مجله کشاورزی بوم‌شناختی (۱) ۳ (۱۳۹۲) ۱۶-۱

بهینه سازی آب، کود نیتروژن و تراکم در کشت کلزا با استفاده از طرح مرکب مرکزی

علیرضا کوچکی*، مهدی نصیری محلاتی، روح اله مرادی و حامد منصوری

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*نویسنده مسئول: akooch@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۳/۱۷

کوچکی، ع.، م. نصیری محلاتی، ر. ا. مرادی و ح. منصوری. ۱۳۹۲. بهینه سازی آب، کود نیتروژن و تراکم در کشت کلزا با استفاده از طرح مرکب مرکزی. مجله کشاورزی بوم شناختی. ۳ (۱): ۱۶- ۱.

چکیده

تعیین مقدار بهینه منابع در اکوسیستم های کشاورزی، علاوه بر کاهش هزینه های تولید و حفظ منابع باعث کاهش آلودگی های زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی رویه این منابع می شود. به منظور تعیین میزان بهینه مصرف منابع آب و نیتروژن و همچنین تراکم بهینه کلزا، آزمایشی در قالب طرح مرکب مرکزی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۰-۸۹ به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایشی با توجه به سطوح بالا و پائین آب (۱۵۰۰ و ۴۰۰۰ مترمکعب)، نیتروژن (صفر و ۴۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار) و تراکم کلزا (۵۰ و ۱۵۰ بوته در متر مربع) با استفاده از نرم افزار Minitab طراحی شد. عملکرد دانه، تلفات نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن (NUE) و کارایی مصرف آب (WUE) به عنوان متغیرهای وابسته مورد اندازه گیری قرار گرفتند و با استفاده از یک مدل رگرسیونی، تغییرات این متغیرها تحت تاثیر تیمارها محاسبه گردید. مقدار بهینه آبیاری، نیتروژن و تراکم کلزا بر اساس سه سناریوی اقتصادی، زیست محیطی و اقتصادی- زیست محیطی برای حصول مقادیر مورد انتظار صفات مورد بررسی تعیین گردید. افزایش سطوح آبیاری و کود باعث افزایش عملکرد دانه و تلفات نیتروژن گردید، در صورتی که افزایش تراکم کلزا باعث افزایش عملکرد و کاهش تلفات نیتروژن شد. در سناریوی اقتصادی، مقدار بهینه آب، کود و تراکم کلزا به ترتیب برابر با ۳۶۴۳ متر مکعب، ۱۸۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ۱۴۹ بوته در متر مربع برآورد شد. همچنین مقدار بهینه این تیمارها در سناریوی زیست محیطی به ترتیب ۱۸۱۳، ۱۲ و ۱۵۰ و در سناریوی اقتصادی- زیست محیطی به ترتیب معادل ۲۶۳۹، ۱۰۵ و ۱۴۴ به دست آمد. بطور کلی بنظر می رسد مصرف منابع بر اساس سناریوی اقتصادی- زیست محیطی به دلیل توجه توام به مسائل اقتصادی و زیست محیطی نسبت به دو سناریو دیگر ارجحیت دارد.

واژه‌های کلیدی: تلفات نیتروژن، کارایی مصرف آب، کارایی مصرف نیتروژن.

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

با توجه به اینکه بیش از ۸۰ درصد از روغن خوراکی کشور از طریق واردات تامین می شود، لذا توجه به دانه‌های روغنی در راستای کاهش واردات امری ضروری بنظر می‌رسد (Safahani Langeroudi *et al.*, 2008). در بین دانه‌های روغنی مورد کشت و کار در کشور کلزا بدلیل عملکرد بالا از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (Ahmadi, 2000). کلزا یکی از مهمترین گیاهان زراعی است که در سطح دنیا جهت استخراج روغن کشت می‌شود و از بیشترین میزان رشد سالانه تولید در بین روغن‌های گیاهی مهم جهان برخوردار می‌باشد و پس از سویا و نخل روغنی در جایگاه سوم تولید قرار دارد (AL-Barrak, 2006).

امروزه از کودها به عنوان ابزاری برای نیل به حداکثر تولید در واحد سطح استفاده می‌شود. کودهای شیمیایی علاوه بر افزایش تولید، باید کیفیت محصولات کشاورزی را ارتقاء داده و از طرفی فاقد مخاطرات زیست محیطی بویژه آلودگی آب‌های زیر زمینی و تجمع مواد آلاینده نظیر نیترات در اندام‌های مصرفی محصولات زراعی باشد (Malakooti, 1996). متأسفانه مصرف کودهای شیمیایی در کشور نامتعادل بوده و با نیاز واقعی گیاه انطباق ندارد، بطوریکه باور بر این است که با تداوم روند فعلی مصرف بی‌رویه، نامتعادل و نابهنگام کودهای شیمیایی علاوه بر کاهش کیفیت خاک سیستم‌های زراعی، تنوع میکروارگانیسم های خاک نیز کاهش می‌یابد (Moradi *et al.*, 2009). بنابراین، در ترمیم سیستم های کشاورزی باید از هدررفت نیتروژن از طریق فرسایش، آبشویی و خروج بقایای گیاهی جلوگیری کرد (Badejo, 1998).

زراعت در مناطق خشک از ویژگی خاصی برخوردار است. در این مناطق محور تولیدات کشاورزی را آب و آبیاری تشکیل می دهد. به همین دلیل همه تلاش‌ها و تمهیدات در جهت افزایش بهره وری یا کارآیی مصرف آب برنامه‌ریزی و سیاستگذاری می‌شود (Sadreghaen *et al.*, 2009). با توجه به اینکه کشور ایران در بخش خشک و نیمه خشک دنیا واقع شده است و از نظر منابع آب محدود می‌باشد، بنابراین، ذخیره و صرفه جویی در مصرف آب در بخش کشاورزی، نقش مؤثری در افزایش تولیدات خواهد داشت.

نیتروژن یکی از نهاده‌های تأثیر گزار بر کمیت و کیفیت گیاهان زراعی است. در عین حال این عنصر به آسانی از درون خاک شسته شده و باعث آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود. طبق برآوردهای انجام شده فقط حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد کود نیتروژن مورد استفاده، از طریق محصول کشاورزی از خاک خارج می شود و این مقدار با افزایش کاربرد کود کاهش می‌یابد (Wenxue *et al.*, 2005). در نتیجه، میزان باقیمانده کود در خاک افزایش یافته، که علاوه بر کاهش کارایی مصرف نیتروژن، براحتی مورد آبشویی قرار گرفته و باعث آلودگی بیشتر منابع آبی می‌گردد.

گیاه کلزا برای رشد مناسب خود به نیتروژن زیادی نیاز دارد (Rehm *et al.*, 2002). نیتروژن مورد نیاز برای کلزا درمقایسه با گندم ۲۵-۳۰٪ بیشتر می باشد (Hocking *et al.*, 1997). نیتروژن باعث بهبود دوام سطح برگ کلزا بعد از گلدهی و افزایش آسیمیلاسیون محصول و بنابراین افزایش عملکرد دانه می شود (Wright *et al.*, 1998). از طرف دیگر مصرف بیش از حد نیتروژن باعث افزایش ورس و کاهش کیفیت و عملکرد محصول می شود (Hinsinge, 2001).

Jan *et al.* (2008) اثرات سطوح مختلف نیتروژن را بر روی گیاه کلزا مورد مطالعه قرار داده و گزارش کردند که عملکرد دانه کلزا با افزایش میزان نیتروژن از ۸۰ به ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت، در حالی که با افزایش نیتروژن از ۱۶۰ به ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار افزایش معنی داری در عملکرد مشاهده نشد و مقدار بهینه کود نیتروژن برای کلزا ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار تعیین گردید. همچنین در بررسی تاثیر تراکم بر کلزا، Chengci *et al.* (2002) گزارش کردند که افزایش تراکم از ۵۰ به ۱۰۰ بوته در متر مربع باعث افزایش عملکرد دانه در گیاه کلزا شد، در حالی که با افزایش تراکم به بیش از ۱۰۰ بوته در متر مربع عملکرد دانه کلزا به طور معنی داری کاهش نشان داد.

