planting ratios	5	59^{**}	58^{**}	0.038^{**}	104783^{**}	101664^{**}	54190^{**}	19^{**}
خطا Error	10	8.7	6.4	0.007	18850	60089	3556	2.5
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	8.47	8.78	6.59	6.17	6.54	7	8.60

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

ns, * and **: Non significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

نتایج و بحث

عملکرد کمی و کیفی نخود

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نسبت‌های مختلف کاشت بر ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه نخود معنی‌دار ($p\leq0/01$) بود (جدول 2).

مقایسه میانگین نشان داد بیشترین (42 سانتی‌متر) و کمترین (29 سانتی‌متر) ارتفاع بوته به ترتیب از کشت خالص نخود و تیمار کشت مخلوط افزایشی 50% نخود + 100% سیاهدانه حاصل شد (جدول3). به نظر می‌رسد که علت کاهش ارتفاع بوته نخود در کشت مخلوط افزایشی به دلیل رقابت بین بوته‌ها بر سر آب، مواد غذایی و فضای زیستی بوده که سبب کاهش جذب نور و کاهش رشد و فتوسنتز نخود شده و به دنبال آن ارتفاع آن را در کشت مخلوط کاهش داده است.

در این راستا آگگنهو و همکاران (Agegnehu et al., 2006) در کشت مخلوط جو و باقلا (*Vicia faba* L.) نشان دادند که ارتفاع بوته باقلا در کشت مخلوط به دلیل رقابت برون‌گونه‌ای به طور معنی-داری کاهش یافت.

بیشترین تعداد غلاف در بوته (29 عدد) و کمترین تعداد غلاف در بوته (17 عدد) به ترتیب از نسبت‌های کاشت خالص و تیمار 50% نخود + 100% سیاهدانه به دست آمد. هر چند نسبت کاشت 50% نخود + 100% سیاهدانه با تیمار 40% نخود + 100% سیاهدانه از نظر تعداد غلاف در بوته اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول 3).

در بین نسبت‌های کاشت نیز هر چقدر بر نسبت نخود در کشت مخلوط افزوده شد به دلیل کمتر شدن فواصل بوته‌های نخود روی ردیف‌های کاشت، رقابت برای کسب منابع افزایش یافت و در نتیجه کمبود منابع مؤثر در رشد و در نتیجه کمبود مواد فتوسنتزی و اختصاص این مواد به رشد رویشی به منظور باقی ماندن در رقابت باعث کاهش اجزای عملکرد به ویژه تعداد غلاف در گیاه شد که با نتایج اسلامی خلیلی و همکاران (Aslami Khalili et al., 2011) در کشت مخلوط جو و باقلا و حمزه‌ئی و همکاران (Hamzei et al., 2012) در نخود و جو مطابقت دارد. سیدی و همکاران (Sayedi et al., 2012) در کشت مخلوط نخود و جو علت کاهش تعداد غلاف در بوته را در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص به سبب کاهش منابع محیطی در دسترس گیاهان گزارش کرده‌اند.

بیشترین تعداد دانه در غلاف (1/40 عدد) و کمترین تعداد دانه در غلاف (1/13 عدد) به ترتیب از نسبت‌های کاشت خالص و تیمار 50% نخود + 100% سیاهدانه به دست آمد. بین کشت خالص نخود با تیمارهای 10% نخود + 100% سیاهدانه، 20% نخود + 100% سیاهدانه و 30% نخود + 100% سیاهدانه از نظر تعداد دانه در غلاف اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول 3). تعداد دانه در غلاف، در حقیقت ظرفیت مخزن گیاه را تعیین می‌کند و هر چه تعداد دانه بیشتر باشد، گیاه دارای مخزن بزرگتری برای دریافت مواد فتوسنتزی بوده و در نهایت افزایش این صفت منجر به افزایش عملکرد دانه خواهد شد. در تحقیقی دیگر مشخص شد که رقابت برون‌گونه‌ای در کشت مخلوط زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) و عدس (*Lens culinaryis* L.) سبب کاهش تعداد دانه در غلاف عدس شد (Jahani et al., 2008).

کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2010) در کشت مخلوط ذرت و لوبیا نیز گزارش کردند که تعداد دانه لوبیا در کشت مخلوط به طور معنی‌داری کاهش یافت. پورامیر و همکاران (Pooramir et al., 2010) نیز در مطالعه خود روی ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد کنجد و نخود در کشت مخلوط اظهار داشتند که تعداد دانه در غلاف نخود در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی کاهش معنی‌داری نشان داد.

بیشترین و کمترین وزن هزار دانه در کشت خالص نخود با میانگین 253 گرم وزن دانه و کمترین آن در نسبت کاشت 50% نخود + 100% سیاهدانه با میانگین 197 گرم وزن دانه مشاهده شد (جدول 3). وزن هزار دانه تابع توانایی گیاه در تأمین مواد پرورده برای مخزن-ها و شرایط محیطی در زمان پر شدن دانه می‌باشد. دلیل کاهش وزن هزار دانه در کشت‌های مخلوط نسبت به کشت خالص به دلیل وجود رقابت برون‌گونه‌ای و تولید آسیمیلاسیون کمتر بوده است که با نتایج پور امیر و همکاران (Pooramir et al., 2010) در کشت مخلوط نخود و کنجد و توسلی و همکاران (Tavassoli et al., 2010) در کشت مخلوط ارزن (*Panicum miliaceum* L.) و لوبیا مطابقت داشت.

بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی نخود از کشت خالص به ترتیب برابر با 1105 و 4479 کیلوگرم در هکتار و کمترین مقادیر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی از نسبت کاشت 50% نخود +

100% سیاهدانه به ترتیب برابر با 716 و 3134 کیلوگرم در هکتار حاصل شد. از نظر آماری نسبت کاشت 50% نخود + 100% سیاهدانه تفاوت معنی‌داری با تیمارهای 40% نخود + 100% سیاهدانه و 30% نخود + 100% سیاهدانه نشان نداد (جدول 3).کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی نخود با افزایش نسبت کاشت را می‌توان به افزایش رقابت نخود با سیاهدانه نسبت داد که باعث کاهش رشد، کاهش تعداد نیام، کاهش تعداد دانه در نیام، وزن دانه و ریزش گل-های بارور گردید. در واقع اجزای عملکرد این گیاه کاملاً تحت تأثیر نسبت کاشت قرار گرفت و به موازات افزایش سهم نخود، رقابت بین گونه‌ای در مقایسه با رقابت درون‌گونه‌ای بین بوته‌های دو گونه نهایتاً سبب کاهش عملکرد نهایی نخود گردید.

حمزه‌ئی و همکاران (Hamzei et al., 2012) در بررسی کشت مخلوط نخود و جو اعلام کردند که بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه از کشت خالص نخود به دست آمد و در تیمارهای کشت مخلوط بیشترین عملکرد دانه نخود و جو به ترتیب به تیمار 100% نخود + 25% جو و 100% نخود + 100% جو مربوط بود. در تحقیقات سایر محققان نیز کاهش عملکرد دانه در کشت مخلوط گندم و نخود توسط بانیک و همکاران (Banik et al., 2006)، نخود و جو توسط سیدی و همکاران (Sayedi et al., 2012)، ذرت و لوبیا توسط منصوری و همکاران (Mansouri et al., 2013) و زیره‌سبز و عدس توسط رضائی چیانه و همکاران (Rezaei- et al., 2014 chiyaneh) نسبت به کشت خالص گزارش شده است.

بیشترین درصد پروتئین دانه (23 درصد) از نسبت کاشت نسبت کاشت 50% نخود + 100% سیاهدانه و کمترین مقدار آن (16/17 درصد) از تیمار کشت خالص حاصل شد (جدول 3). برخی از محققان نشان داده اند که در اثر رقابت شدید بین دو گونه اغلب اندازه و وزن دانه کاهش و غلظت پروتئین در واحد وزن افزایش می‌یابد. در تحقیق حاضر نیز در نسبت کاشت 50% نخود + 100% سیاهدانه وزن دانه نسبت به سایر تیمارها پایین‌تر بود. از طرفی نتایج برخی مطالعات (Hauggard-Nielson et al., 2001) نشان داده است که وقتی بقولات در کنار گونه دیگر به صورت کشت مخلوط قرار می‌گیرند، به دلیل اثر مکملی جزء بقولات جهت تثبیت نیتروژن مقدار بیشتری از نیتروژن تحریک می‌گردد و در نتیجه تعداد گره فعال و سرعت و تشکیل آن‌ها افزایش می‌یابد و به دلیل افزایش ثبیت نیتروژن حاصل از جزء بقولات سبب افزایش درصد پروتئین دانه نیز می‌شود.

شاکر کوهی و همکاران (Shaker-Koohi et al., 2014) در کشت مخلوط سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) و ماش (*Vigna radiate* L.) دریافتند که میزان پروتئین دانه در هر دو گونه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص افزایش یافت. خداحامی و همکاران (Khodahami et al., 2010) در کشت مخلوط جو با ماش علوفه‌ای و جوانمرد و همکاران (Javanmard et al., 2013) در کشت مخلوط ذرت با برخی لگوم‌ها (ماشک گل خوشه‌ای، لوبیا، شبدر برسیم (*Trigonella foenum-graecum* L.) و گاودانه (*Vicia ervilia* L.) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

عملکرد کمی و کیفی سیاهدانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد ارتفاع بوته، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و درصد اسانس سیاهدانه تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کاشت قرار گرفتند ($p\leq 0/01$)، اما تأثیر نسبت‌های مختلف کاشت بر عملکرد اسانس از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول 4).

بیشترین ارتفاع بوته (52 سانتی‌متر) از کشت خالص سیاهدانه به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کشت مخلوط افزایشی 10% نخود + 100% سیاهدانه و 20% نخود + 100% سیاهدانه نداشت و کمترین ارتفاع بوته بوته (30 سانتی‌متر) از نسبت کشت 50% نخود + 100% سیاهدانه به دست آمد (جدول 5). به نظر می‌رسد که سیاهدانه در نسبت کشت 50% نخود + 100% سیاهدانه فشار رقابتی بیشتری را متحمل شده و به دلیل محدودیت تولید مواد فتوسنتزی باعث کاهش رشد رویشی و در نتیجه ارتفاع آن شده است. حمزه‌ئی (Hamzei, 2012) در بررسی کشت مخلوط جو و گاودانه اظهار داشت که بیشترین ارتفاع بوته به کشت خالص جو تعلق داشت و کمترین ارتفاع از کشت مخلوط حاصل شد که این اختلاف را به رقابت برون‌گونه‌ای نسبت داد.

بیشترین تعداد فولیکول در بوته (21 عدد) و کمترین تعداد فولیکول در بوته (12 عدد) به ترتیب از کاشت خالص و نسبت‌های کاشت 50% نخود + 100% سیاهدانه به دست آمد (جدول 5). تعداد فولیکول بیشتر در تیمار کشت خالص می‌تواند به علت عدم رقابت برون‌گونه‌ای در کشت خالص باشد که منجر به افزایش عملکرد این گیاه نسبت به سایر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط گردید.

جدول ٤- تجزیه واریانس عملکرد کمی و کیفی سیاهدانه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

Table 4- Analysis of variance for quantity and quality yield of black cumin in different intercropping ratios

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد فولیکول در بوته Number of follicule per plant	تعداد دانه در فولیکول Number of seed per follicule	وزن هزار دانه 1000- seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield
تکرار Replication	2	50^{*}	2^{ns}	54^{*}	0.058^{ns}	40953^{ns}	5392^{ns}	0.12^{**}	1.6^{ns}
نسبت‌های کاشت Planting ratios	5	246^{**}	41^{**}	172^{**}	0.50^{**}	541551^{**}	55312^{**}	0.15^{**}	0.54^{ns}
خطا Error	10	7	1.66	9	0.066	21532	2700	0.01	1.14
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	6.58	7.45	8	11.28	7.98	8.48	9.7	15.98

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

ns, * and **: Non significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ٥- مقایسه میانگین عملکرد کمی و کیفی سیاهدانه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

Table 5- Mean comparison of quantity and quality yield of black cumin in different intercropping ratios

نسبت‌های کاشت Planting ratios	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد فولیکول در بوته Number of follicule per plant	تعداد دانه در فولیکول Number of seed per follicule	وزن هزار دانه (گرم) 1000- seed weight (g)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	درصد اسانس Essential oil percentage
کشت خالص Sole cropping	52.6^{a*}	21^{a}	47^{a}	2.63^{a}	2310^{a}	750^{a}	0.93^{b}
۱۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 10%	51^{a}	20^{a}	45^{a}	2.60^{a}	2225^{a}	736^{a}	0.99^{b}
۲۰٪ نخود + ۱۰۰ ٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 20%	48^{a}	19^{ab}	42^{a}	2.47^{a}	1920^{b}	688^{ab}	0.97^{b}
۳۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 30%	37.6^{b}	17^{b}	34^{b}	2.40^{ab}	1888^{b}	600^{b}	1.08^{b}
۴۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 40%	36^{b}	13^{c}	30^{b}	1.97^{bc}	1462^{c}	449^{c}	1.37^{a}
۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 50%	30^{c}	12^{c}	29^{b}	1.60^{c}	1221^{c}	453^{c}	1.47^{a}

* میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصددارند

* Means with different letters in each column are significantly different based on Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$.

در تحقیق حاضر با افزایش نسبت نخود، سیاهدانه به علت رقابت شدید بر سر منابع محیطی از قبیل نور دریافتی با سیاهدانه قادر به افزایش تعداد فولیکول نبوده و بیشتر مواد فتوسنتزی خود را صرف افزایش وزن دانه نموده است. رضوانی‌مقدم و مرادی (Rezvani Moghaddam & Moradi, 2012) نیز در کشت مخلوط زیره سبز و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) دریافتند که تعداد نیام در بوته شنبلیله در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص کاهش یافت که با نتیجه آزمایش حاضر مطابقت دارد.

مقایسه میانگین نشان داد بیشترین تعداد دانه در فولیکول (47 عدد) و کمترین تعداد دانه در فولیکول (29/67 عدد) به ترتیب از کشت خالص و نسبت کشت 50% نخود + 100% سیاهدانه به دست آمد (جدول 5). کاهش تعداد دانه در فولیکول همچنین کاهش تعداد فولیکول در بوته در تیمارهای مخلوط نسبت به تیمار کشت خالص را می‌توان به دلیل همزمانی بیشتر دوره رشدی سیاهدانه با نخود نسبت داد که سبب رقابت بین‌گونه‌ای بیشتر بین این تیمارها شده است. سوبکوویز (Sobkowicz, 2006) در کشت مخلوط تریتیکاله (*Tritico secale* L.) با باقلا گزارش کرد که تعداد دانه در سنبله تریتیکاله با افزایش تراکم باقلا به طور معنی‌داری کاهش یافت. وی علت این امر را به دلیل رقابت دو گونه بر سر منابع محیطی از قبیل نور، آب و مواد غذایی نسبت داد.

بیشترین وزن هزار دانه سیاهدانه (2/63 گرم) از کشت خالص به دست آمد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کاشت مخلوط افزایشی 10% نخود + 100% سیاهدانه و 20% نخود + 100% سیاهدانه نداشت و کمترین وزن هزار دانه (1/60 گرم) از کشت مخلوط افزایشی 50% نخود + 100% سیاهدانه حاصل شد (جدول 5). در کشت مخلوط با افزایش تراکم، گیاه به عوامل محیطی (نور، مواد غذایی و رطوبت) کمتری دسترسی دارد و در نهایت مواد فتوسنتزی کمتری را به دانه منتقل می‌سازد که این امر منجر به کاهش وزن هزار دانه می‌شود (Hamzei et al., 2012).

بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی به ترتیب به میزان 750 و 2310 کیلوگرم در هکتار از کشت خالص و کمترین مقدار عملکرد دانه از نسبت کشت مخلوط افزایشی 40% نخود + 100% سیاهدانه به میزان 449 کیلوگرم در هکتار حاصل شد که با تیمار مخلوط 50% نخود + 100% سیاهدانه تفاوت آماری نداشت. کمترین مقدار عملکرد بیولوژیکی نیز از نسبت کشت مخلوط افزایشی 50% نخود + 100% سیاهدانه به میزان 1221 کیلوگرم در هکتار به دست آمد که با تیمار مخلوط 40% نخود + 100% سیاهدانه تفاوت آماری نداشت (جدول 5). در واقع اجزای عملکرد سیاهدانه کاملاً تحت تأثیر نسبت‌های کشت قرار گرفتند و به موازات افزایش سهم نخود، به خاطر کاهش فضای لازم برای رشد و به دنبال آن افزایش رقابت بین گونه‌ای در مقایسه با رقابت درون‌گونه‌ای بین بوته‌های دو گونه تعداد فولیکول، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه کاهش یافت که نهایتاً منجر به کاهش عملکرد نهایی گردید.

افوری و استرن (Ofori & Stern, 1987) نشان دادند که در شرایطی که کشت دو گیاه همزمان انجام شود رقابت برای منابع رشد شدیدتر است لذا کاهش عملکرد دانه و بیولوژیک در این گونه سیستم‌ها بیشتر به چشم می‌خورد. بر اساس تحقیق کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2010) بیشترین و کمترین میزان عملکرد به ترتیب از کشت خالص زعفران (*Crocus sativus* L.) و کشت مخلوط آن با زنیان (*Carum copticum* L.) به دست آمد. این محققان دلیل بیشتر بودن عملکرد زعفران در کشت خالص را به افزایش تعداد گل در بوته نسبت دادند. طبق نتایج تحقیقات قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2010) در کشت مخلوط ذرت و کدو و رضایی چیانه و همکاران (Rezaei-Chiyaneh et., 2014) در کشت مخلوط زیره سبز و عدس نیز عملکرد دانه درکشت مخلوط نسبت به کشت خالص کاهش یافته است.

بیشترین درصد اسانس از کشت مخلوط 50% نخود + 100% سیاهدانه به میزان 1/47 درصد به دست آمد که از نظر آماری با تیمار کشت مخلوط افزایشی 40% نخود + 100% سیاهدانه (1/37 درصد) معنی‌دار نبود. کمترین مقدار درصد اسانس نیز از نسبت کشت خالص به میزان 0/93 درصد حاصل شد که با تیمارهای کشت مخلوط افزایشی 10% نخود + 100% سیاهدانه، 20% نخود + 100% و 30% نخود + 100% سیاهدانه تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول 5). از آن‌جا که نیتروژن یکی از عناصر غذایی مؤثر بر میزان فعالیت آنزیم های فتوسنتزی گیاهان است. چنین به نظر می‌رسد که وجود شرایط مناسب برای رشد بوته‌های سیاهدانه از جمله فراهم شدن نیتروژن در شرایط مخلوط با نخود باعث بهبود رشد و فتوسنتز و به تبع آن افزایش میزان اسانس در مقایسه با کشت خالص شده است.

جدول ٦- نتایج شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط نخود و سیاهدانه

Table 6- Results of advantages indices of chickpea and black cumin intercropping

نسبت کاشت Planting ratio	نسبت برابری زمین جزئی نخود Partial land equivalent ratio of chickpea	نسبت برابری زمین جزئی سیاهدانه Partial land equivalent ratio of black cumin	نسبت برابری زمین کل Total land equivalent ratio (LER)	کاهش یا افزایش عملکرد واقعی نخود Actual yield loss of chickpea	کاهش یا افزایش عملکرد واقعی سیاهدانه Actual yield loss of black cumin	کاهش یا افزایش عملکرد واقعی کل Actual yield loss	سودمندی کشت مخلوط Intercropping advantage (IA)
۱۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 10%	0.76^{ab*}	0.98^{a}	1.74^{a}	6.60^{a}	-0.15^{d}	6.45^{a}	1.70^{a}
۲۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 20%	0.78^{a}	0.91^{ab}	1.69^{a}	2.93^{b}	-0.016^{c}	2.91^{b}	1.17^{a}
۳۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 30%	0.74^{ab}	0.77^{c}	1.51^{b}	1.48^{c}	0.06^{c}	1.54^{c}	0.7^{ab}
۴۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 40%	0.70^{bc}	0.58^{d}	1.28^{c}	0.75^{d}	0.17^{b}	0.92^{cd}	0.12^{b}
۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 50%	0.65^{c}	0.58^{d}	1.23^{c}	0.3^{d}	0.3^{a}	0.6^{d}	0.85^{ab}

* میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارند.

* Means with different letters in each column are significantly different based on Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$.

محققان دیگری نیز در کشت مخلوط نعناع و سویا اظهار داشتند که کیفیت و درصد اسانس نعناع در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص افزایش یافت (Maeffei & Mucciarelli, 2003). در بررسی الگوهای مختلف کشت مخلوط زیره‌سبز و عدس در کشت دوم مشخص داد که در بین الگوهای مختلف کشت، بیشترین درصد اسانس زیره‌سبز از کشت مخلوط روی ردیف‌های کاشت و کشت تک ردیفی به دست آمد (Rezaei- chiyaneh et., 2014).

شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط

نسبت برابری زمین

حداکثر LER جزئی نخود در نسبت کشت 20% نخود + 100% سیاهدانه (LER_a= 0/78) و حداکثر LER جزئی سیاهدانه در نسبت کشت 10% نخود + 100% سیاهدانه (LER_b= 0/98) مشاهده شد. به طور کلی، LER جزئی در سیاهدانه بالاتر از نخود بود که می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که سیاهدانه از کشت مخلوط با نخود اثر مثبت بیشتری پذیرفته است (جدول 6).

با توجه به نتیجه آزمایش نسبت برابری زمین کل در تمامی تیمارهای مخلوط بیشتر از یک بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی در این الگوهای کشت می‌باشد.

کشت مخلوط افزایشی 10% نخود + 100% سیاهدانه بیشترین (1/74) میزان نسبت برابری زمین کل را در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط به خود اختصاص داد که معادل 74 درصد افزایش در بهره‌وری استفاده از زمین نسبت به کشت خالص دو گونه بود (جدول 5). کشت مخلوط زمانی سودمند است که عملکرد دانه مخلوط، بیشتر از حداکثر محصول تک‌کشتی باشد. اضافه عملکرد به دست آمده را می‌توان به استفاده بهتر از منابع موجود توسط دو گیاه و اختلافات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بین آن‌ها و کمتر بودن علف‌هرز در سیستم کشت مخلوط نسبت داد (Vandermeer, 1989). محققان دیگری در کشت مخلوط بابونه و همیشه‌بهار (*alendula officinalis* L.) (Jahan, 2004)، زیره‌سبز و شنبلیله (Rezvani Moghaddam & Moradi, 2012)، سویا و همیشه‌بهار (Allahdadi et al., 2013) و زیره‌سبز و عدس (Rezaei-Chiyaneh et al., 2014) مقدار LER را در تمام تیمارهای مخلوط بالاتر از یک گزارش کردند که این امر نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است.

افت واقعی عملکرد

محاسبه میزان افت واقعی عملکرد کل (جدول 6) در مورد گونه‌های مذکور نشان داد که هیچ یک از تیمارهای کشت مخلوط افت عملکرد دانه نداشت و تمامی مقادیر AYL عددی مثبت داشتند که نشان از سودمندی کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی هر یک از این دو گیاه است. کمترین میزان افت واقعی عملکرد کل (AYL=0/6) مربوط به تیمار افزایشی 50% نخود + 100% سیاهدانه بود و بیشترین مقدار این شاخص (AYL=6/45) از کشت مخلوط افزایشی10% نخود + 100% سیاهدانه به دست آمد که بیان‌گر سودمندی کشت مخلوط در استفاده بهینه از منابع موجود با حداقل رقابت بین‌گونه‌ای و درون‌گونه‌ای است اصل تولید مساعدتی ضمن همراهی با اصل تولید رقابتی وقتی مطرح است که گیاهان زراعی محیط‌های یکدیگر را در جهت مثبت تغییر دهند.

بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کشت مخلوط سیاهدانه و نخود در کلیه نسبت‌های مخلوط دارای اصل تولید مساعدتی یا تسهیل شده بود و به عبارت دیگر مساعدت در کلیه تیمارها وجود داشت که با نتایج احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2010) در کشت مخلوط جو و ماشک گل خوشه‌ای و لامعی هروانی (Lamei Haravani, 2012) در کشت مخلوط خلر (*Lathyrus sativus* L.) با جو و تریتیکاله مطابقت داشت. شایگان و همکاران (Shaygan et al., 2008) در کشت مخلوط ذرت و ارزن گزارش کردند که بالاترین میزان افت واقعی عملکرد (AYL=9/45) از تیمار افزایشی 100% ذرت + 12/5 % به دست آمد. اما با افزایش تراکم ارزن به دلیل افزایش رقابت دو گیاه مقادیر AYL کاهش یافت.

سودمندی کشت مخلوط

همان‌طور که در جدول 6 مشاهده می‌شود، بیشترین میزان سودمندی کشت مخلوط (IA =1/70) متعلق به تیمار کشت مخلوط 10% نخود + 100% سیاهدانه بود که با تیمار کشت مخلوط افزایشی 20% نخود + 100% سیاهدانه تفاوت معنی‌داری نشان نداد که این امر احتمالاً ناشی از استفاده بهتر از منابع موجود مانند نور، آب و مواد غذایی در این تیمارها می‌باشد. آینه بند و بهروز (Ayneband & Behrooz, 2011) در کشت مخلوط ذرت و ماش بیان کردند در

صورتی که ترکیب گونه‌ای در کشت مخلوط مناسب نباشد بـه دلیـل افزایش رقابت مواد غذایی و نـور میـزان سـودمندی کشـت مخلـوط کاهش می‌یابد. بانیک و همکاران (Banik et al., 2006) در کشـت مخلوط گندم و نخود، احمدی و همکـاران (Ahmadi et al., 2010) در کشـت مخلـوط جـو و ماشـک گـل خوشـه‌ای و لامعـی هروانـی (Lamei Haravani, 2012) در کشـت مخلـوط بقـولات علوفـه‌ای یک‌ساله و جو نتایج مشابهی به دست آوردند و اعلام کردند سودمندی اقتصادی کشت مخلوط این دو گیاه بیشتر از کشت خالص آن‌ها می-باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که عملکرد و اجزای عملکرد هر دو گونه تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کاشت قرار گرفـت. بـا افـزایش نسبت کاشت به دلیل کاهش اثرات تسهیل و تکمیل‌کنندگی دو گونه و افزایش رقابت برون‌گونه‌ای، عملکرد و LER در هر دو گونه کاهش پیدا کرد. با افزایش سهم نخود، درصد اسانس سـیاهدانه احتمـالاً بـه دلیل افزایش غلظت نیتروژن و دسترسـی سـیاهدانه بـه ایـن عنصـر غذایی افزایش یافت. محاسـبه شـاخص‌هـای سـودمندی در کشـت مخلوط نشان داد که نسبت کشت مخلوط افزایشی 100% سیاهدانه + 10% نخود از لحاظ اقتصادی تیمار برتر بود و این تیمار می‌تواند برای ایجاد پایداری و ثبات تولید در افزایش درآمـد اقتصـادی و بهـره‌وری استفاده از زمین‌های کشاورزی به طور قابل ملاحظه‌ای مؤثر باشد.

منابع

1- Agegnehu, G., Ghizaw, A., and Sinebo, W. 2006. Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. European Journal of Agronomy 22: 202-207.
2- Ahmadi, A., Dabbagh Mohammdi Nasab, A., Zehtab Salmasi, S., Amini, R., and Janmohammadi, H. 2010. Evaluation of yield and advantage indices in barley and vetch intercropping. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 20(4): 77-87. (In Persian with Enghlish Summary)
3- Alizadeh, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2010. Evaluation of agronomic traits, yield, yield components and weed control of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and basil (*Ocimum basilicum* L.) in intercropping conditions. Journal of Agroecology 2(3): 383-397. (In Persian with English Summary)
4- Allahdadi, M., Shakiba, M.R., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., and Amini, R. 2013. Evaluation of Yield and Advantages of Soybean (*Glycine max* L. Merrill.) and calendula (*Calendula officinalis* L.) intercropping systems. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 23(3): 47-58. (In Persian with Enghlish Summary)
5- Aslami Khalili, F., Pirdashti, H., and Motaghian, A. 2011. Evaluation of barely (H*ordeum vulgare* L.) and bean (*Vicia faba* L.) yield in different plant density and combinations of intercropping by competition indices. Journal of Agroecology 3(1): 94-105. (In Persian with Enghlish Summary)
6- Ayneband, A., and Behrooz, M. 2011. Evaluation of cereal- legume and cereal-pseudocereal intercropping systems through forage productivity and competition ability. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science 10 (4): 675-683.
7- Banik, B., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S.S. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. European Journal of Agronomy 24: 325-332.
8- Clevenger, J.F. 1928. Apparatus for determination of essential oil. Journal of the American Pharmacists Association 17: 346-349.
9- Ghanbari, A., Ghadiri, H., Ghaffari Moghadam, M., and Safari, M. 2010. Evaluation of intercropping maize (*Zea mays* L.) and squash (*Cucurbita* sp.) and effect on weeds control. Iranian Journal of Crop Science 41(1): 43-55. (In Persian with Enghish Summary)
10- Griffe, P., Metha, S., and Shankar, D. 2003. Organic Production of Medicinal, Aromatic and Dye-Yielding Plants (MADPs): Forward, Preface and Introduction, FAO.
11- Hamzei, S. 2012. Evaluation yield, SPAD index, land equnalent ratio, system efficiency index in intercropping bitter vetch (*Vicia ervilia*) and barely (*Hordeum vulgare*). Journal of Crop Production and Processing 4: 79-91. (In Persian with Enghlish Summary)
12- Hamzei, S., Sayedi, M., Ahmadvand, G., and Abotalebian, M.A. 2012. The effect of addititive intercropping on

removal weeds, yield and components yield of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and barely (*Hordeum vulgare*). Journal of Crop Production and Processing 3: 43-55. (In Persian with Enghlish Summary)

13- Hasanzadeh Aval, F., Koocheki, A., Khazaei, H.R., and Nassiri Mahallati, M. 2012. Effect of plant density on physiological indices of savory (*Satureja hortensis* L.) and Persian clover (*Trifolium respinatum* L.) in intercropping. Iranian Journal of Field Crops Research 10(1): 75-83.

14- Hauggard-Nielson, H., Ambus, P., and Jenson, E.S. 2001. Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. Field Crops Research 70: 101-109.

15- Jahan, M. 2004. Study of Ecological aspects intercropping of chamomile (*Matricaria chamomile*) and ever green (*Calendula officinalis*) with manure. MSc dissertation, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

16- Jahani, M., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2008. Comparison of different intercropping arrangements of cumin (*Cuminum cyminum*) and lentil (*Lens culinaris*). Iranian Journal of Field Crops Research 6(1): 67-78. (In Persian with English Summary)

17- Javanmard, A., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Javanshir, A., Moghaddam, M., and Janmohammade, H. 2013. Effects of maize intercropping with legumes on forage yield and quality. Journal of Agriculture Science and Sustainable Production 22(3): 137-149. (In Persian with English Summary)

18- Khodahami, G., Habibian, S.H., and Habibian, S.M. 2010. Evaluation of effect of seed different ratios on forage yield in intercropping barley (*Hordeum vulgare*) and mung bean (*Vicia villosa*). Journal of Range 3(1): 79-89. (In Persian with English Summary)

19- Koocheki, A., Najibnia, S., and Lalehgani, B. 2010. Evaluation of saffron yield (*Crocus sativus* L.) in intercropping with cereals, pulses and medicinal plants. Iranian Journal of Field Crops Research 7(1): 173-182. (In Persian with English Summary)

20- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Feizi, H., Amirmoradi, S., and Mondani, F. 2010. Effect of strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on yield and land equivalent ratio in weedy and weed free conditions. Journal of Agroecology 2(2): 225-235. (In Persian with English Summary)

21- Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., and Amin-Ghafouri, A. 2012. Row intercropping of borage (*Borago officinalis* L.) with bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on possible evaluating of the best strip width and assessing of its ecological characteristics. Journal of Agroecology 4(1): 1-11. (In Persian with English Summary)

22- Lamei Haravani, J. 2012. Technical and economic evaluation of intercropping green pea with barley and triticale under rainfed conditions in Zanjan. Journal of Crop production and processing 4: 93-102. (In Persian with Enghlish Summary)

23- Maeffei, M., and Mucciarelli, M. 2003. Essential oil yield in peppermint/ soybean strip intercropping. Field Crops Research 84: 229-240.

24- Mansouri, H., Mansouri, L., Jamshidi, K.H., Rastgho, M., and Moradim, R. 2013. Absorption and light use efficiency in additive intercropping maize-bean in Zanjan. Journal of Crop Production and Processing 9: 15-26. (In Persian with English Summary)

25- Motaghian, A., Pirdashti, H., Akbarpour, V., Serajpour, G., Yaghobi Khanghahi, M., and Shariatnezhad, S. 2014. Evaluation of yield Basil (*Ocimum basilicum* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.) in different intercropping combinations by competitive indices. Journal of Agroecology 5(3): 243-254. (In Persian with English Summary)

26- Neumann, A., Werner, J., and Rauber, R. 2009. Evaluation of yield-density relationships and optimization of intercrop compositions of field-grown pea-oat intercrops using the replacement series and the response surface design. Field Crops Research 114: 286-294.

27- Ofori, F., and Stern, W.R. 1987. Cereal-legume intercropping systems. Advanced in Agronomy 41: 41-90.

28- Pooramir, F., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Ghorbani, R. 2010. Effect of different planting combinations on yield and yield components of sesame and peas intercropping in additive series. Iranian Journal of Field Crops Research 8(3): 393-402. (In Persian with English Summary)

29- Rezaei-Chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., Valizadegan, O., and Banaei-Asl, F. 2014. Evaluation of different intercropping patterns of cumin (*Cuminum cyminum* L.) and lentil (*Lens culinaris* L.) in double crop. Journal of Agroecology 5(4): 462-472. (In Persian with English Summary)

30- Rezvani Moghaddam, P., and Moradi, R. 2012. Assessment of planting date, biological fertilizer and intercropping on yield and essential oil of cumin and fenugreek. Iranian Journal of Crop Sciences 2: 217-230. (In Persian with

English Summary)
31- Sayedi, M., Hamzei, J., Ahmadvand, G., and Abutalebian, M.A. 2012. The Evaluation of Weed Suppression and Crop Production in Barley-Chickpea Intercrops. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 22(3): 101-114. (In Persian with Enghlish Summary)
32- Shaker-Koohi, S., Nasrollahzadeh, S., and Raei, Y. 2014. Evaluation of chlorophyll value, protein content and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.)/ mungbean (*Vigna radiate* L.) intercropping. International Journal of Biosciences 136-143.
33- Shaygan, M., Mazaheri, D., Rahimian Mashhadi, H., and Peyghambari, S.A. 2008. Effect of planting date and intercropping maize (*Zea mays* L.) and foxtail millet (*Setaria italica* L.) on their grain yield and weeds control. Iranian Journal of Crop Science 10(1): 31-46. (In Persian with Enghish Summary)
34- Sobkowicz, P. 2006. Competition between triticale (*Tritico scalewitt*) and field beans (*Vicia faba* L.) in additive intercrops. Plant, Soil and Environment 52: 42-54.
35- Tavassoli, A., Ghanbari, A., Ahmadi, M.M., and Heydari, M. 2010. The effect of fertilizer and manure on forage and grain yield of millet (*panicum miliaceum*) and bean (*phaseolus vulgaris*) in intercropping. Iranian Journal Agronomy Research 8(2): 96-114. (In Persian with English Summery)
36- Vandermeer, J.H. 1989. The Ecology of Intercropping, Cambridge. University Press 297 pp.

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 381-396

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 7، شماره 3، پاییز 1394، ص. 396-381

Agronomic characteristics of intercropping of additive series of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.)

E. Rezaei-Chiyaneh[1*] and E. Gholinezhad[2]
Submitted: 02-06-2014
Accepted: 02-08-2014

Introduction

Intercropping as a cropping method for sustainable agriculture is simultaneous growing of two or more crops during a given season on same location. Such a method enable to utilize common limiting resources more efficient than the species grown separately. Using two species with different growth habits and the least competitive characteristics in intercropping, increases the efficiency of resources (light, water and nutrients) absorbtion in comparison with the sole cropping. Pooramir et al. (2010) investigated the effects of planting different ratios of two crops on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.). The results of intercropping of additive series showed that the highest grain and biological yield of chickpea were obtained through monoculture and the lowest grain and biological yield of chickpea achieved by planting ratio of 100% sesame and 10% chickpea. Koocheki et al. (2012) studied the intercropping of borage (*Borago officinalis* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and reported that the highest economic yield was achieved in monoculture and the lowest economic yield was obtained in four rows of borage plus four rows of bean, but the maximum land equivalent ratio was calculated in 2:2 intercropping. The aim of current study was to determine the best combination and efficiency of resource utilization in intercropping of additive series of chickpea and black cumin. It is compared to respective monoculture and the advantage of intercropping.

Materials and methods

A field experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in West Azerbaijan province- city Nagadeh, Iran in 2012-2013. Treatments included 100% black cumin +10% chickpea, 100% black cumin + 20% chickpea, 100% black cumin + 30% chickpea, 100% black cumin + 40% chickpea and 100% black cumin + 50% chickpea and monoculture of chickpea and black cumin. The experimental plot size was 4 m × 3.2 m involving 8 rows with inter–row spacing of 0.4 m. There were 7 and 5 cm distance between chickpea and black cumin seeds sown on rows, respectively. Cow manure (20 $t.ha^{-1}$) without any chemical fertilizer, were distributed and plowed into the upper 20 cm of the soil before sowing time. Weeds were controlled by hand, several times during growing season. Black cumin was harvested when they turned brown, dried and shelled, and chickpea was harvested when the first pod of the plants was fully matured and dried. The essential oil of black cumin seeds (v/w) was isolated from 30 g of air-dried and powdered seeds with 300 ml distilled water by conventional hydro-distillation for 3 h using a Clevenger-type apparatus (Clevenger, 1928). Grain protein content was also measured using Kejeldahl.

Land equivalent ratio (LER)

Land equivalent ratio of black cumin and chickpea was calculated using equation 1 (Vandermeer, 1990):

$$LER = \frac{Y_1}{L_1} + \frac{Y_2}{I_2}$$

Where Y_1 and Y_2 represent chickpea and black cumin yield in intercropping and L_1 and I_2 represent chickpea and black cumin yield in mono-culture, respectively.

Actual yield loss (AYL)

The Actual yield loss (AYL) index provides more accurate information about the competition than the other indices. The AYL is calculated according to the following formula (Equations 2, 3 and 4):

1 and 2- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Iran and Assistant Professor, Department of Agronomy, University of Payame Noor, Tehran, Iran respectively.
(*- Corresponding author Email: ismaeil.rezaei@gmail.com)

$$AYLa = [LERa \times (\frac{100}{Zab}) - 1]$$

$$AYLb = [LERb \times (\frac{100}{Zba}) - 1]$$

AYL = AYLa+ AYLb

Intercropping advantage (IA)

Intercropping advantage (IA) was estimated as IA = AYL × Price of cumin or chickpea. Intercropping advantage (IA) of the intercropped components was calculated as (Vandermeer, 1989) (Equation 5):

$$IA = [(\frac{Pa}{pa + Pb}) \times AYLa + (\frac{Pb}{pb + Pa}) \times AYLb]$$

Where P_a is the price of cumin and P_b is the price of chickpea (Vandermeer, 1989).

Statistical analyses

SPSS 16 software was used for statistical analysis. To compare the means, Duncan's multiple range test at 5% probability level was used.

Results and discussion

Different planting ratios had significant effects on study traits of chickpea and black cumin (except essential oil yield of black cumin). The highest seed and biological yield of chickpea were achieved through monoculture with 1105 and 14479 kg ha^{-1}, respectively. The results showed that the maximum seed and biological yield of black cumin were obtained at monoculture with 750 and 2310 $kg.ha^{-1}$, respectively. The highest percentage of grain protein (23%) and essential oil percentage (1.47%) were related to the treatment of 100% black cumin +50% chickpea, respectively. Results showed that LER values were greater than one in all the intercropping combinations of black cumin and chickpea. Land equivalent ratio (LER=1.74) was recorded considering the treatment of 100% black cumin+10% chickpea, indicating additional 0.79 unit of land would have been needed to get equal yield to planting black cumin and chickpea in monoculture. The highest actual yield loss (AYL=6.45) and intercropping advantage (IA=1.70) obtained employing 100% black cumin+10% chickpea, respectively. It seems that 100% black cumin+10% chickpea is remarkably effective in increasing the economic income and land use efficiency.