تعیین مقدار بهینه منابع از قبیل آب و نیتروژن و واکنش گیاه به میزان تراکم و تعیین تراکم مطلوب در اکوسیستم های زراعی کشور، برای کاهش تلفات منابع و نیز کاهش آلودگی های محیطی و از طرف دیگر حصول عملکرد مناسب بسیار مهم و ضروری به نظر می رسد. از طرفی،

Archive of SID

www.SID.ir

بین کود نیتروژن، آب و نیز مقدار مصرف این منابع با تراکم گیاهان زراعی اثرات متقابل پیچیده ای وجود دارد Gheysari *et al.*, (2009). اجرای آزمایشات متداول در کشور برای ارزیابی این اثرات و تعیین بهترین ترکیب تیماری، بدلیل تعداد زیاد ترکیب تیماری این فاکتور، بسیار پرهزینه و پیچیده بوده و خطای آزمایشی قابل توجهی را بهمراه دارد. از این رو، استفاده از طرح های بهینه سازی از جمله طرح مرکب مرکزی، روش مناسبی برای رسیدن به این هدف با حداقل تعداد واحدهای آزمایشی می باشد، که در ایران کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین هدف از انجام این آزمایش تعیین میزان بهینه آب، نیتروژن و تراکم برای کشت و کار گیاه کلزا با استفاده از طرح مرکب مرکزی می باشد.

مواد و روش ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۰-۸۹ در مزرعه تحقیقاتی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا، به صورت طرح مرکب مرکزی (Central Composite Design) اجرا شد. تیمارهای آزمایشی با توجه به سطوح بالا و پایین آب (۱۵۰۰ و ۴۰۰۰ متر مکعب)، نیتروژن (صفر و ۴۰۰ کیلوگرم اوره) و تراکم (۵۰ و ۱۵۰ بوته در متر مربع) برای گیاه کلزا، توسط نرم افزار Minitab نسخه ۱۶ تعیین که در مجموع ۲۰ ترکیب تیماری مشخص گردید (جدول۱). طرح مرکب مرکزی یک روش جایگزین و مناسب برای طرح فاکتوریل می‌باشد که توسط Box and Wilson (1951) بیان‌شد و بعدها توسط Box and Hunter (1957) اصلاح شد. مزیت استفاده از طرح مرکب مرکزی نسبت به طرح فاکتوریل، امکان استخراج اطلاعات بیشتر از تحلیل این طرح، تعداد کمتر تیمار که اجرای این طرح را آسانتر می‌کند و همچنین تعیین ترکیب های مختلف متغیر مستقل در آزمایش می باشد (Obeng *et al.*, 2005; Aslan, 2007). تعداد تیمارهای طراحی شده در طرح مرکب مرکزی با استفاده از فرمول (۱) محاسبه می شود. در این فرمول k نشان دهنده تعداد فاکتور و r تعداد تکرار تیمار در سطح میانگین می باشد (Box and Hunter, 1957; Aslan, 2007). بنابراین برای یک آزمایش ۳ فاکتوره تعداد تیمارها براین اساس تعیین می گردد: ۲۰= ۶ + (۲×۳) + $۲^۳$ که در مجموع ۲۰ تیمار ترکیبی از متغیرهای مستقل با ۶ تیمار از سطح میانگین داریم که در جدول ۱ مشاهده می شود.

$$\text{تعداد تیمار} = 2^k + 2k + r \qquad (۱)$$

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- ضرایب و تیمارهای طراحی شده توسط نرم افزار Minitab.

ترکیب تیماری	ضرایب*			مقدار		
	آبیاری (x_1)	کود نیتروژن (x_2)	تراکم (x_3)	آبیاری (متر مکعب)	کود نیتروژن (کیلوگرم بر هکتار)	تراکم (گیاه بر متر مربع)
۱	-۱	-۱	-۱	۱۵۰۰	۰	۵۰
۲	+۱	-۱	-۱	۴۰۰۰	۰	۵۰
۳	-۱	+۱	-۱	۱۵۰۰	۴۰۰	۵۰
۴	+۱	+۱	-۱	۴۰۰۰	۴۰۰	۵۰
۵	-۱	-۱	+۱	۱۵۰۰	۰	۱۵۰
۶	+۱	-۱	+۱	۴۰۰۰	۰	۱۵۰
۷	-۱	+۱	+۱	۱۵۰۰	۴۰۰	۱۵۰
۸	+۱	+۱	+۱	۴۰۰۰	۴۰۰	۱۵۰
۹	-۱	۰	۰	۱۵۰۰	۲۰۰	۱۰۰
۱۰	+۱	۰	۰	۴۰۰۰	۲۰۰	۱۰۰
۱۱	۰	-۱	۰	۲۷۵۰	۰	۱۰۰
۱۲	۰	+۱	۰	۲۷۵۰	۴۰۰	۱۰۰
۱۳	۰	۰	-۱	۲۷۵۰	۲۰۰	۵۰
۱۴	۰	۰	+۱	۲۷۵۰	۲۰۰	۱۵۰
۱۵	۰	۰	۰	۲۷۵۰	۲۰۰	۱۰۰
۱۶	۰	۰	۰	۲۷۵۰	۲۰۰	۱۰۰
۱۷	۰	۰	۰	۲۷۵۰	۲۰۰	۱۰۰
۱۸	۰	۰	۰	۲۷۵۰	۲۰۰	۱۰۰
۱۹	۰	۰	۰	۲۷۵۰	۲۰۰	۱۰۰
۲۰	۰	۰	۰	۲۷۵۰	۲۰۰	۱۰۰

*۱+، ۱- و ۰، به ترتیب سطوح بالا، پایین و میانگین را برای هر فاکتور نشان می دهد.

(قبل از کاشت نمونه‌ای از خاک مزرعه مورد آزمایش از عمق ۳۰ سانتی متری به صورت تصادفی انتخاب و جهت تعیین میزان عناصر موجود، pH و EC و بافت خاک به آزمایشگاه منتقل گردید، که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. بعد از آماده سازی زمین، کاشت بذور کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) در کرتهای ۵×۴ متر با فاصله ردیف ۵۰ سانتی متر در اسفند ۱۳۸۹ انجام گرفت (۶ ردیف در هر کرت). آبیاری بلافاصله پس از کاشت و پس از آن هر ۱۰ روز یکبار انجام شد و میزان آب مصرفی برای هر تیمار محاسبه شده و با استفاده از پمپ و کنتور آب بصورت یکنواخت اعمال گردید. از آنجاییکه دور آبیاری ۱۰ روز به ۱۰ روز بود، با تقسیم کل دوره رشدی که گیاه نیاز به آبیاری داشت (از ابتدای کاشت تا ۱۰ روز قبل برداشت) بر دور آبیاری، تعداد مراحل آبیاری محاسبه شد و برای تعیین مقدار آبیاری در هر دوره، میزان کل آب مصرفی بر اساس تیمارهای ذکر شده بر تعداد مراحل آبیاری تقسیم گردید. فاصله بین تیمارهای مختلف آبیاری ۳ متر و فاصله بین سطوح مختلف کودی ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. در اواسط فروردین ۱۳۹۰ برای حصول تراکم های مورد نظر بوته ها تنک شدند. کود نیتروژن مصرفی (کود اوره با ۴۶ درصد نیتروژن) برای هر کرت به دو قسمت مساوی تقسیم شد که نیمی از آن در زمان کاشت و نیم دیگر آن در شروع مرحله ساقه رفتن به صورت سرک اعمال گردید. مبارزه با علف های هرز در ۳ نوبت و توسط وجین دستی صورت گرفت. در طول فصل رشد هر ۱۴ روز، تعداد ۵ بوته از هر کرت بطور تصادفی انتخاب شده و به آون انتقال داده شد و پس از توزین، مقدار ۱۰۰ گرم از اندام هوایی خشک شده برای تعیین مقدار نیتروژن، نمونه برداری و یک گرم آن انتخاب شده و با استفاده از دستگاه میکروکجلدال (Nelson and Somers, 1973) مقدار نیتروژن نمونه ها تعیین گردید. همچنین میزان نیتروژن خاک در انتهای فصل رشد اندازه گیری شد.