Conclusion

The results showed that yield and yield components of both species were affected by planting ratio. By increasing the planting ratio, yield and LER of both species decreased due to complementary and facilitative effects in intercropping. Increasing the planting ratio of chickpea, increased the essential oil percentage of black cumin that was probably due to nitrogen concentration. Results of advantages indices showed that intercropping treatment of 100% black cumin+10% chickpea was suitable for increasing the income of farmers and land use efficiency.

Keywords: Actual Yield Loss, Essential oil, Intercropping advantage, Land equivalent ratio, Seed protein

References

Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramde, S., and Amin-Ghafouri, A. 2012. Row intercropping of borage (*Borago officinalis* L.) with bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on possible evaluating of the best strip width and assessing of its ecological characteristics. Journal of Agroecology 4(1): 1-11. (In Persian with English Summary)

Pooramir, F., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Ghorbani, R. 2010. Effect of different planting combinations on yield and yield components of sesame and peas intercropping in additive series. Iranian Journal of Field Crops Research 8(3):393-402. (In Persian with English Summary)

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۴۱۱-۳۹۷

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 397-411

امکان‌سنجی کشت یونجه یک‌ساله (*Medicago scutellata* L. Mill.) در شهرستان آق‌قلا (استان گلستان) با استفاده از GIS

نیلوفر نصراللهی[۱]، حسین کاظمی[۲*]، بهنام کامکار[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۰۲/۰۷

چکیده

در این تحقیق به منظور امکان‌سنجی اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا در استان گلستان جهت کشت یونجه یک‌ساله (*Medicago scutellata* L. Mill.)، از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS[۴]) و تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شد. بدین منظور اطلاعات و لایه‌های مورد نیاز از منطقه مورد بررسی در سال ۱۳۹۲ جمع‌آوری و نقشه‌های موضوعی مورد نیاز تهیه شد. از روش‌های کریجینگ (مدل‌های گوسی، نمایی و کروی) و نیز وزن‌دهی فاصله معکوس برای تهیه لایه‌های متغیرهای محیطی استفاده شد. سپس لایه‌های رقومی عوامل محیطی در محیط GIS با اختصاص وزن حاصل از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[۵]) روی هم‌گذاری وزنی و تلفیق شدند. در انتها لایه نهایی در چهار پهنه بسیار مستعد، مستعد، نیمه‌مستعد و غیرمستعد طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد که به ترتیب ۲۳/۱ درصد و ۴۷/۲ درصد اراضی کشاورزی این شهرستان برای کشت یونجه یک‌ساله بسیارمستعد و مستعد هستند. در این مناطق مقدار بارش و اکثر متغیرهای حاصلخیزی خاک و توپوگرافی در سطح مطلوبی قرار داشتند. مناطق نیمه-مستعد و غیرمستعد (حدود ۳۰ درصد اراضی) نیز بیشتر در شمال غربی، شرق و جنوب اراضی زراعی شهرستان قرار گرفتند. از دلایل وجود این پهنه‌ها، عدم تطبیق نیازهای محیطی مورد نیاز گیاه یونجه یک‌ساله با خصوصیات بوم‌شناختی این اراضی می‌باشد. در این مطالعه میزان بارش اندک، EC بالا در حدود ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر، محتوی پایین ماده آلی، کلسیم و پتاسیم از عوامل محدودکننده کشت شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: تناسب اراضی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، کریجینگ

مقدمه

یکی از موضوع‌های مهم و اصلی جهان، به ویژه در مورد اغلب کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، استفاده بهینه از اراضی برای تأمین نیازهای جمعیت در حال رشد می‌باشد. منابع اراضی محدود و تخریب‌شونده هستند. از طرف دیگر، بهره‌برداری نامناسب از اراضی و آثار سوء ناشی از آن محدودیت‌ها را تشدید می‌کند. کشاورزی به منظور تأمین غذای جمعیت رو به رشد بشر می‌بایست علاوه بر قدرت تولید زیاد، پایداری درازمدت استفاده از اراضی و حفظ منابع اراضی را نیز مورد توجه قرار دهد (Bihen,1992). شناخت متغیرهای آب و هوایی و اثر آن‌ها روی گیاهان زراعی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در افزایش عملکرد و به تبع آن بالا بردن تولید می‌باشد و این موضوع به ویژه در شرایط کشاورزی دیم از اهمیت بیشتری برخوردار است. با شناسایی نیازمندی‌های حرارتی و رطوبتی محصولات مختلف و نیز محدودیت‌ها یا توانمندی‌هایی که اقلیم در محیط ایجاد کرده است، عملاً می‌توان به عملکرد بیشتری در واحد سطح دست یافت که خود سبب بهبود شرایط اقتصاد کشاورزی و سطح درآمد ملی خواهد شد (Sari-Sarraf et al., 2009). در بسیاری از مناطق، عمده گیاهان زراعی به طور نسبی و تنها با اتکاء به تجربه و بدون بررسی انطباق آن با نیازهای محیطی کشت می‌شوند. در نتیجه عملکرد آن‌ها کم و در نهایت موجب به هدر رفتن پتانسیل‌های اقلیمی با توجه به کمبود

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد،
۲ و ۳- به ترتیب استادیار و دانشیار گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: (Email: hossein_k_p@yahoo.com

4- Geographic Information System
5- Analytical Hierarchy Process

آب در کشور خواهند شد (Ehteramiyan et al., 2009). گیاهان زراعی بهترین رشد خود را در مناطقی انجام می‌دهند که شرایط اقلیمی نیاز رشدی آن‌ها را تأمین نماید. ارتفاع، شیب، جهت شیب، میزان پوشش سطح زمین و برخی از عوامل اقلیمی مؤثر بر رشد، در امکان‌سنجی تولید یک محصول در یک منطقه می‌توانند مفید واقع شوند (Baghat et al., 2009).

هر منطقه دارای توانمندی‌ها و تنگناهایی در زمینه کشاورزی است. از این‌رو شناخت و تحلیل آن‌ها می‌تواند در جهت توسعه، مؤثر واقع شود و از منابع موجود استفاده مطلوب و مناسب به عمل آید. زیرا هر گیاه یا محصول، با شرایط خاصی سازگار می‌باشد که با در نظر گرفتن شرایط لازم، می‌توان به نتیجه مطلوب و متناسب با محیط دست یافت. سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دارای قابلیت فراوانی در زمینه سنجش و پتانسیل‌سنجی عوامل طبیعی با استفاده از مدل های مختلف می‌باشد. از این‌رو امروزه تهیه و کاربرد مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به منظور افزایش دقت در امر برنامه‌ریزی رواج گسترده‌ای یافته است زیرا از طریق آن‌ها با توجه به معیارهای کمی و کیفی متعدد، می‌توان به انتخاب بهترین گزینه دست یافت (Malczewski, 2006).

یونجه یک‌ساله (*Medicago scutellata* L. Mill.) یکی از مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای جهان به شمار می‌رود و به لحاظ تولید و کیفیت علوفه‌ی مناسب، تثبیت نیتروژن و کاهش فرسایش خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (Esfandyari et al, 2008). یونجه با توجه به تنوع گونه‌ای فراوان در میان سایر گیاهان علوفه‌ای، به لحاظ ارزش غذایی، کیفیت علوفه و خوشخوراکی و همچنین دارا بودن ذخایر غذایی، مواد پروتئینی، مواد معدنی و انواع ویتامین‌ها اهمیت خاصی دارد تاجایی که به عنوان ملکه گیاهان علوفه‌ای از آن یاد شده است. این گیاه علاوه بر تولید علوفه خوشخوراک قابل توجه در واحد سطح، از طریق همزیستی با *ریزوبیوم*ها نیتروژن هوا را در خاک تثبیت کرده و علاوه بر رفع نیازهای خود سبب حاصلخیزی خاک نیز می‌گردد (Abarsaji et al, 2000). بر اساس آمار سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ سطح زیر کشت یونجه در استان گلستان ۱۹۰۰ هکتار گزارش شده است (Agriculture Organization of Golestan Province, 2011). بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که بیش از ۶۰ درصد مناطق غربی ایران دارای درجه حرارت، شرایط جغرافیائی و خاک مناسب و بارندگی بالاتر از ۳۰۰ میلی‌متر هستند که به منظور کشت یونجه‌های یک‌ساله در دیمزارها تحت عنوان تناوب غله مرتع، جهت تولید علوفه برای دام، افزایش عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.)، کاهش فرسایش، بالا بردن ماده آلی خاک و استفاده بهتر از بارندگی‌ها مناسب می‌باشند (Francis, 2000).

عسکری و همکاران (Askari et al., 2009) به پهنه‌بندی بوم-شناختی- کشاورزی با استفاده از سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در منطقه تاکستان پرداختند. در این پژوهش پهنه‌بندی مطابق روش فائو صورت گرفت و پس از پهنه‌بندی اقلیمی- کشاورزی و پهنه بندی خاکی- کشاورزی، در نهایت ۲۷ واحد بوم-شناختی کشاورزی تعیین شد. کلاس‌های تناسب اراضی، میزان پتانسیل تولید و میزان تولید در هر یک از پهنه‌ها برای محصولات گندم، جو (*Hordeum vulgare* L.)، یونجه (*Medicago sativa* L.) و ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) محاسبه گردید. در ادامه مشخص شد محدودیت‌های موجود عمدتاً شامل محدودیت‌های توپوگرافی در بخش‌های غربی و محدودیت‌های شوری و قلیائیت در قسمت‌های شرقی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در تحقیقی در ایالت هیماچال پرادش هند[1] با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی به پهنه‌بندی اراضی دارای پتانسیل کشت غلات (گندم، جو، ذرت و برنج (*Oryza sativa* L.)) پرداخته شد. در این پژوهش مشخص شد که نواحی واجد پتانسیل کشت گندم معادل ۴۱۰ هزار هکتار می‌باشد و افزایش ۱۳ درصدی در سطح زیر کشت این محصول قابل انتظار است. به طور مشابه این رقم در مورد محصولات جو و برنج به ترتیب ۳۸۴ و ۲۲ هزار هکتار برآورد شد (Baghat et al., 2009). شریفی حسینی و همکاران (Sharifi-Hoseyni et al., 2009) به ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای کشت گندم و یونجه در منطقه هندیجان با استفاده از GIS پرداختند. ایشان بیان کردند متغیرهای اقلیمی در تولید این محصولات محدودیتی ایجاد نمی‌کند اما شوری و قلیائیت شدید و مقدار زیاد آهک خاک مهم‌ترین عوامل می‌باشند. نتایج نشان داد در مجموع هشت واحد مورد بررسی، شش واحد آن جهت کشت یونجه در کلاس مستعد (S_2) قرار دارد. بامیری و همکاران (Bameri et al., 2003) به ارزیابی کیفی تناسب اراضی دشت چاه‌شور ایرانشهر جهت کشت یونجه، گندم و جو پرداختند. پس از بررسی خصوصیات اقلیم، خاک و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه ایشان به این نتیجه رسیدند

1- Himachal pradesh

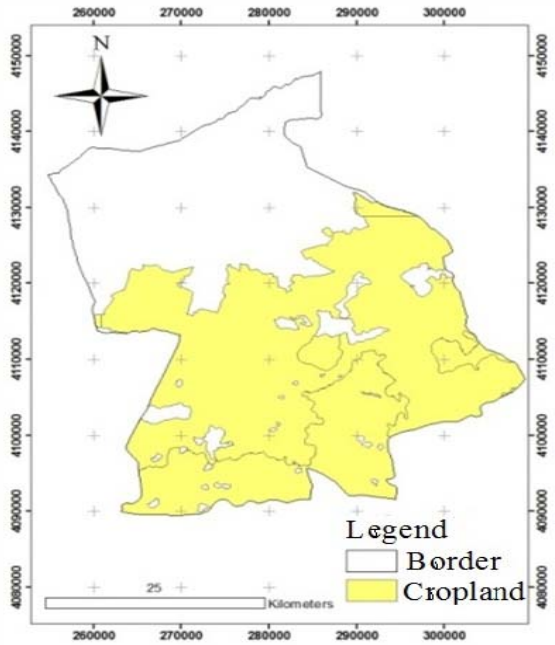
برخی از خصوصیات خاک و توپوگرافی عامل محدودکننده تولید محصولات نام برده در منطقه هستند. از عوامل محدودکننده جهت کشت یونجه در این منطقه، توپوگرافی، شوری، بافت خاک و از عوامل محدودکننده کشت گندم و جو، بافت خاک، سنگریزه و توپوگرافی اعلام شد.

استعداد اراضی منطقه دامغان جهت کشت گندم آبی توسط اشرف و همکاران (Ashraf et al., 2010) و جهت کشت جو آبی توسط اشرف (Ashraf, 2011) مورد ارزیابی قرار گرفت. کمبود آب، شوری خاک، میزان سدیم قابل تبادل، خصوصیات فیزیکی خاک و حاصلخیزی ضعیف از عوامل محدودکننده کشت در این منطقه شناخته شد.. ال مشرقی و همکاران (Al-Mashreghi et al., 2011) تناسب اراضی را در استان ایب، جمهوری یمن جهت کشت سورگوم (*Sorghum bicolor* L. Moench) ارزیابی کرده و بیان کردند که حدود ۶۱ درصد از منطقه جهت کشت این محصول مناسب است. بر اساس مطالعه هینوک (Hinok, 2010) در منطقه لگامبو در اتیوپی جهت کشت گندم و ذرت ایشان از سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده کرده و بیان کردند که منطقه مورد مطالعه در حدود ۸۵ درصد جهت کشت گندم مناسب بوده و همچنین در حدود ۶۵ درصد نیز جهت کشت ذرت مناسب است. بریزا و همکاران (Briza et al., 2005) نیز به بررسی تناسب اراضی استان سلیمانه در مراکش جهت تولید ذرت پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که محتوای آهک خاک، شیب و بافت خاک به عنوان مهم‌ترین عامل در کشت ذرت در این منطقه است. با توجه به این‌که شهرستان آق‌قلا یکی از مراکز مهم دامپروری در استان گلستان می‌باشد، لذا شناسایی مناطق مستعد و غیرمستعد بر اساس شناخت مزیت‌ها و محدودیت‌های محیطی کشت محصول می‌تواند کمک شایانی به توسعه سطح زیرکشت و پایداری میزان تولید یونجه یک‌ساله در این شهرستان نماید. از طرفی با وجود قابلیت بالای فن‌آوری GIS در تحلیل داده‌ها، از قابلیت‌های توابع تحلیلی در مطالعات امکان‌سنجی کشت محصولات زراعی، در سطح کشور ما بهره کافی برده نشده است. بنابراین این مطالعه با هدف بهره‌گیری از توابع تحلیل‌های مکانی همراه با فرآیند سلسله مراتبی (AHP) جهت شناسایی مناطق مناسب کشت یونجه یک‌ساله در شهرستان آق‌قلا انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان آق‌قلا یکی از شهرستان‌های شمالی استان گلستان است و بین ۵۴ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی در شمال استان واقع شده است. این شهرستان در طرفین رودخانه گرگان رود و در شمال شهر گرگان قرار گرفته است. محصولات عمده آن شامل : غلات، حبوبات، نباتات علوفه‌ای، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) و دانه‌های روغنی است که از طریق کشت آبی و دیم به دست می‌آید. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا می‌باشد که در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل۱- محدوده اراضی کنونی کشاورزی شهرستان آق‌قلا
Fig. 1- Current area of agricultural land of Aq-Qalla township

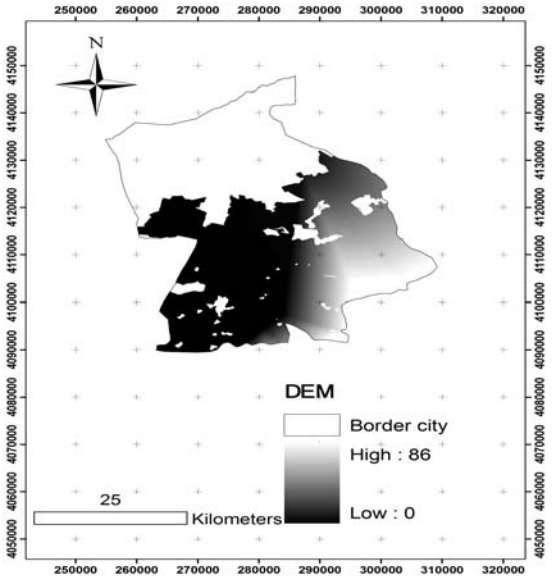
بازدید صحرایی از منطقه مورد مطالعه

در بازدیدی که از زمین‌های کشاورزی شهرستان آق‌قلا در سال ۱۳۹۲ صورت گرفت، مشاهده شد که کشاورزان منطقه جهت تأمین علوفه مورد نیاز دام‌های خود، در کنار محصولات زراعی همانند گندم و جو دیم، یونجه یک‌ساله، البته به صورت محدود، به صورت سنتی

کشت می‌کنند. بر اساس گفته زارعین منطقه، کشت این گیاه، علاوه بر تأمین خوراک دام‌ها، باعث افزایش عملکرد محصولات بعدی در تناوب با یونجه خواهد شد.

تهیه نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعاتی

نقشه‌های شیب، جهات شیب و ارتفاع از سطح دریا با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM)[1] با دقت مکانی ۴۰ متر برای استان گلستان در مقیاس۱:۲۵۰۰۰ برای محدوده کشاورزی شهرستان آق‌قلا در محیط ArcMAP تهیه شد (شکل۲).



شکل۲- نقشه مدل رقومی ارتفاع اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا

Fig. 2- A digital elevation model of agricultural land in Aq-Qalla township

برای تهیه نقشه‌های دماهای متوسط، کمینه، بیشینه ومیزان بارش در محدوده مورد مطالعه، از داده‌های اقلیمی ۱۵ ساله آماری ایستگاه‌های باران‌سنجی، هم‌دیدی و اقلیم‌شناسی مستقر در استان گلستان (در مجموع ۴۳ ایستگاه) استفاده شد. برای تهیه این نقشه‌ها نیز از روش میان‌یابی وزن‌دهی فاصله معکوس (IDW)[2] و کریجینگ استفاده شد. در شکل ۳ برخی از این نقشه‌ها آمده است.

به منظور تهیه نقشه‌های رقومی بافت، شوری، pH، ماده آلی و همچنین عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، روی و آهن از اطلاعات ۳۰۰ نمونه خاک از اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. این نمونه‌ها از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان تهیه شد. پس از جمع‌آوری این اطلاعات به منظور تهیه نقشه خصوصیات خاک از روش‌های مختلف درون‌یابی از جمله کریجینگ و IDW استفاده شد. به این صورت که در روش میان‌یابی کریجینگ از سه مدل کروی، نمایی و گوسی و در مورد روش وزن‌دهی فاصله معکوس (IDW) از توان‌های یک، دو و سه جهت تعیین بهترین روش جهت ترسیم نقشه‌های خاک استفاده شد. در شکل ۴ برخی از نقشه‌های متغیرهای خاکی نشان داده شده است. جدول (۱) نوع روش- مدل میان‌یابی جهت ترسیم نقشه متغیرهای خاک را در اراضی شهرستان آق‌قلا نشان می‌دهد. دقت این روش‌ها و مدل‌ها با سه معیار آماری میانگین خطای اریب یا انحراف (MBE[3])، میانگین خطای مطلق (MAE[4]) و ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE[5]) سنجیده شد.

جدول۱- روش‌های درون‌یابی جهت تولید نقشه متغیرهای خاکی در اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا

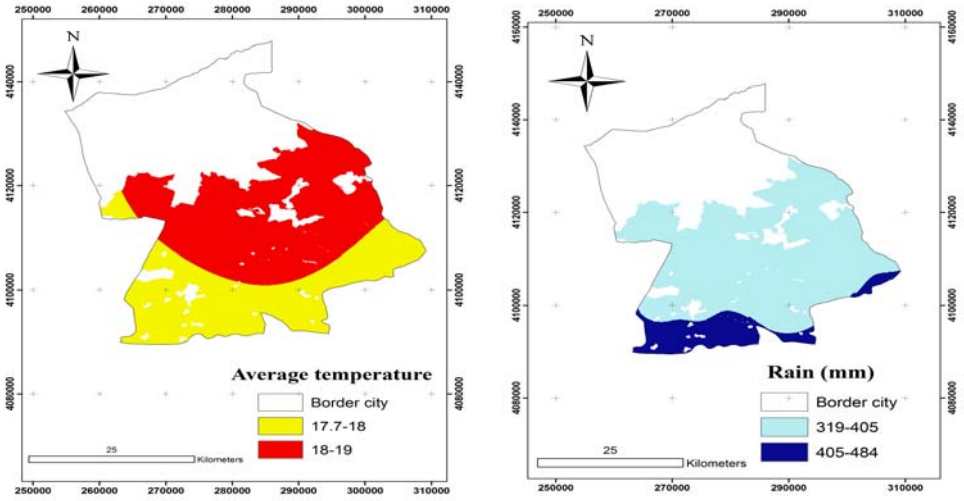
Table 1- Interpolation methods for soil variables mapping in agricultural land of Aq- Qalla township

متغیر خاکی Soil variable	روش/مدل Method/model
نیتروژن N	کریجینگ- مدل کروی Kriging-spherical model
فسفر قابل استفاده Availability P	کریجینگ- مدل نمایی Kriging-exponential model
پتاسیم قابل استفاده Availability K	کریجینگ- مدل نمایی Kriging-exponential model
کلسیم قابل تبادل Exchangeable Ca	کریجینگ- مدل کروی Kriging-spherical model
آهن Fe	کریجینگ- مدل گوسی Kriging-gaussian model
روی Zn	کریجینگ- مدل کروی Kriging-spherical model
شوری EC	کریجینگ- مدل نمایی Kriging-exponential model
اسیدیته pH	کریجینگ- مدل نمایی Kriging-exponential model
ماده آلی Organic matter	کریجینگ- مدل کروی Kriging-spherical model

فرآیند سلسله مراتبی (AHP)

1- Digital elevation model
2-Inverse distance weighting

3-Mean bias error
4- Mean absolute error
5- Root mean square error



شکل۳- نقشه برخی متغیرهای هواشناسی در محدوده اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا

Fig. 3- Maps of some meteorological variables in agricultural lands of Aq-Qala township

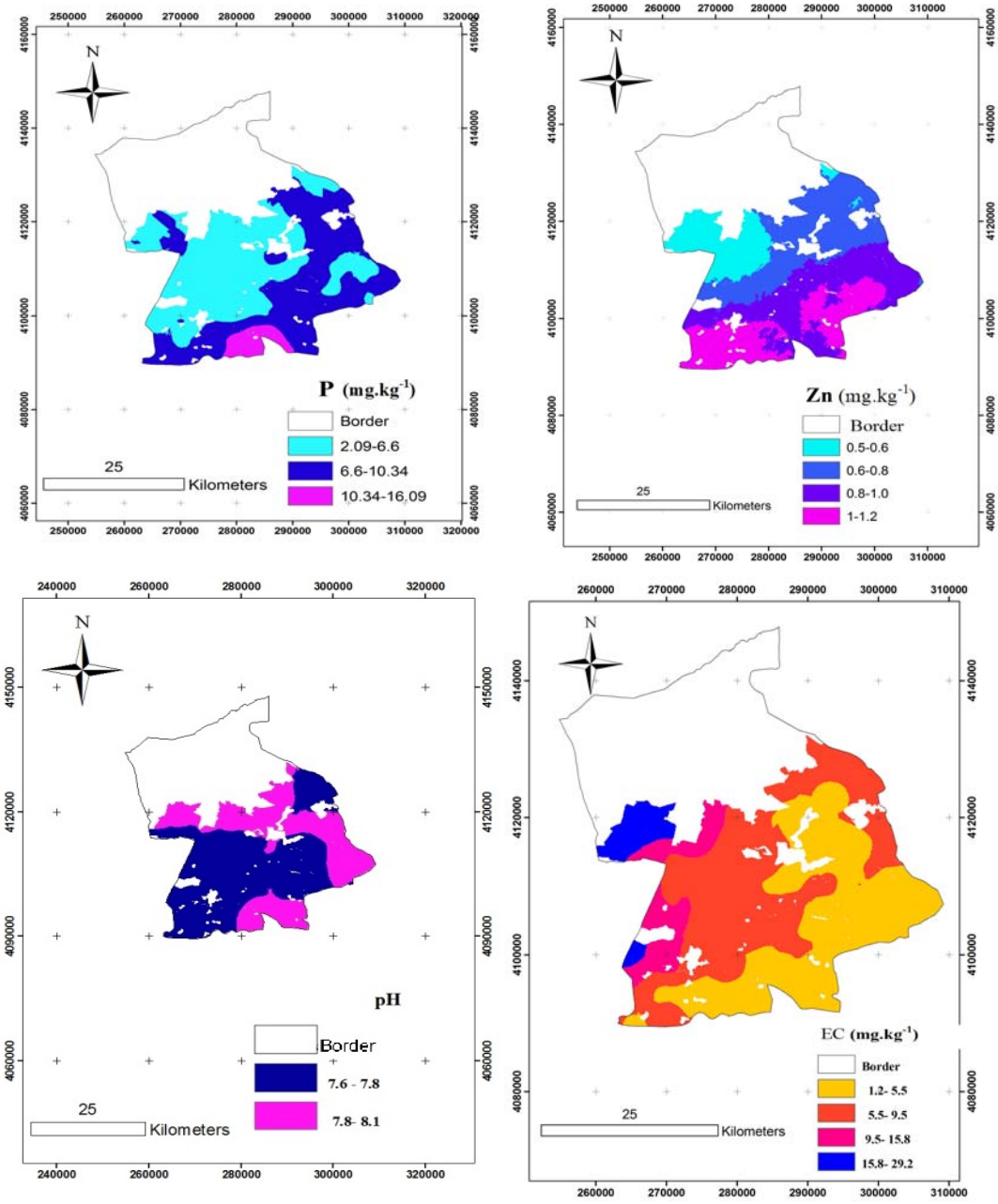
به منظور وزن‌دهی به معیارها با روش AHP[1] ، ابتدا درخت سلسله مراتبی تشکیل گردید. بدین ترتیب فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به عنوان یکی از قوی‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، مسائل پیچیده را از طریق تجزیه آن به عناصر جزیی و ارتباط هدف اصلی با پایین‌ترین سطح سلسله مراتبی به شکل ساده‌تری بیان می‌کند. در تحقیق حاضر جهت استعدادسنجی اراضی مستعد کشت یونجه ابتدا عوامل اقلیمی، خاک و توپوگرافی به عنوان معیار-های اصلی انتخاب شدند و هر یک از این عوامل به زیر معیارهایی تقسیم شدند.

در تحلیل سلسله مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوط به خود در سطح بالاتر باید به صورت زوجی مقایسه شوند که بدین صورت وزن نسبی آن‌ها به دست می‌آید و سپس با استفاده از وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه تعیین می‌گردد. با توجه به این‌که در تعیین تناسب اراضی عوامل محیطی فرآوان دخیل هستند و به جهت ارزیابی دقیق‌تر لازم است تا اهمیت نسبی آن‌ها مشخص شود، مقایساتی بین معیارها و زیر معیارها صورت می‌گیرد. بنابراین در این مقایسه‌ها میزان ارجعیت عناصر بر یکدیگر مشخص می‌شود. برای جمع‌آوری داده‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و وزن معیارها و زیرمعیارها از نتایج ۲۵ پرسشنامه استفاده شد. این پرسشنامه‌ها حاوی مقایسات مشترک برای کلیه عوامل مؤثر در استعدادسنجی است که توسط متخصصان زراعت شاغل در استان گلستان بر اساس رویه‌ایی که توسط ساعتی (Satty, 1980) ارائه شده است، تکمیل شد و پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها تجزیه و تحلیل آن‌ها به وسیله نرم‌افزار Expert Choice نسخه ۲۰۰۱ انجام گردید.

نحوه امکان‌سنجی اراضی

جهت انطباق نیازهای محیطی گیاه زراعی با خصوصیات اراضی، ابتدا نیازهای زراعی و بوم‌شناختی گیاه مورد نظر با استفاده از منابع علمی موجود (ترجیحاً منابع مطالعاتی در استان گلستان) تعیین و درجه‌بندی گردید. سپس اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری و تهیه و به محیط GIS نسخه ۹/۳ منتقل شد و نقشه‌های موضوعی مورد نظر تهیه گردید. این نقشه‌ها عبارت بودند از دمای متوسط سالانه، دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش، شیب، جهات شیب، ارتفاع از سطح دریا ،مقادیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، pH، آهن، روی، شوری، بافت و ماده آلی. پس از تهیه لایه‌ها، کار طبقه‌بندی و رتبه‌بندی هر لایه بر اساس جدول نیازهای بوم‌شناختی (جدول ۲)، در چهار طبقه بسیار مستعد، مستعد، نیمه‌مستعد، غیرمستعد صورت گرفت. این لایه‌ها در محیط GIS فراخوانی شدند و سپس لایه‌ها تلفیق و روی‌هم‌گذاری هر لایه با اختصاص وزن AHP مختص به آن انجام شد برای این کار از روش هم‌پوشانی وزنی در محیط ArcMap استفاده شد.

1- Analytical hierarchy process



شکل٤- نقشه پهنه‌بندی برخی از متغیرهای خاک در اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا

Fig. 4- Zoning maps of some soil variables in agricultural land of Aq-Qalla township

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از فرآیند سلسله مراتبی (AHP) نشان داد که عامل اقلیم نسبت بـه دو عامـل خـاک و توپـوگرافی بـا ارزش وزنـی ۰/۵۵۹ به عنوان اولویت اول از نظر متخصصان زراعت انتخـاب شـد. در بین عوامل اقلیمی نیز بارش با ارزش وزنی ۰/۵۳۷ بالاترین اهمیت و دمای کمینـه و بیشـینه بـا ارزش وزنـی ۰/۰۹۲ و ۰/۱۵۰ کمتـرین

اهمیت را داشتند (جدول۳).

جدول۲- درجه‌بندی نیازهای بوم‌شناختی گیاه یونجه یک‌ساله گونه (*Medicago scutellata* L. Mill.)

Table 2- Grading of ecological needs of annual alfalfa (*Medicago scutellata* L. Mill.)

متغیر Variables	بسیار مستعد (S_1) High suitable (S_1)	مستعد (S_2) Suitable (S_2)	نیمه‌مستعد (S_3) (Semi- suitable S_3)	غیرمستعد (N) Non-suitable (N)	منبع Reference
میزان بارش سالانه (میلی‌متر) Annual rain (mm)	>500	450-500	300-450	<300	Bahrani (2005); Kazemi (2012); KhodaBandeh (2009)
دمای متوسط سالانه (سانتی‌گراد) Average temperature (^oC)	25-20 & 20-5	20-30 & 25-30	35-30	>35	Dorri et al. (2007)
دمای کمینه سالانه (سانتی‌گراد) Minimum temperature (^oC)	10-15	5-10	0-5	<0	Dorri et al. (2007)
دمای بیشینه سالانه (سانتی‌گراد) Maximum temperature (^oC)	20-30	20-25	30-38	>38	Dorri et al. (2007)
شوری (دسی‌زیمنس برمتر) EC ($dS.m^{-1}$)	0-3.5	3.5-5.5	8-12	>12	Dorri et al. (2007) Gool et al. (2005)
اسیدیته pH	6.5–8	8-8.5 & 5.5-6.5	5-5.5	<5	Dorri (2007) Sys et al. (1991)
بافت خاک Soil texture	لومی– لومی رسی– لومی رسی‌شنی Loam- clay loam- clay- sandy clay loam	لومی شنی– لومی رسی– سیلتی Sandy loam- clay loam- silty	رسی شنی– شنی لوم– لومی– سیلتی Silty loam- sandy clay- silty loam- sandy loam	شنی و سایر کلاس‌ها Sandy and Other classes	Kazemi (2012); Sys et al. (1991); Gool et al. (2005)
شیب (درصد) Slope (%)	0-4	4-8	8-12	> 12	Makhdum (2011)
جهات شیب Aspect slope	بدون جهت– جنوب – جنوب‌شرقی Plateau, south and southeast	شرق– شمال‌شرقی East and northeast	جنوب‌غربی– شمال‌غربی Southwest and northwest	غرب– شمال West and north	Makhdum (2011)
ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation (m)	0-1000	1000-1500	1500-2500	>2500	Makhdum (2011)
آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم) Fe (ppm)	10-15	8-10 & 15-18	5-8 & 18-20	>20 & <5	Malakuti & Gheybi(1997)

روی (میلی‌گرم در کیلوگرم) Zn (ppm)	1.5-2	2-4 & 1-1.5	4-6	>6 & <1	Malakuti & Gheybi (1997)
کلسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) Ca (ppm)	10-20	20-30 & 5-10	30-50	<5 & >50	Malakuti & Gheybi (1997); Kazemi (2012)
فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم) P (ppm)	10-14	14-18 & 8-10	18-22 & 5-8	<5 & >22	Malakuti & Gheybi (1997)
پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم K (ppm)	200-300	& 150-200 300-350	100-150	& <100 >350	Malakuti & Gheybi (1997)
ماده آلی (درصد) Organic Matter	>3	2-3	1-2	<1	Malakuti & Gheybi (1997); KhodaBandeh (2009)
نیتروژن (درصد) N (%)	0.1<	0.07-0.1	0.05-0.07	<0.05	Malakuti & Gheybi (1997); Kazemi (2012)

جدول۳- ارزش وزنی و اهمیت معیارها و زیرمعیارها مؤثر در کشت یونجه یک‌ساله در شهرستان آق‌قلا

Table 3- The value and weights of criteria and sub-criteria for annual alfalfa cropping in Aq-Qalla township

معیار/زیرمعیار Criteria / Sub-criteria	وزن Weight	اهمیت Important	معیار/زیرمعیار Criteria / Sub-criteria	وزن Weight	اهمیت Important
۱- اقلیم **1. Climate**	0.559 0.537	1	**۳- خاک** **3. Soil**	0.328	2
بارش Rain	0.221	1	ماده آلی Organic matter	0.176	1
دمای متوسط Average temperature	0.150		هدایت الکتریکی EC	0.172	2
دمای بیشینه Maximum temperature		2	اسیدیته pH	0.162	3
دمای کمینه Minimum temperature	0.092	3	بافت Texture	0.153	4
۲- توپوگرافی **2. Topography**	0.113	4	نیتروژن N	0.106	5
جهات شیب Slope aspect	0.504		فسفر P	0.076	6
شیب Slope	0.345	3	پتاسیم K	0.052	7
ارتفاع از سطح دریا Elevation	0.151	1	کلسیم Ca	0.037	8
ضریب ناسازگاری IR	0.002	2	آهن Fe	0.033	9
		3	روی Zn	0.033	9

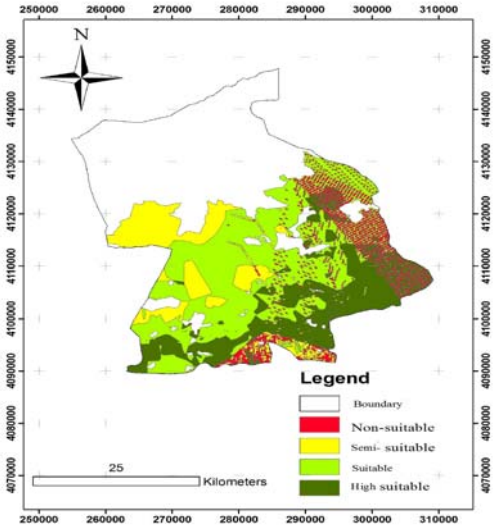
در بین متغیرهای توپوگرافی جهات شیب با ارزش وزنی ۰/۵۰۴ دارای اهمیت بالاتری نسبت به شیب و ارتفاع از سطح دریا بود. در بین عوامل مربوط به خصوصیات خاک سه عامل ماده آلی، شوری و pH به ترتیب بالاترین وزن و عناصر کم‌مصرف آهن و روی کمترین ضریب را کسب کردند (جدول ۳).

نتایج نشان داد که با انطباق ۱۷ لایه محیطی مؤثر در فرآیند

کشت یونجه در محیط GIS، امکان شناخت مناطق مستعد کشت برای این گیاه زراعی در منطقه آق‌قلا وجود دارد. نتایج حاصل از روی‌هم‌گذاری وزنی لایه‌ها جهت پهنه‌بندی اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا با بررسی عوامل اقلیمی، خاک و توپوگرافی در چهار طبقه در شکل ۵ نشان داده شده است.

در پهنه بسیار مستعد به دلیل دارا بودن شرایط اقلیمی مناسب در طول دوره رشد یونجه، با فرض اجرای صحیح مدیریت زراعی، دارای عملکرد بالایی خواهد بود. این مناطق ۲۵۸۱۰/۸۶ هکتار (۲۳/۱ درصد) از مساحت اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا را به خود اختصاص داد (جدول ۳). میزان بارش حدود ۴۰۰-۳۰۰ میلی‌متر، دمای مناسب، شیب مناسب و داشتن جهات‌های جغرافیایی جنوبی و جنوب شرقی از خصوصیات این پهنه بود. از لحاظ عناصر غذایی نیز این اراضی وضعیت مطلوبی دارند به طوری‌که میزان کلسیم در این منطقه در حدود ۱۳-۲ و پتاسیم ۲۵۰-۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است. البته پهنه بسیار مستعد دارای مقدار شوری پایین، بافت خاک لومی رسی و درصد ماده آلی بالاتری نسبت به دیگر مناطق دارا بود. در نقشه نهایی پهنه بسیار مستعد در قسمت‌های جنوبی تا شرق شهرستان به صورت نواری از غرب به شرق کشیده شده است (شکل ۵). سندگل و همکاران (Sandgoul et al., 2005) به مقایسه عملکرد علوفه پنج گونه یونجه یک‌ساله بومی و خارجی در منطقه گرگان پرداختند. ایشان بیان کردند از بین گونه‌های خارجی گونه *M. scutellata* گونه رطوبت‌پسند و گرمادوست با عملکرد ۲۰۸۳ کیلوگرم در هکتار بالاترین تولید و گونه *M. polymorpha* با منشأ بومی با عملکرد متوسط ۱۴۸۷ کیلوگرم در هکتار در مقام دوم قرار گرفت. براساس مطالعات انجام شده توسط دری و همکاران (Dorri et al., 2007) گونه *M. scutellata* دامنه سازگاری بیشتری با شرایط محیطی گلستان داشته و در سال دوم مقدار علوفه خشک آن افزایش می‌یابد. اما گونه *M. polymorpha* دارای کمترین مقدار تولید پروتئین در واحد سطح است. با توجه به این نتایج گونه *M. scutellata* گونه مناسبی جهت کشت در این مناطق محسوب می‌شود.

پهنه مستعد ۴۹۰۷۹/۷۸ هکتار (۴۷/۲ درصد) از مساحت اراضی این شهرستان را به خود اختصاص داد (جدول ۴) که نسبت به سایر پهنه‌ها از وسعت بیشتری برخوردار بود. پهنه مستعد عمدتاً در کل اراضی کشاورزی شهرستان قابل مشاهده بود. این مناطق از لحاظ شرایط بوم‌شناختی جهت کشت یونجه مناسب هستند اما در رتبه پایین‌تری نسبت به مناطق بسیار مستعد قرار دارند و از لحاظ شیب، جهات شیب، ماده آلی و وضعیت بارش در شرایط قابل قبولی قرار دارند. با کشت یونجه در این منطقه می‌توان به عملکرد مناسب و قابل قبولی دست یافت.



شکل ۵- نقشه استعداد سنجی اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا جهت کشت یونجه یک‌ساله

Fig. 5- Agricultural lands suitability map for annual alfalfa cultivation in Aq-Qalla township

جدول ٤- مساحت پهنه‌ها جهت کشت یونجه یک‌ساله در شهرستان آق‌قلا
Table 4- Zone area for alfalfa cropping in Aq-Qalla township

پهنه Zone	مساحت (هکتار) Area (ha)	نسبت مساحت پهنه به مساحت کل اراضی (درصد) Area /Total area (%)
مناطق بسیار مستعد High-suitable	25810.86	23.10
مناطق مستعد Suitable	49079.78	47.20
مناطق نیمه‌مستعد Semi-suitable	18176.28	20.40
مناطق غیرمستعد Non-suitable	9866.08	9.30

ثروتی و همکاران (Servati et al., 2014) به بررسی ارزیابی تناسب اراضی یونجه در منطقه خواجه استان آذربایجان شرقی با منطق فازی و استفاده از روش بولین پرداختند. پس از بررسی نتایج به این صورت توسط ایشان بیان شد که عامل شیب دارای بیشترین وزن بوده و به عنوان مهم‌ترین معیار و آهک با کمترین وزن به عنوان کم اهمیت‌ترین معیار در بین خصوصیات مؤثره انتخاب شد.