Archive of SID

www.SID.ir

برای تعیین عملکرد نهایی دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت بعنوان اثر حاشیه حذف و بقیه بعنوان عملکرد نهایی گزارش شد.

جدول۲- خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش از عمق ۳۰ سانتی متر.

بافت	نیتروژن (٪)	فسفر (پی‌پی‌ام)	پتاسیم (پی‌پی‌ام)	EC (دسی زیمنس بر مترمربع)	pH
لومی-سیلتی	۰/۰۱۵	۱۳/۷	۱۱۹	۱/۲	۷/۵

تلفات نیتروژن نیز در انتهای فصل رشد و از طریق معادله (۱) محاسبه گردید:

$$N_{loss} = N_{initial} + N_{fertilizer} - N_{plant} - N_{residual} \quad (۱)$$

که در آن، N_{loss}: تلفات نیتروژن (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)؛ $N_{initial}$: نیتروژن موجود در خاک در ابتدای فصل رشد (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)؛ $N_{fertilizer}$: نیتروژن مصرفی از طریق کود اوره (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)؛ N_{plant}: میزان نیتروژن گیاه در انتهای فصل رشد (کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و $N_{residual}$: نیتروژن موجود در خاک پس از برداشت (کیلوگرم نیتروژن در هکتار).

برای محاسبه کارایی زراعی نیتروژن (ANUE) و کارایی مصرف آب (WUE) توسط گیاه کلزا از معادلات ۲ و ۳ استفاده گردید:

$$ANUE = \frac{Y_S}{N_{initial} + N_{fertilizer}} \quad (۲)$$

$$WUE = \frac{Y_S}{W} \quad (۳)$$

که در آن، Ys: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و W: مقدار کل آب مصرفی (متر مکعب در هکتار) می باشد.

مقدار بهینه مصرف آب و کود و همچنین تراکم کلزا بر اساس سه سناریوی اقتصادی، زیست محیطی و اقتصادی-زیست محیطی محاسبه شد. بدین منظور، در سناریوی اقتصادی، عملکرد دانه کلزا؛ در سناریوی زیست محیطی، تلفات نیتروژن و در سناریوی اقتصادی-زیست محیطی، کارایی استفاده از منابع (آب و نیتروزن) به عنوان فاکتور اصلی تعیین کننده مقدار بهینه کاربرد تیمارهای مورد استفاده در نظر گرفته شدند.

برای آنالیز داده ها، معادله رگرسیونی گام به گام (۳) با افزودن جملات خطی، درجه ۲ و اثر متقابل بین فاکتورها، برازش و بر اساس شاخص های آماری تجزیه واریانس رگرسیون و آزمون عدم برازش[1] (Cornell, 1990) مورد مقایسه قرار گرفته و نهایتا مناسب ترین مدل انتخاب گردید.

$$y_i = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4{x_1}^2 + a_5{x_2}^2 + a_6{x_3}^2 + a_7x_1x_2 + a_8x_1x_3 + a_9x_2x_3 \quad (۴)$$

که در این معادله، y: متغیر وابسته (i: عملکرد دانه کلزا، تلفات نیتروژن و یا کارایی استفاده از منابع)؛ x_1، x_2 و x_3: به ترتیب متغیرهای مستقل آبیاری، کود نیتروژن و تراکم کلزا؛ $a_9,...,a_0,a_1$: ضرایب معادله می باشند.

برای آنالیز آماری و ترسیم نمودارها از نرم افزار MINITAB نسخه ۱۶ استفاده گردید.

نتایج و بحث

مدل رگرسیونی درجه ۲ کامل[2] به همراه اجزاء آن (خطی، درجه ۲ و اثر متقابل) برای هر کدام از متغیرهای وابسته (عملکرد دانه، تلفات نیتروژن، NUE و WUE) در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که به استثنای اثر متقابل مدل رگرسیونی در متغیر WUE، مدل رگرسیونی و اجزاء آن در کلیه متغیرهای وابسته، بر اساس آزمون F در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۳). آزمون عدم برازش نیز نشان داد که، تجزیه رگرسیونی در کلیه صفات مورد بررسی اختلاف معنی داری را با روش تجزیه واریانس نشان نداد، که نشان دهنده قابلیت بالای مدل رگرسیونی درجه ۲ کامل برای برازش منحنی بود.

[1] Lack of Fit (LOF)
[2] Full Quadratic

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه ۲ کامل به همراه اجزای آن و آزمون عدم برازش مدل.

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	تلفات نیتروژن	NUE	WUE
رگرسیون	۹	۳۱۹۹۳۲**	۹۵۵/۹**	۳۹/۶۹**	۰/۰۳۸**
خطی	۳	۱۵۳۷۱۵**	۷۲/۴۳**	۷/۹۹**	۰/۰۱۵**
درجه ۲	۳	۳۴۳۳۸۴**	۱۰۱/۴**	۵/۴۰**	۰/۰۲۲**
اثر متقابل	۳	۱۹۹۹۰**	۲۳۹/۸**	۴/۳۰**	۰/۰۰۷ns
اشتباه	۱۰	۶۶۱۴	۲/۲۸	۰/۳۹	۰/۰۰۴

جدول ۴- ضرایب رگرسیون و ضریب تبیین برای معادله رگرسیونی درجه ۲ کامل در متغیرهای پاسخ.

	ضرایب رگرسیون										
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	R^2
عملکرد دانه	۷۹۷	۰/۸۵	۲/۱۵	۱۱/۳۳	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۵	-۰/۰۵۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۹۷/۸
تلفات نیتروژن	-۳/۶۴	۰/۰۰۴	۰/۱۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۹۹/۷
NUE	۲/۷۷	۰/۰۰۷	-۰/۰۳	۰/۱۱	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۴	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۳	۹۸/۹
WUE	-۰/۳۲	/۰۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	-۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۲	-۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۹۸/۸

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۵- مقادیر مشاهده شده و برازش شده صفات مورد بررسی کلزا تحت تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری، نیتروژن و تراکم.