نتایج نشان داد که پهنه نیمه مستعد در قسمت‌های مرکزی به سمت شمال غرب اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا با شوری در حدود ۹/۵-۵/۵ دسی‌زیمنس بر متر، pH در حدود ۸/۱-۷/۶ و بارش بسیار کم ۲۰۰-۱۵۰میلی‌متر قرار گرفته است. از عوامل اصلی محدودکننده کشت، بارش کم و شوری بالا در این ناحیه بود. گزارش شده که یونجه از جمله گیاهان نسبتاً حساس به شوری است، تنش شوری مراحل اولیه همزیستی گیاه با باکتری را متوقف می‌کند. حداکثر شوری قابل تحمل یونجه ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر است (Wie et al., 2004). این ناحیه ۱۸۱۷۶/۲۸ هکتار (۲۰/۴ درصد) از مساحت اراضی کشاورزی این شهرستان را شامل می‌شود (جدول ۴). ارزیابی تناسب اراضی برای یونجه در اراضی منطقه پیرانشهر توسط قائمیان و همکاران (Qaemiyan et al., 2002) نشان داد که منطقه مورد مطالعه جهت کشت این گیاه در طبقه مستعد (S_2) قرار گرفته است. در مطالعه آن‌ها توپوگرافی از عوامل محدودکننده کشت اعلام شد.

ناحیه غیرمستعد ۹۸۶۶/۰۶ هکتار (۹/۳ درصد) از مساحت اراضی شهرستان آق‌قلا را به خود اختصاص داد (جدول ۴). با به کارگیری روش‌های مدیریتی اصلاح اراضی شور و افزایش حاصلخیزی خاک در این پهنه، گیاه یونجه می‌تواند نقش ممتازی در ارتقای این اراضی به پهنه بالاتر و افزایش کیفیت منابع ایفا کند. نقشه استعدادسنجی اراضی نشان داد که پهنه غیرمستعد به صورت بخش کوچکی در قسمت شرق و جنوب اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا قرار گرفته است که شرایط نامساعدی از لحاظ کشت یونجه دارا می‌باشد. این منطقه دارای مقدار بارش ناچیز، شوری بالا بین ۱۵-۲۹ دسی‌زیمنس بر متر و جهات‌های شیب نامناسب در جهات غربی و شمالی بود. یونجه از مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای است که از وسعت پراکندگی آن می‌توان نتیجه گرفت که این گیاه قابلیت محصول‌دهی بالا در دامنه‌ی وسیعی از نظر خاک و شرایط اقلیمی دارا می‌باشد و حتی در شرایط سخت آب و هوایی می‌تواند علوفه‌ای با کیفیت بالا تولید کند (Heydari-Sharifabad & Dorri , 2001).

عمده مناطق در اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا دارای مشکل شوری می‌باشد. یونجه از جمله گیاهان نسبتاً حساس به شوری است، به گونه‌ای که آستانه تحمل شوری آن دو دسی‌زیمنس بر متر است. اگر شوری خاک به بیش از دو دسی‌زیمنس افزایش یابد، رشد و عملکرد آن کاهش می‌یابد. بر اساس آزمایش‌های انجام شده، در سطوح شوری ۳/۴، ۵/۴، ۸/۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر عملکرد یونجه به ترتیب ۹۰، ۷۵، ۵۰ و ۵ درصد می‌باشد (Mass & Haffman, 1997). کاظمی و همکاران (Kazemi et al., 2012) به پهنه‌بندی زراعی- بوم‌شناختی اراضی کشاورزی استان گلستان جهت کشت کلزا (*Brassica napus* L.) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که ۲۱/۳۴ و ۳۵/۰۴ درصد از زمین‌های زراعی استان برای تولید کلزا به ترتیب بسیار مستعد و مستعد بودند. ایشان گزارش کردند که طبقات نیمه‌مستعد و غیرمستعد کشت کلزا، به قسمت‌های شمالی و شرقی استان اختصاص دارد. در این مناطق میزان بارش و پتانسیل منابع آبی پایین، شوری و کمبود عناصر غذایی از عوامل محدودکننده کشت بوده است. گزارش‌های

متعدد نشان می‌دهد در منطقه شمال استان گلستان از جمله در شهرستان آق‌قلا عامل محدودکننده، شوری بالا است که باعث شده قسمت‌هایی از این مناطق به دلیل داشتن شرایط قابل قبول از نظر سایر متغیرهای محیطی، در هیچ پهنه مستعدی قرار نگیرند. از دلایل شوری در این مناطق تبخیر بیش از اندازه از سفره‌های زیرزمینی شور و کم‌عمق را می‌توان ذکر کرد (Zahtabiyan & Sarabiyan, 2004; Ghanei et al., 2009).

نتیجه‌گیری

در این مطالعه با توجه به ارزیابی عوامل مختلف محیطی و براساس نظرات متخصصین زراعت استان در قالب پرسشنامه‌های AHP، مناطق مستعد و غیرمستعد در چهار طبقه شناسایی شدند. تهیه نقشه پهنه‌بندی کشت یونجه یک‌ساله با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، نتایج ارزشمندی را جهت مدیریت و برنامه‌ریزی مدیران ارایه می‌نماید. به طور کلی در این مطالعه مشخص شد که ۲۳/۱ درصد از اراضی این شهرستان جزو مناطق بسیار مستعد جهت کشت یونجه محسوب می‌شود و به شرط مدیریت زراعی مناسب با بیشترین بازده همراه خواهد بود. در بخش‌های وسیعی از این شهرستان علاوه بر مشکل شوری و pH، مقادیر پتاسیم، کلسیم و ماده‌ی آلی از عوامل محدودکننده شناخته شدند. به این دلیل که در pH کمتر از ۵/۵ یون-های آهن و آلومینیوم با فسفات ترکیب شده و به صورت رسوبات نامحلول در می‌آیند. در pH بالاتر از ۷، ترکیبات نامحلول فسفات‌های کلسیم و منیزیم به وجود می‌آید. در کنار مسائل فنی و علمی کشت یک محصول در یک منطقه، آگاه کردن کشاورزان پیشرو از جزییات فرآیند تولید یکی از راه های افزایش میزان تولید محصول در هر منطقه است. سرانجام پیشنهاد می‌شود که با بررسی برخی از عوامل اقلیمی مانند ساعات آفتابی، میزان تبخیر و تعرق، و نیز ارزیابی عوامل اقتصای، توسعه‌ای و اجتماعی نتایج این مطالعه تکمیل‌تر شود، تا بتوان با استفاده مناسب از منابع محیطی و شناسایی محدودیت‌ها و مزیت های کشت به تولید پایدار محصول یونجه در منطقه دست یافت.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه نویسنده اول می‌باشد که با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شده است. بدین وسیله نویسندگان مراتب قدردانی خود را از معاونت پژوهشی آن دانشگاه اعلام می‌دارند. همچنین از کمک‌های شایان توجه جناب آقای مهندس هنردوست قدردانی می‌گردد.

منابع

1- Abarsajy, G.C., and Hussein, A.S. 2000. Comparison of forage yield of alfalfa varieties in rainfed conditions. Research Journal of Grassland and Deser 11(1): 34-43. (In Persian with English Summary)
2- Al-Mashreki, M.H., Akhir, J. B.M., Rahim, S.A., Desa, K.M., Lihan, T., and Haider, A.R. 2011. Land suitability evaluation for sorghum crop in the Ibb Governorate, Republic of Yemen using remote sensing and GIS techniques. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 5(3): 359-368.
3- Ashraf, S., Munokyan, R., Normohammadan, B., and Babaei, A. 2010. Qualitative land suitability evaluation for growth of wheat in northeast of Iran. Research Journal of Biological Science 5: 548-552.
4- Ashraf, S. 2011. Land suitability evaluation for irrigated barley in Damghan plain, Iran. Indian Journal of Sciences and Technology 4: 1182-1187.
5- Askari, M., Sarmadian, F., Khodadadi, M., and Norouzi, A. A. 2009. Ecological agriculture zoning using remote sensing and geographic information systems (GIS) in the Takestan area. Journal of Soil and Water Research 40: 93-104. (In Persian with English Summary)
6- Bahrani, M.G. 2005. Forage production of plants. Shiraz University Press. 150 pp. (In Persian)
7- Bammery, M., Bahrami, H., and Masyh-Abady, M.H. 2003. Qualitative land suitability evaluation for irrigated wheat, barley and alfalfa in Iranshahr plain Chah Shur. Journal of Soil and Water Sciences 17(2): 195-208. (In Persian with English Summary)
8- Bhagat, R.M., Singh, S., Sood, C., Rana, R.S., Kalia, V., Pradash, S., Immerzeel, W., and Shrestha, B. 2009. Land suitability analysis for cereal production in Himachal Pradash (India) using Geographical Information System. Journal Indian Society Remote Sensing 37: 233- 240.
9- Bihen, S.K., Saha, S.K., Pande, L.M., and Prased, J. 1992. Use of remote sending and GIS technology in

sustainable agricultural management and development. Indian Institute of Remote Sending, NRSA DEHRADUN-248001.

10- Briza, Y., Delionardo, F., and Spisni, A. 2005. Land evaluation in the province of Ben Sliman, Morocco. 21st Course Professional Master. Remote Sensing and Natural Resources Evaluation., 10 Nov 2000– 22 June 2005, IAO Florence, Italy 21: 62-78.

11- Dayal, R., Singh, G., and Sharma, R.G. 2000. Growing legumes and cereal mixture under dry farming condition. Indian Journal Agronomy 12: 126- 131.

12- Dorry, M., Naseri, G., and Akbarzade, H. 2007. Annual production of alfalfa cultivars under rainfed conditions in Gorgan. Journal of Research of Grassland and Desert 4: 455-463. (In Persian with English Summary)

13- Ehteramiyan, K., Niya-Gharaei, M., Motamedi, M., Gharaei, S., Rafiei, M., and Zabol Abbasi, F. 2009. Climatic zoning in north Khorasan for dryland wheat cultivation. Journal of Geographic Science 14: 45-62. (In Persian)

14- Esfandiari, S., Morad-Hasanloo, A., Farshadfar, M., and Safari, H. 2008. Comparison of performance and physiological characteristics of 5 dryland annual alfalfa in Kermanshah province. Research Journal of Genetics and Breeding of Pastures and Forests (16): 294-285. (In Persian with English Summary)

15- Eshghizadeh, H.R., Chaichi, M.R., Ghalavand, V., Shabani, G., Azizi, K., and Torknejad, A. 2007. Annual survey of intercropping on yield and protein content of alfalfa and barley under dryland conditions. Journal of Agronomy and Horticulture production (75): 103-112. (In Persian)

16- Francis, C.M. 2000. Selection and agronomy of medics for dryland pasture in Iran. Journal Agricultural Research 43: 1571-1581.

17- Ghanei- Motlagh, G., Pashaee- Aval, A., Khormali, F., and Mosaedi, A. 2009. Preparing the soil Salinity map for site-specific management, case study: some farm lands in northeast of Aq-Qalla. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 5: 75-82. (In Persian with English Summary)

18- Golestan Agricultural Organization. 2011. Statistics Yearbook of 2009-2010. Statistics and Information Office , Golestan Agricultural Organization 24 pp. (In Persian)

19- Gool, D.V., Tille, P., and Moore, G. 2005. Land evaluation standards for land resource mapping. Department of Agriculture Government of Western Australia 21 pp.

20- Heidary-Sharifabad, H., and Dorri, M. 2001. Forage Plants. Research Institute of Forests and Rangelands 311 pp. (In Persian)

21- Henok, M. 2010. Land Suitability and Crop Suitability Analysis using Remote Sensing and GIS Application; a Case Study in Legambo Woreda, Ethiopia.

22- Kazemi, H. 2012. Agroecological capability zoning of Golestan province for determination of suitable cropping pattern. PhD thesis of Agronomy. Tarbitat Modares University 270 pp. (In Persian with English Summary)

23- Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataei, S., and Sadeghi, S. 2012. Agroecological zoning of agricultural lands in Golestan province for rice cultivation by Geographic Information System (GIS) and Analytical Hierarchy Process (AHP). The 14th National Conference of Rice 5 pp. (In Persian with English Summary)

24- Khodabande, N. 2009. Forage Crops. Agricultural Science Press 240 pp. (In Persian)

25- Makhdoom, M. 2011. Land Use Foundation. Tehran University Press. (In Persian)

26- Malakuti, M., and Gheybi, M.N. 1997. Determination of Critical Nutrients and Fertilizer Recommendations for Strategic Products in the Country. Agricultural Education Press. (In Persian)

27- Malczewski, J. 2006. GIS-based land-use suitability analysis. Agronomy Journal 62: 1-6.

28- Mass, E.V., and Hoffman, G.J. 1997. Crop salt tolerance current assessment. Journal Irrigation and Drainage 2: 115-134.

29- Qaemiyan, N., Barzegar, A., Mahmoudi, S., and Amari, P. 2002. Evaluation of land suitability for alfalfa in Piranshahr by parametric method. Journal of Soil and Water Sciences 16(1): 94-105. (In Persian with English Summary)

30- Saaty, T.L. 1980. The Analytical Hierarchy Process, Planning, Priority, Resource Allocation, USA. RWS Publications, Pittsburgh.

31- Sandgoul, A., Chaichi, M.R., and Kolagry Biyabani, A. 2005. Yield comparison of five annual alfalfa in Gorgan. Journal of Research in Grassland and Desert 13(1): 63-68. (In Persian with English Summary)

32- Sary-Sarraf, B., Bazgir, S., and Mohammadi, G. 2009. Climatic zoning of dry wheat cultivation in West Azarbayjan. Journal of Geography and Development 13: 5-26. (In Persian)
33- Servati, M., Jafarzazeh, A.A., Ghorbani, M., Shahbazi, f., and Davatgar, N. 2014. Evaluation of Khajeh township for alfalfa cropping using parametric (square root) and fuzzy theory. Journal of Soil and Water 24(2): 93-105. (In Persian with English Summary)
34- Sharif Hussein, S., Ghanavati, G., and Yazdi pour, A. 2009. Qualitative evaluation of land suitability for wheat and alfalfa in Hendijan. Proceedings of the National Conference on Science, Water, Soil, Plants and Agricultural Mechanization 5 pp. (In Persian)
35- Sys, I., Van Ranst, E., and Debveye, J. 1991. Land evaluation. Part1: Principles in land evaluation and crop production calculations. General Administration for Development Cooperation. Agricultural Publications. Brussels, Belgium 15 pp.
36- Wei, W., Jiang, J., Li, X., Wang, L., and Yang, S.S. 2004. Isolation of salt-sensitive mutants from *Sinorhizobium meliloti* and characterization of genes involved in salt tolerance. Letters in Applied Microbiology 39: 278-283.
37- Zahtabiyan, G., and Sarabiyan, L. 2004. Evaluation of soil and water salinization in Gonbad-Alagol. Desert Journal 2: 171-181. (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 397-411

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۴۱۱-۳۹۷

Feasibility of annual alfalfa (*Medicago scutellata* L.) cropping in Aq-Qalla township (Golestan province)

N. Nasroallahi[1], H. Kazemi[2*] and B. Kamkar[3]
Submitted: 17-11-2014
Accepted: 27-04-2015

Introduction

Land use suitability is the ability of a given type of land to support a defined use. The suitable areas for agricultural use are determined by evaluating the environmental components and understanding of local biophysical restraints. The topographic characteristics, climatic conditions and the soil quality of an area are the most important determinant parameters of land suitability evaluation (Almashkreki et al., 2011). Bhagat et al. (2009) analyzed land suitability for cereal production in Himachal Pradesh (India). In this study different parameters including climatic variables (precipitation and temperature), topographic (elevation), soil type and land cover/land use have been used in order to evaluate land suitability for cereals food-grain crops. The possibility of further expansion of cultivation area under each cereal crop was also determined. Golestan province is one of the most important region for crop production in Iran. In this study, geographical information system (GIS) and multi-criteria evaluation (MCE) were applied to evaluate the feasibility of agricultural lands in Aq-Qalla township for annual alfalfa (*Medicago scutellata* L. Mill.) cultivation.

Materials and methods

This research was conducted in northern part of Iran, Aq-Qalla township in Golestan province. The climate of this region is under the influence of Alborz Mountains, Caspian Sea, the southern wildernesses of Turkmenistan and forests. The suitability of current agricultural lands in Aq-Qalla township for annual alfalfa cultivation, were evaluated by matching the environmental requirements of crop and the land characteristics. For this purpose, required data and information of the study area were collected during 2013, and thematic maps were provided. Climatic data were collected from 43 weather stations located in Golestan province. The digital elevation model (DEM) dataset with a 40×40 m resolution and township boundary of the study area were obtained from Natural Resources Organization of Golestan province. The soil nutrient data were collected from 300 sampling sites distributed in Aq-Qala township, including EC, pH, Texture, N, P, K, Ca, Fe, Zn and Organic matter. Kriging and IDW methods were applied for interpolation of environmental variables. The digital environmental layers overlaid and integrated in GIS in respect to Analytical Hierarchy Process (AHP) weights. The weight of factors for feasibility were obtained from local experts, through a pairwise comparison of statistical analysis in Expert Choice software (ver. 2000)**.** Zoning of lands carried out in four classes including: highly suitable (S_1), suitable (S_2), semi-suitable (S_3) and non-suitable (NS). This system was based on matching between land qualities/characteristics and crop requirements. Highly suitable, suitable and semi-suitable lands were expected to have a crop yield of 80-100%, 60-80% and 40-60% of the yield under optimal conditions with practicable and economic inputs, respectively. Non-suitable lands were assumed to have severe limitations which could rarely or never be overcome by economic use of inputs or management practices (Ghaffari et al., 2000).

Results and discussion

Results of AHP questionnaires analysis showed that among the factors affecting land suitability, climate (0.559) and topography (0.113) criteria had the highest and least weight, respectively. In this AHP model inconsistency ratio is about 0.002. This indicates that the comparisons of criteria were perfectly consistent, and the relative weights were suitable for use in the land suitability analysis in Aq-Qala. The results showed that 23.1% and 47.2% of these areas were high suitable and suitable for alfalfa cropping, respectively. These zones had enough precipitation, suitable topography and high fertility. The semi-suitable and non- suitable regions (about 30% of area) were located in the northwest, east and south of Aq-Qalla township. In these zones, the environmental requirements of annual alfalfa were not fitted to ecological variables of agricultural land. The

1, 2 and 3- Graduate MSc Student, Assistant Professor and Associate Professor of Agronomy Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: hossein_k_p@yahoo.com)

results showed that the topography and climatic characteristics (temperature and precipitation) of this region were suitable for annual alfalfa growth.

Conclusion

In this study, the limiting factors were: high EC (about 30 $dS.m^{-1}$), deficiency of organic matter, K and Ca. Therefore, analyzing the soil quality is essential for understanding the environmental degradation processes in the region. Proper land management practices, leaching, drainage, land preparation, crop rotation, specific irrigation methods and using resistant crop are helpful methods to increase crop yield in this area.

Keywords: AHP, Geographical Information System, Kriging, Land suitability

References

Al-Mashreki, M.H., Akhir, J.B.M., Rahim, S.A., Desa, K.M., Lihan, T., and Haider, A.R. 2011. Land suitability evaluation for sorghum crop in the Ibb governorate, Republic of Yemen, using remote sensing and GIS techniques. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 5: 359-368.

Bhagat, R.M., Singh, S., Sood, C., Rana, R.S., Kalia, V., Pradash, S., Immerzeel, W., and Shrestha, B. 2009. Land suitability analysis for cereal production in Himachal Pradash (India) using Geographical Information System. Journal of Indian Society Remote Sensing 37: 233-240.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۴۲۴-۴۱۲

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 412-424

ارزیابی جذب و کارآیی مصرف نور توسط کانوپی کشت مخلوط شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) و شوید (*Anethum graveolens* L.)