ردیف	تیمار			عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)		تلفات نیتروژن (کیلوگرم بر هکتار)		NUE		WUE	
	(x1)	(x2)	(x3)	مشاهده شده	برازش شده	مشاهده شده	برازش شده	مشاهده شده	برازش شده	مشاهده شده	برازش شده
۱	-۱	-۱	-۱	۷۴۰/۷	۶۸۰/۲	۹	۸/۶	۱۰/۸۹	۱۰/۷۵	۰/۴۹	۰/۴۷
۲	+۱	-۱	-۱	۱۰۷۷/۴	۱۰۸۰/۹	۱۶	۱۷	۱۵/۸۴	۱۶/۴۶	۰/۲۷	۰/۲۶
۳	-۱	+۱	-۱	۱۰۰۳	۹۷۲/۳	۳۹	۴۰/۷	۳/۹۸	۴/۰۰	۰/۶۷	۰/۶۷
۴	+۱	+۱	-۱	۱۶۳۷/۴	۱۶۵۲/۳	۸۷	۸۶/۶	۶/۵	۶/۰۲	۰/۴۱	۰/۴۰
۵	-۱	-۱	+۱	۹۱۱/۲	۸۸۲/۱	۷	۷/۶	۱۳/۴	۱۳/۸۶	۰/۶۱	۰/۶۱
۶	+۱	-۱	+۱	۱۴۶۸/۴	۱۴۸۴/۹	۱۴	۱۲/۵	۲۱/۵۹	۲۱/۵۵	۰/۳۷	۰/۳۶
۷	-۱	+۱	+۱	۱۲۲۶/۹	۱۲۰۹/۱	۳۶	۳۵/۲	۴/۸۷	۴/۲۴	۰/۸۲	۰/۸۲
۸	+۱	+۱	+۱	۲۰۴۴/۷	۲۰۹۱	۷۷	۷۷/۶	۸/۱۱	۸/۲۴	۰/۵۱	۰/۵۲
۹	-۱	۰	۰	۱۱۱۷/۳	۱۲۵۵/۵	۳۲	۳۰/۸	۶/۹۸	۷/۲۷	۰/۷۴	۰/۷۵
۱۰	+۱	۰	۰	۱۹۷۸/۱	۱۸۹۶/۹	۵۶	۵۶/۲	۱۲/۳۶	۱۲/۱۳	۰/۴۹	۰/۴۹
۱۱	۰	-۱	۰	۱۳۰۲/۸	۱۳۷۲/۴	۱۱	۱۱/۲	۱۹/۱۶	۱۸/۲۷	۰/۴۷	۰/۴۹
۱۲	۰	+۱	۰	۱۸۳۴/۳	۱۸۲۱/۶	۶۱	۵۹/۸	۷/۲۸	۸/۲۴	۰/۶۷	۰/۶۷
۱۳	۰	۰	-۱	۱۴۲۰/۵	۱۴۹۳/۳	۴۸	۴۶	۸/۸۸	۸/۸۶	۰/۵۲	۰/۵۴
۱۴	۰	۰	+۱	۱۸۲۹/۴	۱۸۱۳/۶	۴۰	۴۱	۱۱/۴۳	۱۱/۵۲	۰/۶۷	۰/۶۷
۱۵	۰	۰	۰	۱۷۸۱/۴	۱۷۸۵	۴۳	۴۳/۵	۱۱/۱۳	۱۱/۲۵	۰/۶۵	۰/۶۵
۱۶	۰	۰	۰	۱۹۰۶/۸	۱۷۸۵	۴۴	۴۳/۵	۱۱/۹۲	۱۱/۲۵	۰/۶۹	۰/۶۵
۱۷	۰	۰	۰	۱۷۷۴/۹	۱۷۸۵	۴۲	۴۳/۵	۱۱/۰۹	۱۱/۲۵	۰/۶۵	۰/۶۵
۱۸	۰	۰	۰	۱۷۷۲/۲	۱۷۸۵	۴۳	۴۳/۵	۱۱/۰۸	۱۱/۲۵	۰/۶۴	۰/۶۵
۱۹	۰	۰	۰	۱۷۳۸/۶	۱۷۸۵	۴۵	۴۳/۵	۱۰/۸۷	۱۱/۲۵	۰/۶۳	۰/۶۵
۲۰	۰	۰	۰	۱۸۴۹/۹	۱۷۸۵	۴۲	۴۳/۵	۱۱/۵۶	۱۱/۲۵	۰/۶۷	۰/۶۵

آنالیز رگرسیونی و آنالیز ضرایب رگرسیون برای برازش روابط بین متغیرهای آبیاری، کود و تراکم با هر کدام از متغیرهای وابسته عملکرد دانه، تلفات نیتروژن، NUE و WUE نیز در جدول ۴ مشاهده می شود که برای ترسیم نمودارها از این مدل رگرسیونی استفاده می شود. ضریب تبیین برای عملکرد دانه، تلفات نیتروژن، NUE و WUE به ترتیب برابر با ۹۷/۸، ۹۹/۷، ۹۸/۹ و ۹۸/۸ بود که درصد تغییرات هر کدام از این متغیرهای وابسته را به وسیله متغیرهای مستقل نشان می دهد.

مقادیر برازش شده و مشاهده شده عملکرد دانه، تلفات نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن و کارایی مصرف آب در جدول ۵ نشان داده شده است.

عملکرد دانه کلزا

بیشترین عملکرد مشاهده شده (۲۰۴۴ کیلوگرم در هکتار) و برازش شده (۲۰۹۱ کیلوگرم در هکتار) کلزا در تیمار ۴۰۰۰ متر مکعب آب، ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و تراکم ۱۵۰ بوته کلزا در متر مربع بدست آمد. همچنین کمترین مقدار عملکرد دانه مشاهده شده و برازش شده کلزا (به ترتیب ۷۴۰ و ۶۸۰ کیلوگرم در هکتار) در پایین ترین سطوح تیمارهای مورد بررسی (۱۵۰۰ مترمکعب آب، صفر کیلوگرم نیتروژن و ۵۰ بوته در متر مربع کلزا) مشاهده شد (جدول ۵).

سطح پاسخ تیمارهای مورد بررسی بر میزان عملکرد دانه کلزا در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در کلیه سطوح تراکم کلزا با افزایش سطوح نیتروژن عملکرد دانه کلزا افزایش نشان داد (شکل ۱الف). همچنین با افزایش تراکم بوته کلزا در متر مربع، در تمامی سطوح نیتروژن میزان عملکرد کلزا افزایش یافت. با این وجود، شیب افزایش عملکرد با افزایش تراکم کلزا، در سطوح

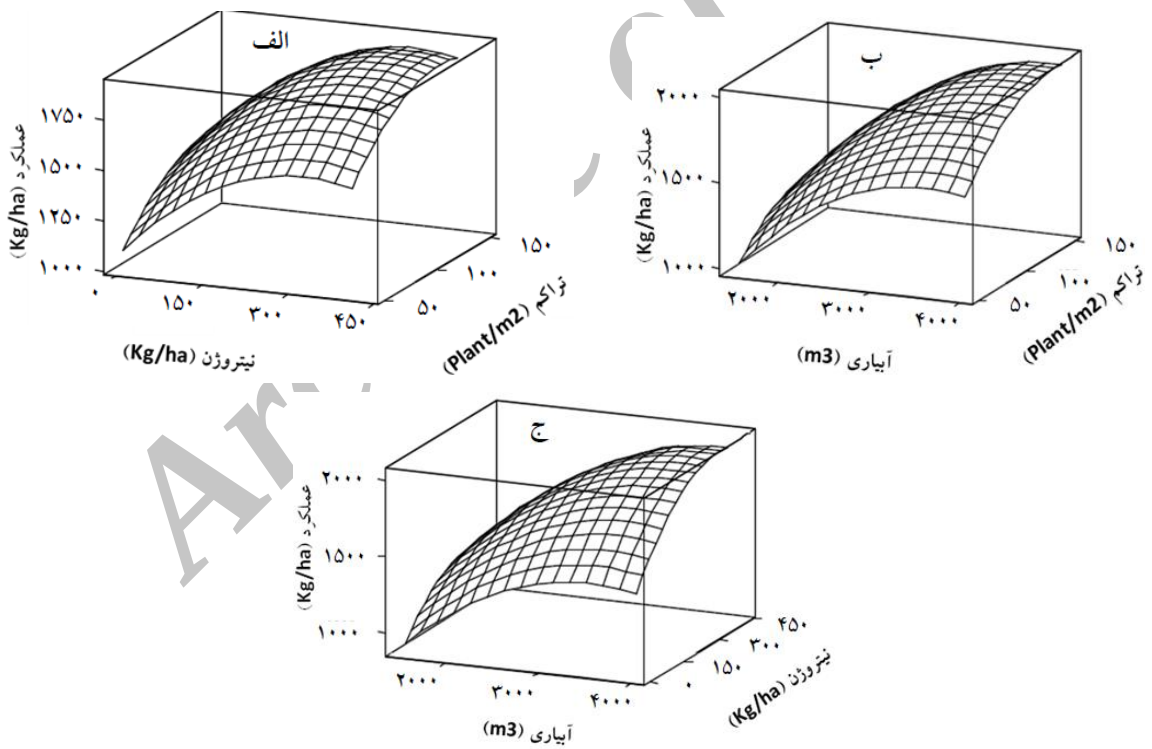
Archive of SID

www.SID.ir

پایین نیتروژن کمتر از سطوح بالای آن بود. این نشان دهنده تاثیر بیشتر تراکم بر عملکرد در سطوح بالای نیتروژن (بدلیل وجود نیتروژن کافی برای رشد و تولید دانه کلزا) بود (شکل ۱الف).

در کلیه تراکم های کلزا با افزایش سطوح آبیاری، میزان عملکرد دانه کلزا افزایش نشان داد (شکل ۱ب). همچنین در کلیه سطوح آبیاری با افزایش تراکم بوته کلزا در متر مربع، عملکرد دانه افزایش یافت. در سطوح بالای آبیاری، با افزایش تراکم، عملکرد کلزا با شیب تندتری نسبت به سطوح پایین آبیاری افزایش یافت (شکل۱ب). بطوریکه، کمترین عملکرد دانه کلزا در کمترین سطح آبیاری و تراکم بوته کلزا مشاهده شد. Banuelos *et al.* (2002) گزارش کردند که با افزایش سطوح آبیاری بیومس و عملکرد دانه کلزا افزایش نشان داد.

بررسی سطح پاسخ آبیاری-نیتروژن نیز روندی مشابه آبیاری-تراکم و نیتروژن-تراکم نشان داد (شکل ۱ج). بطوریکه با افزایش سطوح آبیاری و نیتروژن عملکرد کلزا افزایش نشان داد. در تمامی سطوح آبیاری با افزایش نیتروژن، عملکرد دانه کلزا افزایش یافت و در سطوح بالای آبیاری روند افزایش عملکرد با افزایش سطوح نیتروژن شیب تند تری را نسبت به سطوح پایین نیتروژن دارا بود (شکل ۱ج). بنظر می رسد، در سطوح پایین آبیاری، افزایش نیتروژن بیش از مقدار بهینه (حدود ۲۰۰-۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) قابل جذب برای گیاه کلزا نبوده، در حالیکه در سطوح بالای آبیاری گیاه توانسته سطوح بالای نیتروژن را جذب کرده و در نتیجه عملکرد دانه کلزا افزایش نشان داده است. در سطوح مختلف نیتروژن نیز با افزایش سطح آبیاری، عملکرد دانه کلزا افزایش یافت (شکل ۱ج). Kamkar *et al.* (2011) با بررسی رژیم های مختلف آبیاری بر عملکرد کلزا گزارش کردند که، با افزایش مقدار کود نیتروژن تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه افزایش و پس از آن ثابت می شود.



شکل ۱- تغییرات عملکرد دانه کلزا تحت تاثیر آبیاری، کود نیتروژن و تراکم بوته کلزا.

تلفات نیتروژن

بیشترین مقدار مشاهده شده و برازش شده تلفات نیتروژن در تیمار ۴۰۰۰ متر مکعب آب، ۴۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ۵۰ بوته کلزا در متر مربع و کمترین مقدار آن در تیمار ۱۵۰۰ متر مکعب آب، صفر کیلوگرم نیتروژن و ۱۵۰ بوته کلزا در متر مربع بدست آمد. همچنین، نتایج نشان

www.SID.ir

داد که با افزایش سطوح آب و نیتروژن و کاهش تراکم کلزا تلفات نیتروژن افزایش یافت (جدول ۵).

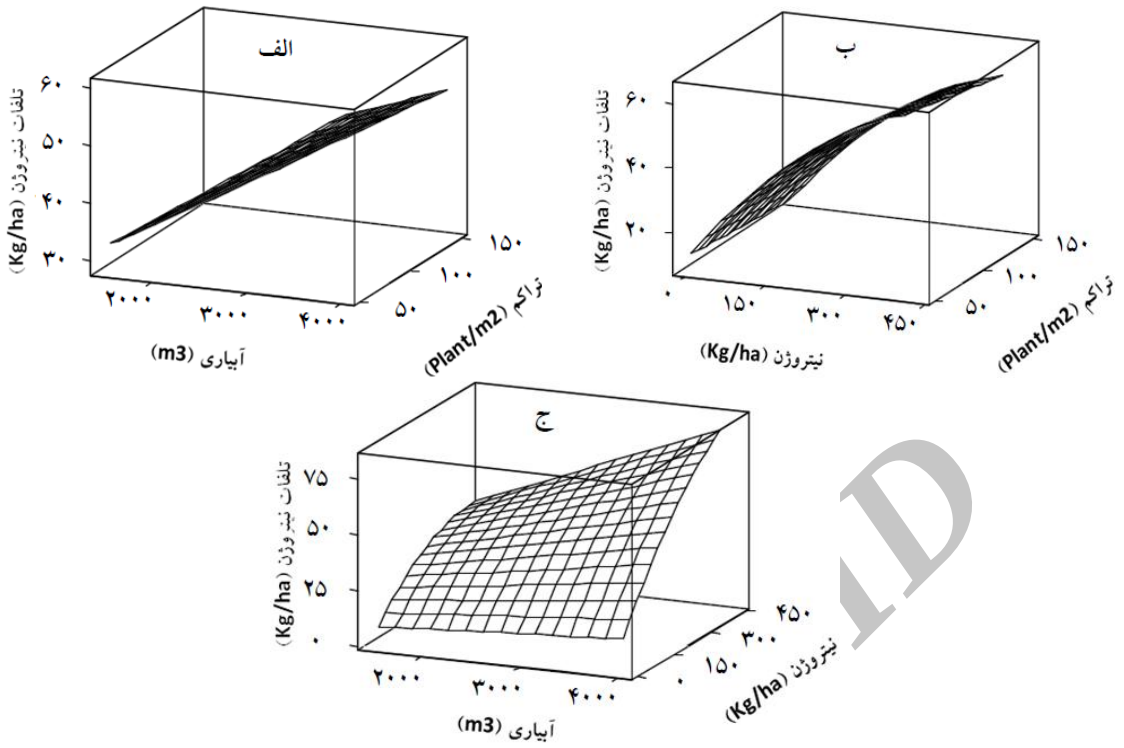
تلفات نیتروژن تحت تاثیر سطح پاسخ تراکم-آبیاری، تراکم-کود نیتروژن و همچنین آبیاری-کود نیتروژن به ترتیب در شکل های ۲الف، ۲ب و ۲ج مشاهده می شود. با افزایش آبیاری در تمام سطوح تراکم، تلفات نیتروژن افزایش می یابد و تلفات نیتروژن در تراکم های پائین کلزا در تمام سطوح آبیاری بیشتر از تراکم های بالای کلزا می باشد (شکل ۲الف). افزایش تراکم احتمالاً به دلیل افزایش سطح تماس ریشه در واحد سطح باعث جذب بیشتر نیتروژن از خاک شده و کاهش تلفات آبشویی نیترات را نسبت به تراکم های پائین کلزا باعث می شود. افزایش آبیاری نیز به دلیل افزایش آب قابل دسترس برای آبشویی نیتروژن باعث افزایش تلفات نیتروژن نسبت به تیمارهای کم آبیاری می شود. افزایش آبیاری در تراکم های پائین کلزا با شیب تندتری باعث افزایش تلفات نیتروژن نسبت به تراکم های بالای کلزا می شود (شکل ۲الف). کمترین و بیشترین تلفات نیتروژن تحت تاثیر آبیاری-کود به ترتیب در آبیاری کم با تراکم بالای کلزا و آبیاری زیاد با تراکم پائین کلزا مشاهده می شود (شکل ۲الف).