مهدی یوسف‌نیا[۱]، محمد بنایان اول[۲*] و سرور خرم‌دل[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۵/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۰۱

چکیده

سیستم‌های کشت مخلوط یکی از روش‌های مدیریت صحیح تولید محصولات زراعی است که منجر به بهبود جذب و کارآیی مصرف منابع توسط گیاهان می‌شود. با همین هدف به منظور ارزیابی اثرات کشت مخلوط نواری بر میزان جذب و کارآیی مصرف نور شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) و شوید (*Anethum graveolens* L.) آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و با شش تیمار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۲۰٪ شنبلیله + ۸۰٪ شوید، ۴۰٪ شنبلیله + ۶۰٪ شوید، ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید، ۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شوید و کشت خالص دو گیاه بود. نمونه‌برداری از ۲۰ روز پس از سبز شدن تا مرحله رسیدگی به صورت تصادفی (برای هر کدام از گیاهان از سطح چهار بوته) به فواصل تقریبی دو هفته یک‌بار جهت محاسبات تغییرات سطح برگ و وزن خشک برداشت شد. میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی مشهد به روش ارائه شده توسط خودریان و فان لار محاسبه گردید. سپس مقادیر بر اساس تعداد ساعات آفتابی استخراج شده از داده‌های ایستگاه هواشناسی مرکز اقلیم‌شناسی خراسان اصلاح و نور جذب شده روزانه برای هر دو گونه محاسبه شد. نتایج نشان داد که شاخص سطح برگ، میزان جذب نور، تجمع ماده خشک و کارآیی مصرف نور شنبلیله و شوید در تمام تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی افزایش پیدا کرد. بالاترین شاخص سطح برگ شنبلیله در ۶۹ روز پس از سبز شدن در تیمار ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید با ۰/۹۹ و کمترین میزان آن در کشت خالص با ۰/۶۲ به دست آمد. بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ شوید در همین زمان به ترتیب در کشت مخلوط ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید با ۰/۳۷ و کشت خالص با ۰/۲۳ مشاهده شد. روند افزایش تجمع ماده خشک شنبلیله و شوید در همه تیمارها ۳۰ روز پس از کاشت وارد مرحله رشد خطی شده و به سرعت شروع به افزایش نمود و در حدود ۶۹ روز پس از کاشت (مرحله حصول حداکثر سطح برگ)، به حداکثر میزان خود به ترتیب برابر با ۲۲۹۸/۳۳ و ۹۹۴/۶۷ گرم بر مترمربع رسید و سپس به دلیل زرد شدن و تا حدودی ریزش برگ‌ها روند تقریباً ثابتی به صورت کاهشی در پیش گرفت. میانگین کارآیی مصرف نور شنبلیله و شوید در طول فصل رشد به ترتیب از ۰/۶۵ و ۰/۳۵ در تیمار کشت خالص تا ۰/۹۴ و ۰/۷۲ گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی در تیمار ۴۰٪ شنبلیله + ۶۰٪ شوید متغیر بود.

واژه‌های کلیدی: جذب نور، شاخص سطح برگ، کشت مخلوط ردیفی، ماده خشک کل

مقدمه

تمایل به تولید گیاهان دارویی و تقاضا برای این محصولات طبیعی در جهان روز به روز در حال افزایش می‌باشد. از اواسط قرن بیستم و به دنبال مشخص شدن پیامدهای منفی ناشی از مصرف داروهای شیمیایی، گیاهان دارویی در بسیاری از موارد جایگزین داروهای شیمیایی شدند (Carruba et al., 2002). با توجه به احتمال بروز اثرات منفی ناشی از مصرف انواع مواد شیمیایی روی کمیت و کیفیت ترکیبات مؤثره گیاهان دارویی امروزه در جهت بهبود شرایط زراعی و افزایش کارآیی، روش‌هایی در علوم جدید مورد توجه قرار گرفته‌اند که کشت مخلوط از جمله این روش‌ها می‌باشد (Awal et al., 2006).

کشت مخلوط به کشت دو یا تعداد بیشتری از گیاهان با یکدیگر در یک قطعه زمین در یک زمان گفته می‌شود (Xin & Tong,

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، دانشیار و استادیار گروه زراعت دانشگاه فردوسی مشهد
(*-نویسنده مسئول: Email: banayan@ferdowsi.um.ac.ir)

1986). در سیستم‌های زراعی همواره باید به دنبال روش‌هایی برای افزایش تولید عملکرد در گیاهان بود. از جمله روش‌های مهم برای رسیدن به این امر بالا بردن بهره‌وری استفاده از منابع طبیعی مانند آب و مواد غذایی خاک، تشعشع خورشید، دی‌اکسیدکربن اتمسفر و استفاده مؤثر از سطح زمین‌های کشاورزی می‌باشد. نتایج برخی آزمایشات نشان‌دهنده افزایش کارآیی مصرف نور (Awal et al., 2006; Tsubo et al., 2001)، عناصر غذایی (Rowe et al., 2005)، آب (Walker & Ogindo, 2003) و زمین (Jahansooz et al., 2007) در سیستم‌های کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی می‌باشد که در این میان، نور جزء مهمترین منابع مصرفی در رشد و نمو گیاهان می‌باشد، به طوری‌که با افزایش کارآیی آن می‌توان سطح تولید محصولات را افزایش داد (Awal et al., 2006)، همچنین از آن‌جا که نور قابلیت ذخیره شدن ندارد، می‌تواند محدودیت بیشتری را در پی داشته باشد (Awal et al., 2006). شدت نور خورشید در یک منطقه نسبتاً ثابت است و می‌توان از آن به عنوان منبعی نام برد که به طور کارآمدتری نسبت به سایر منابع مصرفی بر تولید محصولات زراعی تأثیرگذار است.

کشت مخلوط یکی از راهکارهای زراعی برای افزایش جذب و مصرف نور است که منجر به بهبود تولید محصولات زراعی و افزایش عملکرد اقتصادی می‌شود (Gao et al., 2008). از سوی دیگر، در کشت‌های مخلوط اعتقاد بر این است که کشت‌های مخلوط بیشتر به واسطه افزایش جذب نور (Tsubo et al., 2005)، از طریق افزایش طول دوره جذب (مثل کشت‌های تأخیری و برتری زمانی) یا در نتیجه پوشش بیشتر سطح خاک (برتری مکانی) سبب افزایش بهره‌وری سیستم‌های زراعی می‌شوند (Zhang et al., 2008). در واقع در زراعت‌های تک‌کشتی همواره مقادیری از تشعشع فتوسنتزی به دلیل وجود فضاهای خالی در کانوپی تلف می‌شود. مقدار این تلفات در زراعت‌های مخلوط به دلیل پوشش بیشتر سطح خاک کاهش یافته و در نتیجه میزان جذب تشعشع کل به نسبت تک‌کشتی بیشتر می‌شود (Awal et al., 2006). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2009) با بررسی کشت مخلوط نواری ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) بر جذب و کارآیی مصرف نور گزارش نمودند که کارآیی مصرف نور هر دو گیاه در تمامی تیمارهای مخلوط بالاتر از خالص بود. ژانگ و لی (Zhang et al., 2003) در مطالعه‌ای با بررسی کشت تأخیری کتان (*Linum usitatissimum* L.) با گندم (*Triticum asetivum* L.) گزارش کردند که بین کارآیی مصرف نور تک‌کشتی و کشت مخلوط اختلافی وجود نداشت، ولی افزایش میزان تشعشع جذب شده عامل اصلی افزایش عملکرد در کشت مخلوط نسبت به خالص بود. تسوبو و همکاران (Tsubo et al., 2001) در بررسی کشت مخلوط ذرت و لوبیا به صورت سری‌های افزایشی گزارش کردند که مقدار کل تشعشع جذب شده در مخلوط بیشتر از تک‌کشتی است و علت آن را برتری کشت مخلوط این دو گیاه نسبت به تک‌کشتی به واسطه بهبود جذب تشعشع کل دانستند. آبرام و سینگ (Abraham et al., 1984) پس از اندازه‌گیری میزان جذب نور در کشت خالص سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) و مخلوط آن با لوبیا، ماش (*Vigna radiate* L.)، بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) و سویا (*Glycine max* L.) دریافتند که در تمامی تیمارهای کشت مخلوط جذب نور بیشتر از کشت خالص بود.

طی سه دهه گذشته مطالعات زیادی روی کارآیی مصرف نور در سیستم‌های کشت مخلوط با دامنه وسیعی از ترکیب گیاهان زراعی در سایر نقاط دنیا صورت گرفته است (Corlett et al., 1992; Black & Ong, 2000). با این‌حال، کمبود این نوع مطالعات به ویژه در زمینه گیاهان دارویی در ایران کاملاً محسوس است. بنابراین، با توجه به اهمیت موضوع، این تحقیق با هدف ارزیابی جذب و کارآیی مصرف نور در کشت مخلوط ردیفی بر اساس سری‌های جاگزینی شوید (*Anethum graveolens* L.) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) در شرایط آب و هوایی مشهد اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد (عرض جغرافیایی، ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی، ۵۶ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۹۸۵ متر) در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. متوسط بارندگی سالیانه ۲۸۶ میلی‌متر و حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه در این منطقه به ترتیب ۴۲ و ۲۷/۸- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. آب و هوای منطقه بر طبق روش تقسیم‌بندی اقلیمی آمبرژه سرد و خشک می‌باشد (Hossienpanahi, 2008).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر)
Table 1- Physico-chemical characteristics of cultivated soil (0-30 cm)

نیتروژن کل (پی‌پی‌ام) Total nitrogen (ppm)	فسفر (پی‌پی‌ام) P (ppm)	پتاسیم قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available K (ppm)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)
15.5	25	119	7.47	1.2

قبل از انجام آزمایشات مزرعه‌ای، بـه منظـور تعیـین خصوصـیات فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری بـه صـورت تصـادفی از زمـین محل اجرای آزمایش انجـام شـد. نتـایج تجزیـه فیزیکـی- شـیمیایی خصوصیات خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

شـش نسـبت جـایگزینی دو گیـاه شـنبلیله و شـوید شـامل ۲۰٪ شنبلیله + ۸۰٪ شـوید،۴۰٪ شـنبلیله + ۶۰٪ شـوید، ۶۰٪ شـنبلیله + ۴۰٪ شوید،۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شـوید و کشـت خـالص دو گیـاه بـه عنوان تیمار مدنظر قرار گرفتند.

عملیات کاشت دو گیاه به صورت همزمان در نیمه دوم فـروردین ماه به صورت دستی بر روی چهار ردیف (برای هر گونه) یک در میان با طول سه متر و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر انجام شد. به منظـور تسهیل در سبز شدن بوته‌ها، اولین آبیاری بلافاصله پـس از کاشـت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر هفت روز یک‌بار تـا آخـر فصـل رشـد انجام شد. برای دستیابی به تراکم‌هـای مـورد نظـر (بـرای شـنبلیله و شوید به ترتیب ۵۰ و ۲۰ بوتـه در مترمربـع) گیاهـان در مرحلـه ۶-۴ برگی تنک شدند. علف‌های هرز به صورت دستی در طول فصل رشد بنا به ضرورت وجین شدند.

نمونه‌برداری از ۲۰ روز پس از سبز شدن تا مرحلـه رسـیدگی بـه صورت تصادفی (برای هر کدام از گیاهـان از سـطح چهـار بوتـه) بـه فواصل تقریبی دو هفته یک‌بار جهت محاسبات تغییرات سطح برگ و وزن خشک برداشت شد. برای انـدازه‌گیـری سـطح بـرگ از دسـتگاه Leaf Area Meter استفاده شد و جهـت انـدازه‌گیـری وزن خشـک، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قـرار داده شدند.

برداشت دو گیاه شوید و شنبلیله همزمان نبـوده و در تـاریخ‌هـای مجزا انجام شد. با توجه به این‌که شنبلیله رشد نامحدود بـوده و فاقـد یکنواختی در رسیدگی می‌باشد، لذا عملیات برداشت این گیـاه زمـانی که قسمت اعظم غلاف‌ها زرد شده بودند و قبل از ریزش پـایین‌تـرین نیام‌ها انجام گرفت. برداشت گیاه شوید نیز در مرحله رسـیدگی کامـل دانه‌ها (مرحله‌ای که دانه‌ها به رنگ سبز مایل به قهوه‌ای شدند) انجام شد، بدین صورت که در هر کرت، نمونه‌گیری از چهار ردیـف وسـط و پس از حذف اثرات حاشیه‌ای انجام گرفت.

میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی مشهد بـه روش ارائه شده توسـط خودریـان و فـان لار (Goudriaan & Van Laar, 1994) محاسبه گردید. سـپس ایـن مقـادیر بـر اسـاس تعـداد ساعات آفتابی استخراج شده از داده‌هـای ایسـتگاه هواشناسـی مرکـز اقلیم‌شناسی خراسان اصلاح و نور جذب شده روزانه برای هر دو گونه بر اساس معادلات (۱) تا (۳) محاسبه شد (Tsubo et al., 2005):

$$I_{abs} = I_0 * (1 - P) * (1- \exp(-K_C * LAI_C) + (-K_B*LAI_B))) \quad (۱)$$

$$I_C = I_{abs} * ((K_C * LAI_C) / ((K_C * LAI_C) + (K_B*LAI_B)) \quad (۲)$$

$$I_B = I_{abs} - I_C \quad (۳)$$

I_{abs}: نور جذب شده توسط کانوپی مخلوط (مگاژول بر مترمربـع)، I_0: نور رسیده به بـالای کـانوپی (مگـاژول بـر مترمربـع)، P: ضـریب انعکاس که برای شنبلیله و شـوید ۰/۰۷ منظـور شـد، K_C و K_B: بـه ترتیب ضریب خاموشی نور شـنبلیله (۰/۶) و شـوید (۰/۴۷)، LAI_C و LAI_B: به ترتیب شاخص سطح برگ شـنبلیله و شـوید و I_C و I_B: بـه ترتیب نور جذب شده توسط کانوپی شنبلیله و شوید است. برای برآورد مقادیر شاخص سطح برگ روزانه از برازش معادله زیر استفاده شد:

$$LAI = a + b * 4 * (\exp(-(x-c)/d))/(1+\exp(-(x-c)/d))^2 \quad (۴)$$

در این معادله، a: عرض از مبدأ، b: زمان رسیدن به حداکثر LAI، c: حداکثر LAI و d: نقطه عطف منحنـی و زمـان ورود رشـد سـطح برگ به مرحله خطی و x: زمان بر حسب روز پس از کاشت است.

سپس تشعشع جذب شده از حاصل‌ضرب نور ورودی شـبیه‌سـازی شده در درصد نور جذب شده به دست آمد و مقدار کل تشعشع جـذب شده به صورت تجمعی از طریق حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سـازی

شده در انتگرال کسر تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR[1]) جذب شده نسبت به زمان محاسبه گردید. کارآیی مصرف نور (RUE[2]) بر حسب گرم بر مگاژول، از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک (گرم بر مترمربع) و میزان تشعشع فعال تجمعی (مگاژول بر مترمربع) تعیین شد. برای برآورد مقادیر تجمع ماده خشک روزانه از برازش معادله (۵) استفاده شد:

$$TDM = a / (1 + b * \exp(-c * x)) \quad (۵)$$

در این معادله، TDM: تجمع ماده خشک بر حسب گرم در مترمربع، a: حداکثر تجمع ماده خشک، b: ثابت معادله، c: سرعت رشد نسبی و x: زمان بر حسب روز پس از کاشت است.

داده‌های آزمایش توسط نرم‌افزار SAS ver.9.1 آنالیز و مقایسه میانگین‌ها به روش چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای رسم اشکال نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

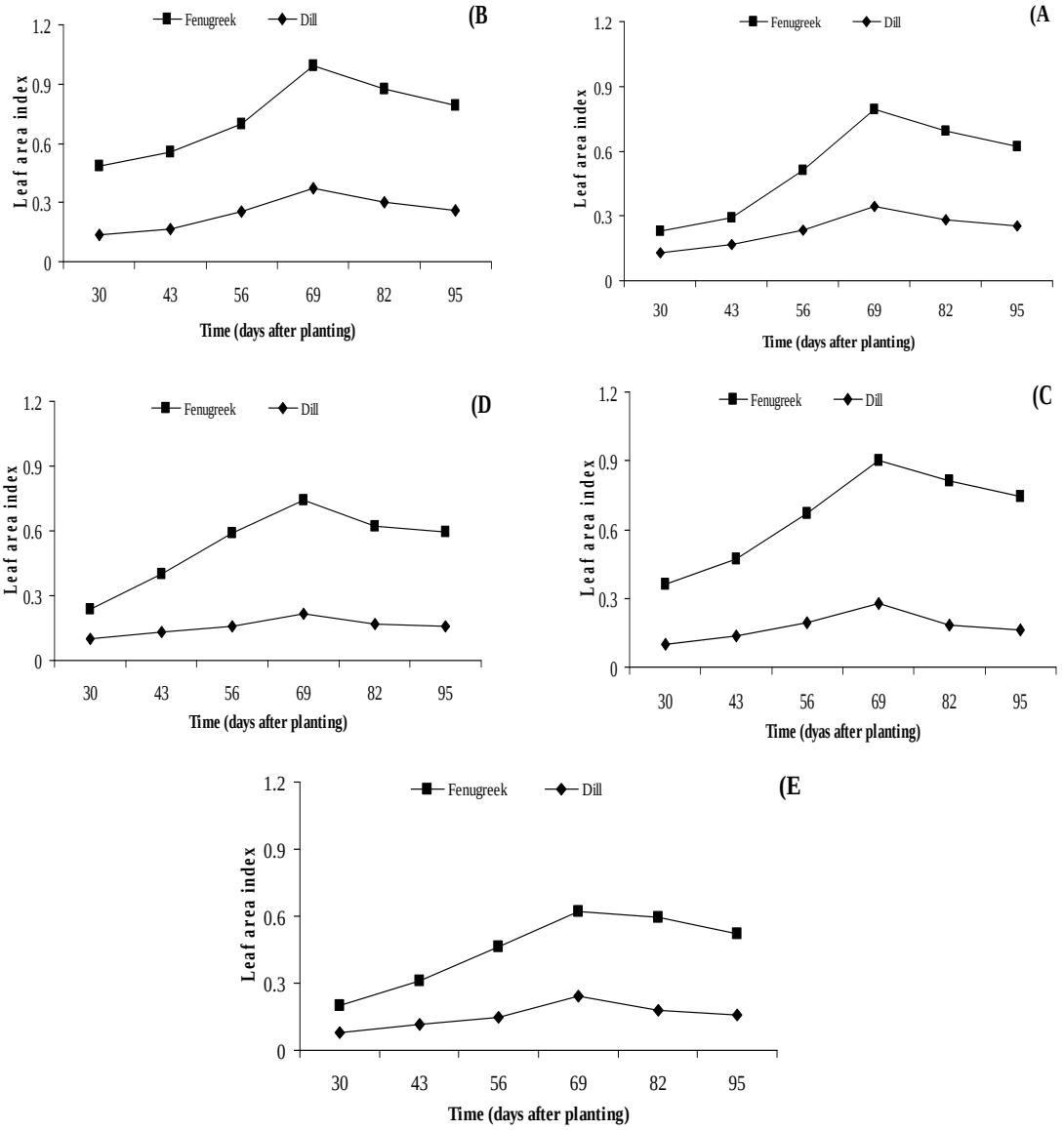
شاخص سطح برگ: نتایج این آزمایش حاکی از روند مشابه تغییرات شاخص سطح برگ شنبلیله و شوید در طول فصل رشد برای تمامی تیمارها بود (شکل ۱). به طوری‌که در ابتدای دوره رشد با گذشت زمان شاخص سطح برگ به کندی افزایش یافت و در ادامه فصل رشد افزایش شاخص سطح برگ برای هر دو گیاه روند خطی پیدا کرد و برای شنبلیله و شوید در حدود ۶۹ روز پس از کاشت به حداکثر مقدار خود رسید. پس از آن به دلیل پیری، زرد شدن و ریزش برگ‌ها روند نزولی در پیش گرفت. کانوپی کشت مخلوط نسبت به حالت تک‌کشتی هر یک از گیاهان، دارای شاخص سطح برگ بالاتری بود (شکل ۱). بالاترین شاخص سطح برگ شنبلیله در ۶۹ روز پس از سبز شدن در تیمار ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید با ۰/۹۹ و کمترین میزان آن در کشت خالص با ۰/۶۲ به دست آمد. در این زمان، شاخص سطح برگ شنبلیله برای نسبت‌های ۴۰٪ شنبلیله + ۶۰٪ شوید، ۲۰٪ شنبلیله + ۸۰٪ شوید و ۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شوید به ترتیب برابر با ۲۰، ۹ و ۲۵ درصد کمتر از تیمار ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید محاسبه گردید. بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ شوید در همین زمان به ترتیب در کشت مخلوط ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید با ۰/۳۷ و کشت خالص با ۰/۲۳ مشاهده شد. همچنین شاخص سطح برگ شوید در نسبت‌های مخلوط ۲۰٪ شنبلیله + ۸۰٪ شوید، ۴۰٪ شنبلیله + ۶۰٪ شوید و ۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شوید به ترتیب ۸، ۲۷ و ۴۳ درصد کمتر از شاخص سطح برگ این گیاه در ترکیب ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید بود (شکل ۱).