افزایش میزان مصرف کود نیتروژن باعث افزایش تلفات نیتروژن در تمام تراکم های مختلف کلزا می شود، همچنین افزایش تراکم کلزا در تمام سطوح مختلف کود نیتروژن باعث کاهش تلفات نیتروژن گردید (شکل ۲ب). افزایش مصرف کود نیتروژنه به دلیل افزایش نیتروژن قابل دسترس برای آبشویی، باعث افزایش تلفات نیتروژن می‌شود. کمترین و بیشترین تلفات نیتروژن تحت تاثیر سطح پاسخ تراکم-کود نیتروژن، به ترتیب در تراکم بالای کلزا با کمترین میزان مصرف کود نیتروزنه و تراکم پائین کلزا با بیشترین مصرف کود نیتروژنه مشاهده شد (شکل ۲ب).

افزایش آبیاری در سطوح پائین مصرف کود نیتروژنه باعث افزایش اندکی در تلفات نیتروژن می شود در صورتی که با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن، شیب افزایش تلفات نیتروژن با افزایش مقدار آبیاری تندتر می شود (شکل ۲ج). افزایش کود نیتروژن در تمام سطوح آبیاری باعث افزایش تلفات نیتروژن می شود و این افزایش در سطوح بالای آبیاری بیشتر از سطوح پائین آبیاری بود (شکل ۲ج). کمترین و بیشترین تلفات نیتروژن تحت تاثیر سطح پاسخ آبیاری-کود به ترتیب در سطح پائین آبیاری با کمترین میزان مصرف کود و سطح بالای آبیاری با بیشترین مقدار مصرف کود نیتروژن می باشد (شکل ۲ج).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- تغییرات تلفات نیتروژن تحت تاثیر آبیاری، کود نیتروژن و تراکم بوته کلزا.

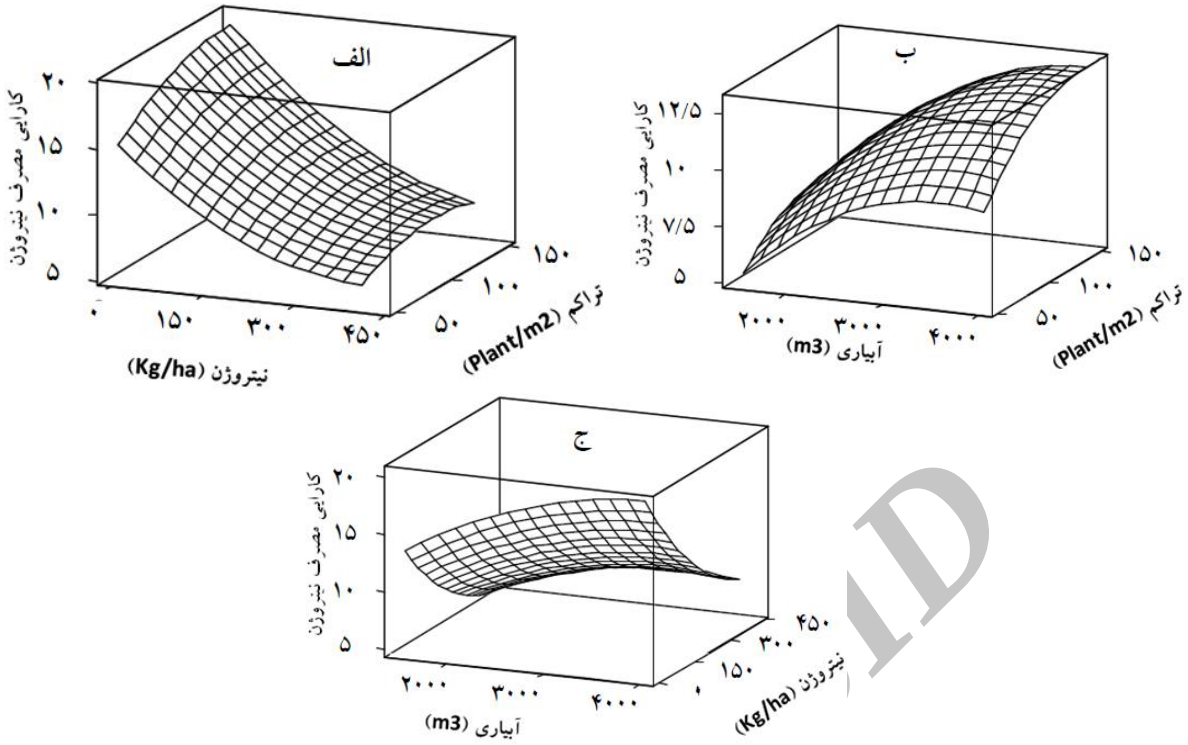
کارایی مصرف نیتروژن

تیمار ۴۰۰۰ متر مکعب آب، ۴۰۰ کیلوگرم نیتروژن و ۵۰ بوته کلزا در متر مربع دارای کمترین مقدار مشاهده شده (۶/۵) و برازش شده (۶/۰۲) کارایی مصرف نیتروژن بود. از طرفی بیشترین مقدار این صفت در تیمار ۴۰۰۰ متر مکعب آب، صفر کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۱۵۰ بوته کلزا در مربع مشاهده شد. بنظر می رسد افزایش تراکم کلزا با افزایش بیومس، باعث کاهش تلفات نیتروژن و در نتیجه افزایش کارایی مصرف نیتروژن شده است (جدول ۵).

با افزایش سطوح نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن در تمامی تراکم های کاشت کلزا کاهش نشان داد (شکل ۳الف). همچنین در کلیه سطوح نیتروژن، افزایش تراکم بوته کلزا منجر به بهبود کارایی مصرف نیتروژن شد، بطوریکه بالاترین کارایی مصرف نیتروژن در پایین ترین سطح نیتروژن مصرفی و بالاترین تراکم مورد استفاده بدست آمد و کمترین کارایی مصرف نیتروژن در بالاترین سطح کودی و کمترین تراکم مشاهده شد (شکل ۳الف). در سطوح پایین نیتروژن (۲۰۰-۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) با افزایش میزان نیتروژن در تمامی تراکم های کلزا، کارایی مصرف نیتروژن با شیب تندی کاهش نشان داد، حال آنکه در سطوح بالای کودی این روند شیب کمتری را دارا بود. بنظر می رسد در سطوح بالای کودی، افزایش عملکرد کلزا منجر به بهبود کارایی مصرف نیتروژن شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳- تغییرات کارایی مصرف نیتروژن تحت تاثیر آبیاری، کود نیتروژن و تراکم بوته کلزا.

بررسی سطح پاسخ تراکم-آبیاری بر کارایی مصرف نیتروژن کلزا نشان داد که در تمامی تراکم های کلزا با افزایش سطوح آبیاری، کارایی مصرف نیتروژن افزایش یافت، با این وجود که این افزایش در سطوح پایین آبیاری دارای شیب بیشتری نسبت به سطوح بالای آن بود (شکل ۳ب). همچنین با افزایش تراکم بوته کلزا، مقدار کارایی مصرف نیتروژن در تمامی سطوح آبیاری افزایش نشان داد. بالاترین مقدار کارایی مصرف نیتروژن در بالاترین مقدار آبیاری و تراکم و کمترین مقدار این صفت در پایین ترین سطح آبیاری و تراکم بوته کلزا حاصل شد (شکل ۳ب). سطح پاسخ آبیاری-نیتروژن نشان داد که افزایش سطوح آبیاری و کاهش سطوح نیتروژن منجر به بهبود کارایی مصرف نیتروژن شد (شکل ۳ج). بطوریکه، در تمامی سطوح آبیاری، با افزایش سطوح نیتروژن کارایی مصرف نیتروژن کاهش نشان داد و با افزایش سطوح آبیاری در کلیه سطوح کودی نیتروژن، مقدار کارایی مصرف نیتروژن افزایش یافت. کمترین مقدار کارایی مصرف نیتروژن در بالاترین سطح کودی و کمترین سطح آبیاری و بیشترین مقدار این صفت در پایین ترین سطح کودی و بالاترین سطح آبیاری حاصل شد (شکل ۳ج). Hocking *et al.* (1997) با بررسی سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد کلزا، گزارش کردند که سطوح نیتروژن از صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم نتیروژن در هکتار، کارایی مصرف نیتروژن کاهش یافت.

کارایی مصرف آب

بیشترین مقدار برازش شده و مشاهده شده کارایی مصرف آب در تیمار ۱۵۰۰ متر مکعب آب، ۴۰۰ کیلوگرم نیتروژن و ۱۵۰ بوته در متر مربع و کمترین مقدار آن در تیمار ۴۰۰۰ متر مکعب آب، صفر کیلوگرم نیتروژن و ۵۰بوته کلزا در متر مربع مشاهده شد (جدول ۵). از آنجاییکه کارایی مصرف آب از نسبت عملکرد بر مقدار آب مصرفی حاصل می شود، بنظر می رسد، افزایش سطوح نیتروژن و تراکم با افزایش عملکرد گیاه کلزا باعث افزایش کارایی مصرف آب شد.

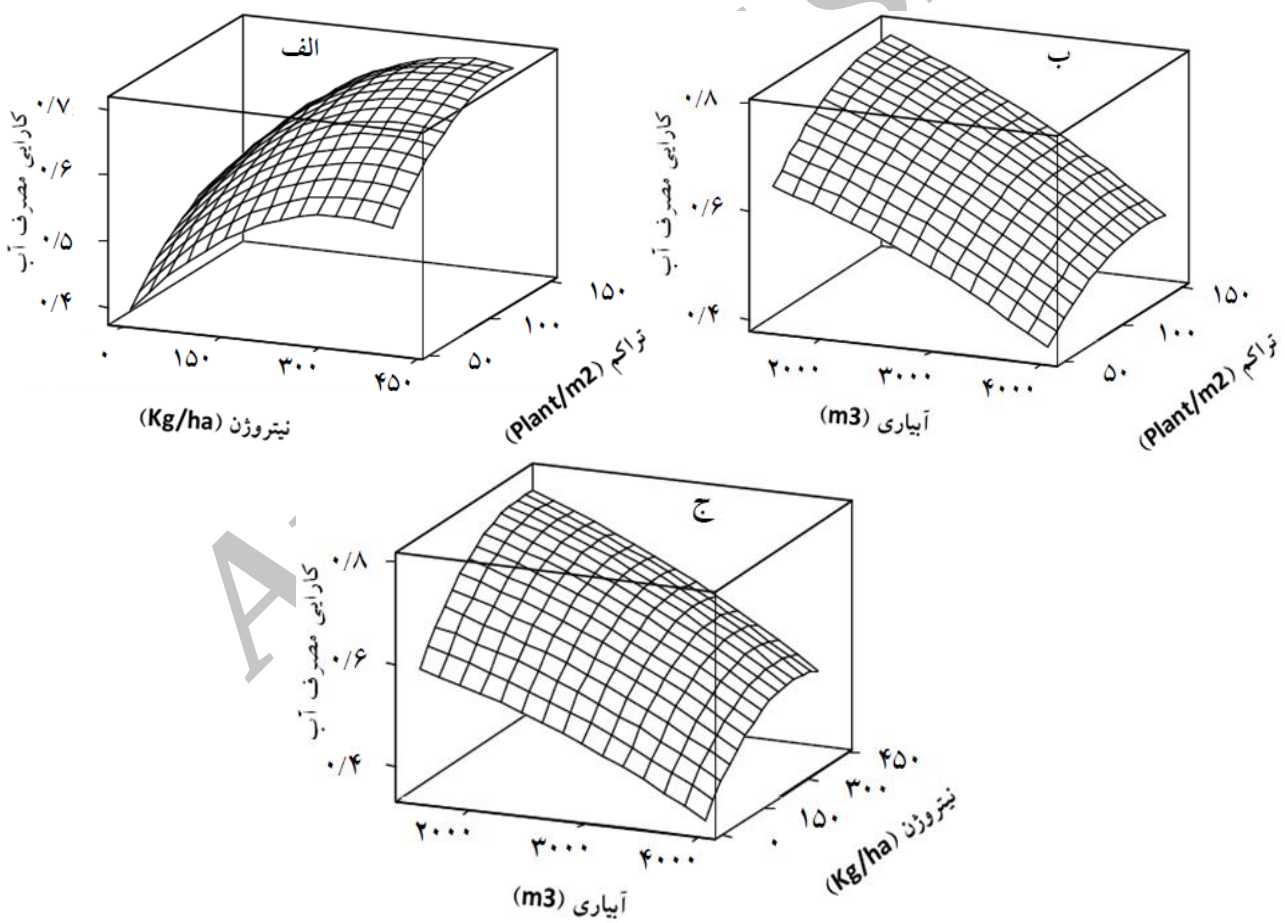
سطح پاسخ آبیاری،کود نیتروژن و تراکم بوته کلزا بر کارایی مصرف آب گیاه کلزا در شکل ۴ نشان داده شده است. افزایش هر دو عامل نیتروژن و تراکم بوته باعث افزایش کارایی مصرف آب شد (شکل ۴الف). از آنجاییکه

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش تراکم و نیتروژن باعث افزایش عملکرد دانه کلزا شدند (شکل ۱)، بنابراین افزایش این دو تیمار منجر به بهبود کارایی مصرف آب شدند. نتایج نشان داد که در کلیه سطوح نیتروژن، با افزایش تراکم کلزا در متر مربع، کارایی مصرف آب افزایش نشان داد. همچنین در کلیه تراکم های کشت کلزا، افزایش سطوح نیتروژن باعث افزایش کارایی مصرف آب گیاه کلزا شد (شکل ۴الف). در سطوح پایین کود نیتروژن (۲۰۰-۰ کیلوگرم در هکتار)، با افزایش مقدار نیتروژن در تمامی تراکم های گیاه کلزا، کارایی مصرف آب با شیب تندی افزایش یافت، حال آنکه از سطح ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تا بالاترین مقدار آن، افزایش نیتروژن تاثیری در افزایش کارایی مصرف آب در کلیه تراکم های کلزا نداشت.

سطح پاسخ آبیاری تراکم نیز نشان داد که در تمامی تراکم های کلزا، با افزایش سطوح آبیاری کارایی مصرف آب کاهش چشم گیری نشان داد (شکل ۴ب). بطوریکه بالاترین کارایی مصرف آب در تمامی تراکم های کلزا در پایین ترین سطح آبیاری بدست آمد. از طرفی در تمامی سطوح آبیاری با افزایش تراکم کلزا،کارایی مصرف آب افزایش نشان داد (شکل ۴ب). از آنجاییکه کارایی مصرف آب از نسبت عملکرد بر آب مصرفی حاصل می شود، بنابراین بدیهی بنظر می رسد که افزایش مصرف آب منجر به کاهش کارایی مصرف آب گردد. نتایج تحقیق Dogan *et al.* (2011) نیز نشان داد که بالاترین کارایی زراعی مصرف آب کلزا (۲۷) در پایین ترین سطح آبیاری دست آمد و با افزایش سطوح آبیاری از کارایی زراعی مصرف آب کاسته شد.