در کشت مخلوط مرزه (*Satureja hortensis* L.) و شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum* L.) بالاترین LAI شبدر در کشت مخلوط مشاهده شد، به طوری‌که در کمترین تراکم مرزه، بالاترین سطح برگ شبدر به دست آمد، ولی با افزایش تراکم مرزه، سطح برگ شبدر کاهش یافت (Hasanzadeh Aval, 2007). رستمی و همکاران (Rostami et al., 2009) نیز نشان دادند که کشت مخلوط ذرت و لوبیا منجر به افزایش شاخص سطح برگ شد. محققان دیگر نیز افزایش شاخص سطح برگ گیاهان مخلوط نسبت به حالت تک‌کشتی را گزارش کردند (Koocheki et al., 2009; Koocheki et al., 2012; Mukhala et al., 1999). این محققان دلیل این امر را به اصل مساعدت کشت مخلوط به ویژه در شرایط حضور گیاهان تثبیت‌کننده نیتروزن نسبت دادند. بدین ترتیب، وجود اثرات تسهیل-کنندگی و تکمیل‌کنندگی شنبلیله و شوید در کنار یکدیگر منجر به افزایش شاخص سطح برگ در مقایسه با تک‌کشتی گیاهان شد. بنابراین، از آن‌جا که سطح برگ هر گیاه مهمترین اندام رویشی دریافت‌کننده نور می‌باشد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، کشت مخلوط یکی از راهکارهای مدیریت زراعی مناسب جهت افزایش دریافت نور از طریق بهبود سطح برگ می‌باشد. همچنین با توجه به این مطلب که سرعت رسیدن به بیشینه شاخص سطح برگ، اصلی-ترین عامل تعیین‌کننده میزان تجمع ماده خشک می‌باشد (Milford et al., 1988)، به نظر می‌رسد که بالاترین سرعت رسیدن به بیشینه شاخص سطح برگ برای تولید ماده خشک حداکثر در نسبت مخلوط ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید حاصل گردید. مورگادو و ویلی (Morgado & Willey, 2003) نیز در بررسی کشت مخلوط ذرت و لوبیا بیان کردند که شاخص سطح برگ در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی بیشتر بود. در کشت مخلوط لوبیا و گل گاوزبان (*Borago officinalis* L.) نیز بالاترین LAI گل گاوزبان در کشت مخلوط دو ردیف لوبیا + دو ردیف گل گاوزبان اروپایی به دست آمد (Koocheki et al., 2013).

تجمع ماده خشک: در تیمارهای مختلف کشت مخلوط شنبلیله و شوید در ابتدای دوره رشد به دلیل کوچک بودن بوته‌ها تفاوت

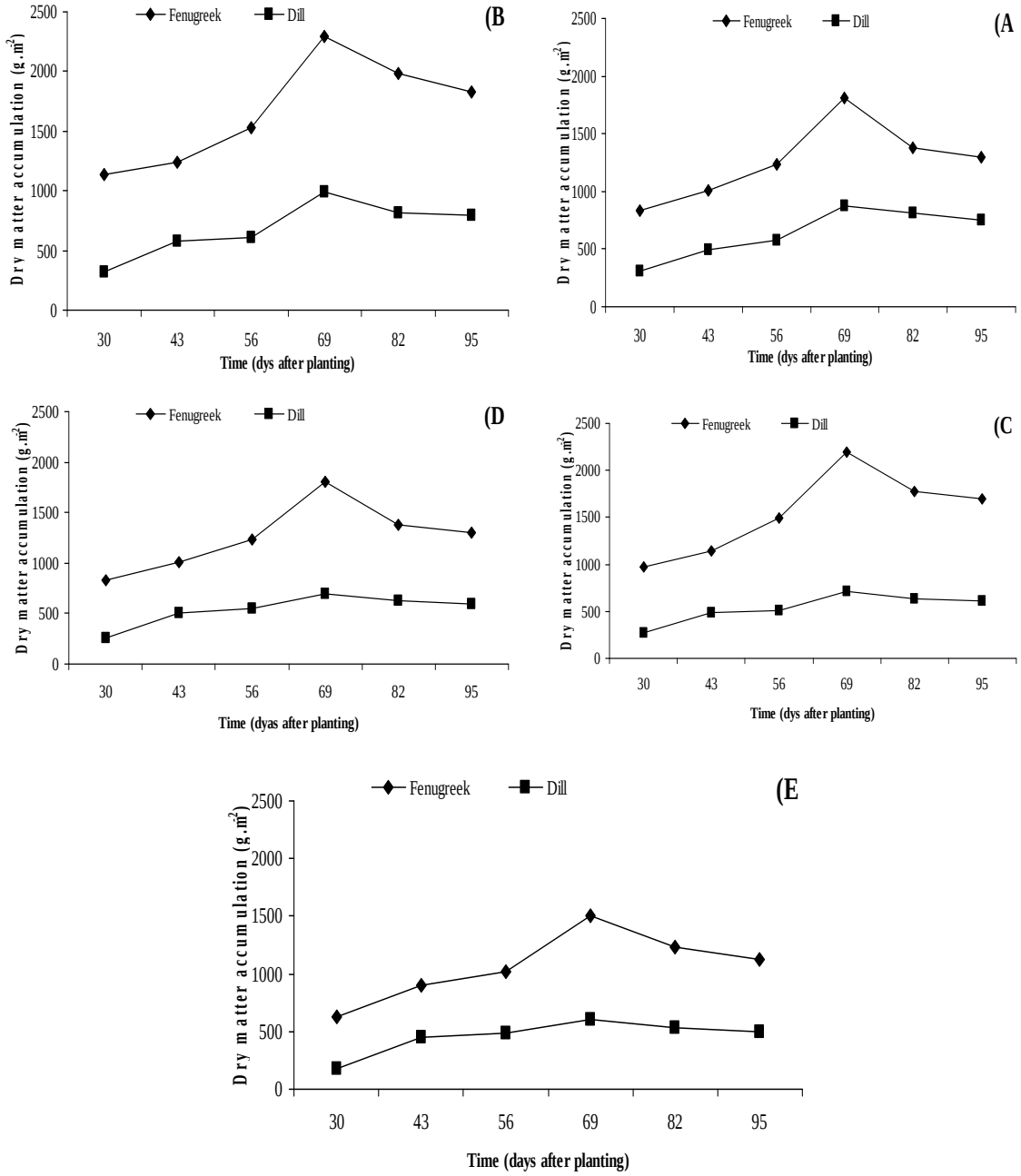
1- Photosyntheticaly active radiation
2- Radiation use efficiency

چندانی بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط از نظر روند افزایش وزن خشک مشاهده نشد؛ به طوری‌که روند افـزایش تجمـع مـاده خشـک شنبلیله و شوید در همه تیمارها ۳۰ روز پس از کاشت وارد مرحله رشد خطی شده و به سرعت شروع به افزایش نمود و در حدود ۶۹ روز پس از کاشت (مرحله حصول حداکثر سطح برگ)، به حداکثر میزان خود به ترتیب برابر با ۲۲۹۸/۳۳ و ۹۹۴/۶۷ گرم بر مترمربع رسید و سپس بـه دلیل زرد شدن و تا حدودی ریزش برگ‌ها روند تقریباً ثابتی به صورت کاهشی در پیش گرفت (شکل ۲).



شکل ۱- اثر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی (الف) ۲۰٪ شنبلیله + ۸۰٪ شوید، ب) ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید، ج) ۴۰٪ شنبلیله + ۶۰٪ شوید، د) ۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شوید و ه) کشت خالص) بر روند تغییرات شاخص سطح برگ طی روزهای بعد از کاشت

Fig. 1- Effect of intercropping in replacement series (A) 20% fenugreek + 80% dill, B) 60% fenugreek +40% dill, C) 40% fenugreek + 60% dill, D) 80% fenugreek + 20% dill and D) monoculture) on leaf area indices at days after planting



شکل ۲- اثر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی (الف) ۲۰٪ شنبلیله + ۸۰٪ شوید، ب) ٦۰٪ شنبلیله + ٤۰٪ شوید، ج) ٤۰٪ شنبلیله + ٦۰٪ شوید، د) ۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شوید و ه) کشت خالص) بر روند تغییرات میزان تجمع ماده خشک طی روزهای بعد از کاشت

Fig. 2- Effect of intercropping in replacement series (A) 20% fenugreek + 80% dill, B) 60% fenugreek +40% dill, C) 40% fenugreek + 60% dill, D) 80% fenugreek + 20% dill and D) monoculture) on dry matter accumulation at days after planting

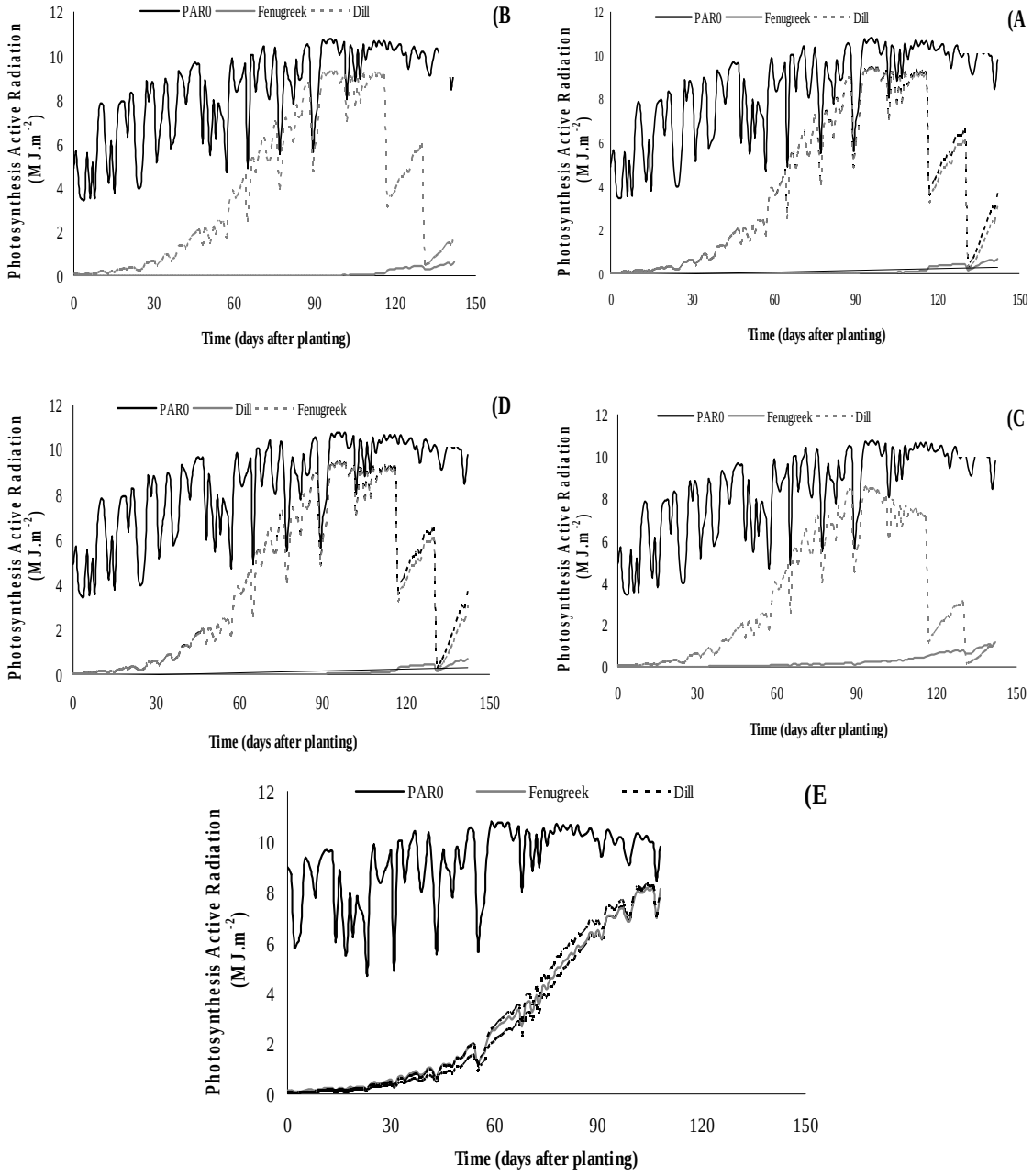
مقادیر تجمع ماده خشک در کلیه تیمارهای کشت مخلوط شنبلیله و شوید در مقایسه با کشت خالص بیشتر بود. در بین تیمارهای کشت مخلوط، بیشترین میزان تجمع ماده خشک گیاه شنبلیله به تیمار ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید (۲۲۹۸/۳۳ گرم بر

مترمربع) و کمترین آن در کشت خالص (۱۵۰۵/۵۸ گرم بر مترمربع) اختصاص داشت که این موضوع می‌تواند به علت جذب نور بیشتر توسط کانوپی کشت مخلوط از طریق مجاورت در کنار یکدیگر باشد که در نتیجه میزان تجمع ماده خشک در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص افزایش یافته است (شکل ۳). میرهاشمی و همکاران (Mirhashemi et al., 2009) بیان کردند که مقادیر وزن خشک زنیان (*Trachyspermum copticum* L.) در تیمارهای کشت مخلوط با شنبلیله در مقایسه با کشت خالص بیشتر بود. همچنین تیمار مخلوط سه ردیف شنبلیله بالاترین ماده خشک (۲۶۳/۱۴ گرم در مترمربع) را به خود اختصاص داد و با تغییر الگوی کشت مخلوط به سمت کشت خالص از میزان تجمع ماده خشک کاسته شد. نتایج دیگر آزمایشات در رابطه با کشت مخلوط لوبیا و ذرت (Koocheki et al., 2009; Koocheki et al., 2013) و کلزا (*Brassica napus* L.) و گندم (Koocheki et al., 2013) نیز مشخص نمودند که بیشترین ماده خشک تجمعی در تیمارهای کشت مخلوط و کمترین میزان آن در تیمار کشت خالص به دست آمد.

جذب و کارآیی مصرف نور: متناسب با افزایش شاخص سطح برگ (شکل ۱) میزان نور جذب شده توسط کانوپی شنبلیله، شوید در نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی به تدریج افزایش یافت (شکل ۳) که این امر از طریق کاهش اتلاف نور، موجب بهبود کارآیی مصرف نور و نسبت برابری زمین برای تشعشع جذب شد. بیشترین میزان نور جذب شده به نسبت کشت مخلوط ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید (حدود ۹۰ درصد) و کمترین آن به کشت خالص (به ترتیب حدود ۶۶ و ۵۹ درصد برای شنبلیله و شوید) اختصاص داشت. جذب نور توسط کانوپی کشت مخلوط نسبت به خالص در تمام نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی به مراتب بالاتر از تک‌کشتی بود که به نظر می‌رسد به علت تغییر ساختار کانوپی شنبلیله و شوید و اثرات مثبت ناشی از حضور این دو گیاه در مجاورت یکدیگر باشد (شکل ۳). سایر محققان نیز افزایش جذب سایر منابع مصرفی از جمله نور را در کشت مخلوط نسبت به خالص گزارش کردند (Rodrigo et al., 2001; Willey, 1990). آن‌ها بیان کردند که استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط یک راهکار اکولوژیک ضروری برای بهبود کارآیی جذب و مصرف منابع برای توسعه پایدار تولید محصولات می‌باشد. بنابراین، در سیستم‌های کشت مخلوط منابعی همچون زمین، عناصر غذایی، آب و نور خورشید می‌تواند با کارآیی بیشتر در زمان و مکان به کار برده شوند. از آن‌جا که در بین منابع مورد نیاز برای رشد گیاهان، نور دارای نقش اساسی است (Tsubo et al., 2001)، بنابراین، مطالعه چگونگی جذب و مصرف نور توسط گیاهان به ویژه در خصوص گیاهان دارویی که معمولاً گونه‌هایی بومی و خاص مناطق مختلف کشور هستند، دارای اهمیت بیشتری است.

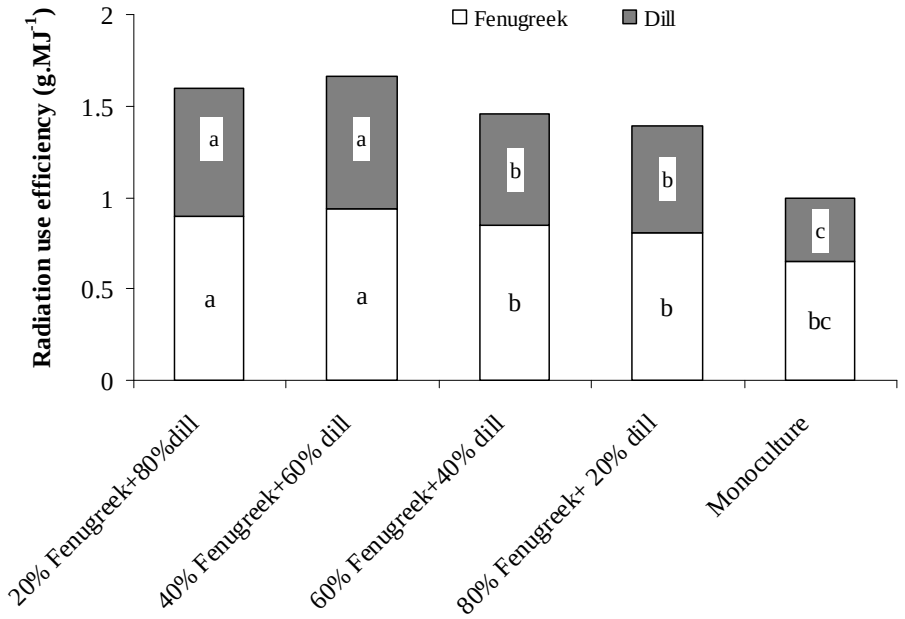
تولید ماده خشک گیاهان اغلب همبستگی مثبت با مقدار تشعشع جذب شده در تک‌کشتی (Monteith et al., 1977) و سیستم‌های کشت مخلوط (Sinclaire et al., 1989) دارد. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، بالاترین کارآیی مصرف نور شنبلیله و شوید در کشت مخلوط ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید (به ترتیب با ۰/۹۴ و ۰/۷۲ گرم بر مگاژول) به دست آمد. کمترین کارآیی مصرف نور هر دو گیاه شنبلیله و شوید به کشت خالص (به ترتیب با ۰/۶۵ و ۰/۳۵ گرم بر مگاژول) اختصاص داشت. میانگین کارآیی مصرف نور شنبلیله نیز در بین نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی از ۰/۸۱گرم بر مگاژول برای ۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شوید تا ۰/۹گرم بر مگاژول برای ۲۰٪ شنبلیله + ۸۰٪ شوید متغیر بود. دامنه میانگین کارآیی مصرف نور برای شوید در بین نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی از ۰/۵۸گرم بر مگاژول برای ۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شوید تا ۰/۷گرم بر مگاژول برای ۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شوید متغیر محاسبه شد (شکل ۴).

همان‌گونه که مشخص است با توجه به افزایش شاخص سطح برگ (شکل ۱) و به تبع آن افزایش پوشش گیاهی بر سطح زمین در نسبت‌های کشت مخلوط ردیفی شنبلیله و شوید در مقایسه با کشت خالص، میزان جذب نور افزایش یافت که این امر علاوه بر افزایش میزان تجمع ماده خشک (شکل ۲)، منجر به کاهش اتلاف نور و بهبود نسبت برابری زمین برای تشعشع جذب شده گردید (شکل ۴). کیامانیوا و آمپوفو (Kyamanywa & Ampofo, 1988) با بررسی اثر چندکشتی لوبیا چشم‌بلبلی–ذرت در مقایسه با تک‌کشتی گزارش نمودند که پوشش گیاهی چندکشتی در مقایسه با تک‌کشتی میزان نور کمتری را عبور داد. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2009) با بررسی کشت مخلوط لوبیا و ذرت در مقایسه با تک‌کشتی گزارش نمودند که کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی میزان نور بیشتری را جذب نمود که این امر منجر به بهبود عملکرد و کارآیی مصرف نور گردید.



شکل ۳- اثر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی (الف) ۲۰٪ شنبلیله + ۸۰٪ شوید، ب) ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید، ج) ۴۰٪ شنبلیله + ۶۰٪ شوید، د) ۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شوید و ه) کشت خالص) بر روند تغییرات نور بالای کانوپی و نور جذب شده طی روزهای بعد از کاشت

Fig. 2- Effect of intercropping in replacement series (A) 20% fenugreek + 80% dill, B) 60% fenugreek + 40% dill, C) 40% fenugreek + 60% dill, D) 80% fenugreek + 20% dill and D) monoculture) on radiation trends at top of the canopy and absorbed radiation at days after planting



شکل ٤- اثر تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی بر کارآیی مصرف نور شنبلیله و شوید

Fig. 4- Effect of intercropping in replacement series on radiation use efficiency of fenugreek and dill

در کشت مخلوط بادام‌زمینی و ذرت نیز افزایش کارآیی مصرف نور گزارش شد (Awal et al., 2006). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) نیز گزارش کردند که توزیع بهتر نور در کانوپی مخلوط در مقایسه با خالص سبب افزایش کارآیی مصرف نور شد. در آزمایشی دیگر نیز بهبود کارآیی مصرف نور در تک‌کشتی نسبت به مخلوط گزارش شده است (Koocheki et al., 2009). همچنین افزایش کارآیی مصرف نور در کشت مخلوط توسط بسیاری دیگر محققان گزارش شده است (Ceotto & Castelli, 2002; Tsubo & Walker, 2002; Willey, 1990; Keating & Carberry, 1993). همچنین با توجه به این شکل به نظر می‌رسد که رشد اولیه و سریع‌تر شنبلیله در مقایسه با شوید به ویژه در ابتدای فصل رشد و همچنین اثرات تسهیل‌کننده این گیاهان تحت تأثیر تثبیت نیتروژن به واسطه حضور شنبلیله و احتمالاً کاهش درصد حضور علف‌های هرز تحت تأثیر وجود گیاه دارویی شوید باعث بهره‌برداری بهتر از منابع محیطی و به ویژه نور شده که این امر بهبود بیشتر تأثیرپذیری شنبلیله در مقایسه با شوید را تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی به دنبال داشته است. علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2010) با بررسی جذب و کارآیی مصرف نور گزارش کردند که کمترین کارآیی مصرف نور لوبیا در تیمار چهار ردیف ریحان رویشی (*Ocimum basilicum* L.) + دو ردیف لوبیا (۱/۶) و بالاترین کارآیی نور لوبیا در کشت مخلوط ردیفی (۲/۳۸) به دست آمد. آن‌ها یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش کارآیی مصرف نور در تیمار چهار ردیف + دو ردیف لوبیا را به تراکم پایین لوبیا، کاهش سطح برگ و همچنین فراهم شدن شرایطی مانند کشت خالص (به دلیل حضور ردیف ها کنار هم) و عدم نفوذ مناسب نور نسبت دادند.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج نشان داد که نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی شنبلیله و شوید منجر به بهبود شاخص سطح برگ، میزان تجمع ماده خشک، جذب نور و کارآیی مصرف نور هر دو گیاه شد. به طوری‌که بالاترین کارآیی مصرف نور شنبلیله و شوید در کشت مخلوط ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید (به ترتیب با ۰/۹۴ و ۰/۷۲ گرم بر مگاژول) به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که کشت مخلوط شنبلیله و شوید به طور مشخص جذب نور بالاتر از کشت خالص داشت و در شنبلیله و هم در شوید کارآیی مصرف نور در کشت مخلوط بالاتر از تمامی تیمارها بود. به طور کلی، با افزایش تنوع گیاهان در بوم‌نظام‌های زراعی می‌توان از طریق افزایش پوشش

گیاهی جذب منابع و در نتیجه کارآیی مصرف آن‌ها را بهبود بخشید. بنابراین، با در نظر گرفتن شرایط اکولوژیک تولید گیاهان دارویی، کشت مخلوط را به عنوان یکی از راهکارهای بهبود کارآیی مصرف نور به عنوان یکی از مهمترین عوامل تولید می‌توان مدنظر قرار داد که این موضوع در درازمدت می‌تواند علاوه بر کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و افزایش کارآیی مصرف منابع از طریق کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی نیتروژنه و انرژی‌های فسیلی، افزایش پایداری را برای بوم‌نظام‌های تولید کشور به ارمغان بیاورد.

منابع

1- Abraham, C.T., and Singh, S.P. 1984. Weed management in sorghum-legume intercropping system. Journal Agriculture Science 103: 356-360.

2- Alizadeh, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2010. Evaluation of radiation use efficiency of intercropping of bean (*Phaseolus vulgaris*) and herb sweet basil (*Ocimum basilicum*). Iranian Journal of Field Crops Research 7(2): 541-555. (In Persian with English Summary)

3- Awal, M.A., Koshi, H., and Ikeda, T. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Agriculture, Forest and Meteorology 139: 74-83.

4- Black, C., and Ong, C. 2000. Utilization of light and water in tropical agriculture. Agriculture, Forest and Meteorology 104: 25-47.

5- Carruba, A., Torre, R., and Matranga, A. 2002. Cultivation trials of aromatic and medicinal plants in semiarid Mediterranean environment. Proceeding of International Conference on MAP. Acta Horticulture (ISHS) 576: 207-216.

6- Ceotto, E., and Castelli, F. 2002. Radiation use efficiency in flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.): response to nitrogen supply, climate variability and sink limitations. Field Crops Research 74: 117-130.

7- Corlett, J.E., Black, C.R., Ong, C.K., and Monteith, J.L. 1992. Above- and below-ground interactions in a leucaena/millet alley cropping system. II. Light interception and dry matter production. Agriculture, Forest and Meteorology 60: 73-91.

8- Gao, Y., Duan, A., Sun, J., Li, F., Liu, Z., Liu, H., and Liu, Z. 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. Field Crops Research 111: 65-73.

9- Goudriaan, J., and Van Laar, H.H. 1994. Modelling Potential Crop Growth Processes. Kluwer Academic Press 239 pp.

10- Hasanzadeh aval, F. 2008. Effect of density on agronomic characteristics and yield of savory and Iranian clover in intercropping. Msc Thesis in Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

11- Keating, B.A., and Carberry, P.S. 1993. Resource capture and use in intercropping: solar radiation. Field Crops Research 34: 273-301.

12- Koocheki, A., Khorramdel, S., Fallahpour, F., and Melati, F. 2013. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in row intercropping of wheat (*Triticum aestivum* L.) and Canola (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 11(4): 533-542. (In Persian with English Summary)

13- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mondani, F., Feizi, H., and Amirmoradi, S. 2009. Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercropping canopy. Journal of Agroecology 1(1): 13-23.

14- Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., and Aminghafori, A. 2012. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in row intercropping of borage (*Borago officinalis* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agroecology 4(1): 12-19.

15- Kyamanywa, S., and Ampofo, J.K.O. 1988. Effect of cowpea/maize mixed cropping on the incident light at the cowpea canopy and flower trips (*Thysanoptera thripidae*) population density. Crop Protection 7: 186-187.

16- Jahansooz, M.R., Yunusa, I.A.M., Coventry, D.R., Palmer, A.R., and Eamus, D. 2007. Radiation- and water-use associated with growth and yields of wheat and chickpea in sole and mixed crops. European Journal of Agronomy 26: 275-282.

17- Mirhashemi, S.M., Koocheki, A., Parsa, M., and Nassiri Mahallati, M. 2010. Evaluation of growth indices of ajowan and fenugreek in pure culture and intercropping based on organic agriculture. Iranian Journal of Field Crops Research 7(2): 685-694.

18- Monteith, J.L. 1977. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. Journal of Applied Ecology 9: 747-766.
19- Morgado, L.B., and Willey, R.W. 2003. Effects of plant population and nitrogen fertilizer on yield and efficiency of maize-bean intercropping. Pesquisa Agropecuária Brasileira 38: 1257-1264.
20- Mukhala, E., Juger, J.M., and Vanrensburg, L.D. 1999. Dietary nutrient deficiency in small-scale farming communities in south Africa benefits of intercropping maize and beans. Natural Research 19: 629-641.
21- Rodrigo, V.H.L., Stirling, C.M., Teklehaimanot, Z., and Nugawela, A. 2001. Intercropping with banana to improve fractional interception and radiation-use efficiency of immature rubber plantations. Field Crops Research 69: 237-249.
22- Rostami, L., Mondani, F., Khorramdel, S., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2009. Effect of various corn and bean intercropping densities on weed populations. Weed Research Journal 1(2): 37-50. (In Persian with English Summary)
23- Rowe, E.C., Noordwijk, M.V., Suprayogo, D., and Cadisch, G. 2005. Nitrogen use efficiency of monoculture and hedgerow intercropping in the humid tropics. Plant and Soil 268: 61-74.
24- Sinclaire, T.R., and Horie, T. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. Crop Science 29: 90-98.
25- Tsubo, M., Walker, S., and Mukhala, E. 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. Field Crops Research 71: 17-29.
26- Tsubo, M., Walker, S., and Ogindo, H.O. 2005. A simulation model of cereal-legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. Field Crops Research 93: 10-22.
27- Zhang, L., Vander Werf, W., Bastiaans, L., Zhang, S., Li, B., and Spiertz, J.H. 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. Field Crops Research 107: 29-42.
28- Walker, S., and Ogindo, H.O. 2003. The water budget of rainfed maize and bean intercrop. Physics and Chemistry of the Earth 28: 919-926.
29- Willey, R.W. 1990. Resource use in intercropping systems. Agriculture and Water Management 17: 215-231.
30- Xin, N.Q., and Tong, P.Y. 1986. Multiple cropping system and its development orientation in China (a review). Scientia Agricultura Sinica 4: 88-92.
31- Zhang, F., and Li, L. 2003. Using competitive and facilitative interaction in intercropping systems enhances crops productivity and nutrient-use efficiency. Plant and Soil 248: 305-312.

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 412-424

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۴۲۴-۴۱۲

Evaluation of radiation use and interception of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and dill (*Anethum graveolens* L.) intercropping canopy

M. Yousef Nia[1], M. Banayan Aval[2*] and S. Khorramdel[3]
Submitted: 28-07-2013
Accepted: 23-08-2014

Introduction

Intercropping is a sustainable practice used in many developed and developing countries and an essential element of agricultural sustainability. Intercropping by decreasing the inputs through reduced fertilizer and pesticide requirements, minimizes the negative environmental impacts of agriculture (Lithourgidis et al., 2011). It is known that legumes are beneficial to the soil by improving nutrient availability and structure, reducing pest and disease incidence and hormonal effects (Lithourgidis et al., 2011). Biological nitrogen fixation, deriving from the symbiosis of leguminous plants and rhizobium bacteria, is the major benefit of legumes (Launay et al., 2009). The main advantage of intercropping is the more efficient utilization of the available resources and the increased productivity compared to monocropping (Launay et al., 2009). For example, intercropping of maize and bean increased light interception and improved soil moisture conditions compared to monoculture. Intercropping of ajowan and fenugreek improved the efficiency of cropping systems. Intercropping of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) had a significant effect on light efficiency and biological yield.

The main goal of this study was to introduce suitable sowing patterns on two medicinal plants production with respect to legume and medicinal plant intercropping such as dill (*Anethum graveolens* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) based on replacement series.

Materials and methods

A field study was conducted to evaluate radiation absorption and use efficiency in fenugreek and dill in row intercropping as replacement series at Agricultural Research Station of Ferdowsi University during growing season of 2013-2014. Treatments included 20% fenugreek+ 80% dill, 40% fenugreek+ 60% dill, 60% fenugreek+ 40% dill, 80% fenugreek+ 20% dill and their monoculture. As summarized by Sinclair and Gardner (1998), potential crop growth and yield are the result of four processes. First, the radiation interception by crop canopies provides the required energy for crop production. Second, the efficiency of conversion of the intercepted radiation to plant mass which determines the amount of produced dry matter. Third, the time required for plant mass accumulation that determines the total amount of accumulated plant mass. Fourth, the fraction of the accumulated plant mass allocated to the harvestable part that influences crop productivity.

For statistical analysis, analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test (DMRT) were performed using SAS version 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Total above-ground dry matter ($g.m^{-2}$), TDM, during vegetative stages (i = 1, 2, .., k _ 1, k) was calculated as:

$$TDM_i = \sum_{i=1}^{k} (RUE_i \times F_i \times PAR_i) \qquad (1)$$

Where RUE is radiation use efficiency ($g.MJ^{-1}$ PAR), F is the fraction of radiation intercepted, PAR is photosynthetically active radiation ($MJ.m^{-2}.day^{-1}$), and i is the number of days after emergence (k is the day of flowering). RUE for a vegetative stage was defined as the ratio of TDM to intercepted PAR ($g.MJ^{-1}$ PAR).

With regard to potential crop yield, assuming that TDM reaches a maximum value on the k-th day, TDM during the reproductive stages (i = k + 1, k + 2, ..., n _ 1, n) was given by the following relationship:

1, 2 and 3- Msc student in Agroecology, Associate Professor and Assistant Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: banayan@ ferdowsi.um.ac.ir)

$$TDM_i = TDM_k + \sum_{i=k+1}^{n} Y_i \qquad (2)$$

Where Y is harvestable yield (g m^{-2}) and n is the day of maturity. Therefore, as RUE was defined for the reproductive stage as the ratio of Y to intercepted PAR, Y (i.e., maize ears and bean pods) was given by:

$$Y_i = \sum_{i=k+1}^{n} (RUE_i \times F_i \times PAR_i) \qquad (3)$$

Grain yield (i.e., maize kernels and bean seeds) was estimated using the ratio of grain dry mass to Y. In this study, the measured ratio during the 1998/1999 growing season was used (0.69 for maize and 0.72 for beans) (Tsubo, 2000).

Results and Discussion

Results indicated that leaf area index, light absorption, total dry matter accumulation and radiation use efficiency (RUE) of fenugreek and dill increased in all intercropping ratios compared to monoculture. Dry matter production was linearly related to the amount of intercepted PAR. The value of RUE changed over time, partially as a consequence of changes in canopy photosynthetic rates. RUE range for fenugreek was from 0.65 g MJ^{-1} in monoculture to 0.9 g MJ^{-1} in 40% fenugreek + 60% dill. RUE range for dill was from 0.35 g MJ^{-1} in its monoculture to 0.72 g MJ^{-1} in 40% fenugreek+ 60% dill. However, the response of canopy photosynthesis to radiation was complex and depended on incident radiation flux density and individual leaf photosynthetic response. Radiation-use efficiency may be affected by changes of these variables as PAI increased.

Conclusion

Dry matter production was linearly related to the amount of PAR intercepted. RUE changed partially as a consequence of changes in canopy photosynthetic rates. However, the response of canopy photosynthesis to radiation was complex and depended on incident radiation flux density and individual leaf photosynthetic response. According to the results, intercropping of plants of 40% fenugreek + 60% dill can be beneficial in term of ecological management.

Keywords: Leaf area index, Radiation absorption, Row intercropping, Total dry matter

References

Launay, M., Brisson, N., Satger, S., Hauggaard-Nielsen, H., Corre-Hellou, G., Kasynova, E., Ruske, R., Jensen, E.S., and Gooding, M.J. 2009. Exploring options for managing strategies for pea-barley intercropping using a modeling approach. European Journal of Agronomy 31: 85-98.

Lithourgidis, A.S., Dordas, C.A., Damalas, C.A., and Vlachostergios, D.N. 2011. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. Australian Journal of Crop Science 5: 396-410.

Tsubo, M., Walker, S., 2002. A model of radiation interception and use by a maize–bean intercrop canopy. Agriculture, Forest and Meteorology 110: 203-215.

Contents

Study on the effect of urea fertilizer, iron sulphate and vermicompost on yield and growth properties of Sun flower (*Helianthus annuus* L.) in Darreh Gaz district 285
M. Zomorodi, S. Shahsavani, M. Baradaran Firozabadi and A.S. Naderi

Long term estimation of carbon dynamic and sequestration for Iranian agro-ecosystem II- Sequestration and emission of carbon for common agricultural crops using ICBM model 299
M. Nassiri Mahallati, A. Koocheki, R. Moradi and H. Mansoori

Simulating the potential yield and yield gaps of sugar beet due to water and nitrogen limitations in Khorasan province using SUCROS model 315
R. Deihimfard, M. Nassiri Mahallati and A. Koocheki

Evaluation the effects of manure and mycorrhizal inoculation on grain and oil yield of spring safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.) 331
P. Rezvani Moghaddam, A. Norouzian and S.M. Seyyedi

Investigation of competition indices in intercropping of wheat (*Triticum aestivum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) under nitrogen consumption 344
T. Mashhadi, A. Nakhzari Moghaddam and H. Sabouri

Competitiveness of sesame and mung bean crops in both monocropping and intercropping systems 356
S. Rastgo, A. Aynehband and E. Fateh

Agro-ecological zoning of the Qazvin area for wheat (*Triticum aestivum* L.) using RS and GIS 368
F. Sarmadian and A. Taati

Agronomic characteristics of intercropping of additive series of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.) 381
E. Rezaei-Chiyaneh and E. Gholinezhad

Feasibility of annual alfalfa (*Medicago scutellata* L.) cropping in Aq-Qalla township (Golestan province) 397
N. Nasroallahi, H. Kazemi and B. Kamkar

Evaluation of radiation use and interception of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and dill (*Anethum graveolens* L.) intercropping canopy 412
M. Yousef Nia, M. Banayan Aval and S. Khorramdel

Journal of Agroecology (Quarterly)

Ferdowsi University of Mashhad

Vol. 7 No. 3 Fall 2015

Published by: Ferdowsi University of Mashhad

Editor in charge: Prof. Alireza Koocheki

Editor in chief: Prof. Parviz Rezvani Moghaddam

Editorial Board:

Dr. Goodarz Ahmadvand, Faculty of Agriculture, BU-Ali Sina University, Hamadan

Prof. Mohammad Reza Chaichi, Faculty of Agriculture, University of Tehran

Prof. Adel Dabagh Mohammadi Nasab, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Prof. Mohammad Galavi, Faculty of Agriculture, Zabol University

Prof. Reza Ghorbani, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Dr. Surur Khorramdel, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Alireza Koocheki, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Mehdi Nassiri Mahallati, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Parviz Rezvani Moghaddam, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Ahmad Zare Fazabadi, Agricultural Research Institute of Khorasan Razavi

Prof. Saeed Zehtab Salmasi, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Internal manager: Dr. Surur Khorramdel, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad Press
Address: Journal of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad,
P.O. Box: 91775-1163, Mashhad, Iran
Tel: +98-51– 38806454
Fax: +98–51–38787430
Email: agroecology@um.ac.ir
Web site: http://agry.um.ac.ir/index.php/agroecology

Ferdowsi University of Mashhad

Agroecology

Vol. 7 No. 3

Fall 2015

ISSN: 2008-7713

Contents

Study on the effect of urea fertilizer, iron sulphate and vermicompost on yield and growth properties of Sun flower (*Helianthus annuus* L.) in Darreh Gaz District 285
M. Zomorodi, S. Shahsavani, M. Baradaran Firozabadi and A.S. Naderi

Long term estimation of carbon dynamic and sequestration for Iranian agro-ecosystem II- Sequestration and emission of carbon for common agricultural crops using ICBM model 299
M. Nassiri Mahallati, A. Koocheki, R. Moradi and H. Mansoori

Simulating the potential yield and yield gaps of sugar beet due to water and nitrogen limitations in Khorasan province using SUCROS model 315
R. Deihimfard, M. Nassiri Mahallati and A. Koocheki

Evaluation the effects of manure and mycorrhizal inoculation on grain and oil yield of spring safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.) 331
P. Rezvani Moghaddam, A. Norouzian and S.M. Seyyedi

Investigation of competition indices in intercropping of wheat (*Triticum aestivum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) under nitrogen consumption 344
T. Mashhadi, A. Nakhzari Moghaddam and H. Sabouri

Competitiveness of Sesame and Mung bean Crops in both monocropping and intercropping Systems 356
S. Rastgo, A. Aynehband and E. Fateh

Agro-ecological Zoning of the Qazvin area for wheat (*Triticum aestivum* L.) using RS and GIS 368
F. Sarmadian and A. Taati

Agronomic characteristics of intercropping of additive series of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.) 381
E. Rezaei-Chiyaneh and E. Gholinezhad

Feasibility of annual alfalfa (*Medicago scutellata* L.) cropping in Aq-Qalla township (Golestan province) 397
N. Nasroallahi, H. Kazemi and B. Kamkar

Evaluation of radiation use and interception of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and dill (*Anethum graveolens* L.) intercropping canopy 412
M. Yousef Nia, M. Banayan Aval and S. Khorramdel

Extended abstracts 285-412