شکل ۴- تغییرات کارایی مصرف آب تحت تاثیر آبیاری، کود نیتروژن و تراکم بوته کلزا.

www.SID.ir

در بررسی سطح پاسخ آبیاری- نیتروژن نیز مشاهده شد که افزایش سطوح نیتروژن و کاهش سطوح آبیاری منجر به افزایش کارایی مصرف آب شدند (شکل ۴ج). در تمامی سطوح آبیاری، با افزایش سطوح نیتروژن میزان کارایی مصرف آب بهبود یافت. همچنین در کلیه سطوح نیتروژن، با افزایش آب مصرفی، کارایی مصرف آب کاهش نشان داد. بطوریکه بیشترین کارایی مصرف آب در بالاترین مقدار نیتروژن و پایین ترین مقدار آبیاری بدست آمد (شکل ۴ج).

بهینه سازی منابع

مقدار بهینه آبیاری، نیتروژن و تراکم کلزا بر اساس سه سناریوی اقتصادی، زیست محیطی و اقتصادی-زیست محیطی برای حصول مقدار مورد انتظار متغیرهای وابسته در جدول ۶ نشان داده شده است. عملکرد دانه کلزا در سناریوی اقتصادی بعنوان اصلی ترین متغیر تعیین کننده‌ی میزان بهینه منابع مورد استفاده در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که کاربرد ۳۶۴۳ متر مکعب آب به همراه ۱۸۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در تراکم ۱۴۹ بوته کلزا در متر مربع منجر به تولید حدود ۱۹۵۰ کیلوگرم دانه کلزا و همچنین تلفات ۴۷ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، کارایی مصرف نیتروژنی معادل ۱۳ و کارایی مصرف آب ۰/۵۵ شد (جدول ۶). با توجه به میزان کود مصرفی (۱۸۶کیلوگرم در هکتار) برای حصول بیشترین عملکرد در سناریوی اقتصادی، بنظر می رسد که کاربرد سطوح بالاتر از ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، تاثیر معنی داری در افزایش عملکرد دانه کلزا ندارد و بصورت آبشویی یا تصعید از دسترس گیاه خارج می شود که خود می تواند منجر به افزایش آلودگی های زیست محیطی گردد.

جدول۶- مقدار بهینه آبیاری، نیتروژن و تراکم برای حصول متغیرهای وابسته مورد انتظار در سناریوهای مورد بررسی.

		اقتصادی	زیست محیطی	اقتصادی-زیست محیطی
متغیر وابسته (y)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	۱۹۵۱	۱۰۸۰	۱۶۴۰
	تلفات نیتروژن (کیلوگرم بر هکتار)	۴۷	۱۰	۲۸
	NUE	۱۳	۱۵	۱۶/۸۷
	WUE	۰/۵۵	۰/۶۰	۰/۶۵
متغیر مستقل (x)	آبیاری (مترمکعب)	۳۶۴۳	۱۸۱۳	۲۶۳۹
	نیتروژن (کیلوگرم بر هکتار)	۱۸۶	۱۲	۱۰۵
	تراکم (بوته بر مترمربع)	۱۴۹	۱۵۰	۱۴۴
		اقتصادی	**زیست محیطی**	**اقتصادی-زیست محیطی**
متغیر وابسته (y)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	۱۹۵۱	۱۰۸۰	۱۶۴۰
	تلفات نیتروژن (کیلوگرم بر هکتار)	۴۷	۱۰	۲۸
	NUE	۱۳	۱۵	۱۶/۸۷
	WUE	۰/۵۵	۰/۶۰	۰/۶۵
متغیر مستقل (x)	آبیاری (مترمکعب)	۳۶۴۳	۱۸۱۳	۲۶۳۹
	نیتروژن (کیلوگرم بر هکتار)	۱۸۶	۱۲	۱۰۵
	تراکم (بوته بر مترمربع)	۱۴۹	۱۵۰	۱۴۴

Archive of SID

www.SID.ir

در سناریوی زیست محیطی، کاهش تلفات نیتروژن بعنوان فاکتور تعیین کننده میزان بهینه منابع مورد استفاده در نظر گرفته شد، که صرفا کاهش آلودگی های زیست محیطی ناشی از آبشویی و تصعید نیتروژن را مد نظر قرار داده و توجه چندانی به عملکرد اقتصادی ندارد. در این سناریو آبیاری حدود ۱۸۰۰ متر مکعب، کود نیتروژن به مقدار ۱۲ کیلوگرم در هکتار و تراکم ۱۵۰ بوته کلزا در متر مربع پیشنهاد شد. بر اساس منابع پیشنهادی، میزان عملکرد دانه، تلفات نیتروژن، NUE و WUE به ترتیب معادل ۱۰۸۰ کیلوگرم در هکتار، ۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ۱۵ و ۰/۶۰ تخمین زده شد (جدول ۶).

کارایی مصرف نیتروژن و آب در سناریوی اقتصادی- زیست‌محیطی بعنوان فاکتور اصلی تعیین کننده اپتیمم مقدار متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد. در سناریوی اقتصادی- زیست‌محیطی، مقدار بهینه آبیاری، نیتروژن و تراکم به ترتیب معادل ۲۶۳۹، ۱۰۵ و ۱۴۴ بدست آمد. بر اساس این منابع پیشنهادی عملکرد دانه ۱۶۴۰ کیلوگرم در هکتار، تلفات نیتروژن ۲۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، NUE حدود۱۷ و WUE معادل ۰/۶۵ تخمین زده شد (جدول ۶). در سناریوی زیست محیطی، میزان تلفات نیتروژن نسبت به سناریوی اقتصادی و اقتصادی- زیست محیطی به ترتیب حدود ۷۸ و ۶۴ درصد کاهش نشان داد.

با توجه به نتایج، از آنجاییکه سناریوی اقتصادی- زیست محیطی هم عملکرد دانه (بعنوان یک شاخص اقتصادی) و هم میزان تلفات نیتروژن (بعنوان یک شاخص زیست محیطی) را مدنظر قرار می دهد، بنظر می رسد مصرف منابع مورد استفاده (آب و کود نیتروژن) و همچنین تراکم کلزا بر اساس این سناریو می تواند بعنوان مناسب ترین راهکار برای نیل به حصول عملکرد قابل قبول به همراه کاهش آلودگی های زیست محیطی مورد توجه قرار گیرد.

منابع

Ahmadi, M., 2000. Sowing of Canola with Minimum Tillage System. Agricultural and Natural Resources Research of Gorgan Institute, Oil Seeds Department Press, Gorgan, Iran.

Aslan, N., 2007. Application of response surface methodology and central composite rotatable design for modeling the influence of some operating variables of a Multi-ravity Separator for coal cleaning. Fuel. 86, 769–776.

Badejo, M.A., 1998. Agroecological restoration of savanna ecosystems. Ecological Engineering. 10, 209–219.

Banuelos, G.S., Bryla, D.R. and Cook, C.G., 2002. Vegetative production of kenaf and canola under irrigation in central California. Industrial Crops and Products. 15, 237–245.

Barrak, Kh.M., 2006. Irrigation interval and nitrogen level effects on growth and yield of canola (*Brassica napus* L.). Scientific Journal of King Faisal University. 7(1), 87-102.

Box, G.E.P. and Hunter, J.S., 1957. Multi-factor experimental design for exploring response surfaces. Annual Mathemathic, and Statistics. 28, 195–241.

Box, G.E.P. and Wilson, K.B., 1951. On the experimental attainment of optimum conditions. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology). 13, 1–45.

Chengci, C., 2002. Determine Canola Optimum Seeding Date and Rate in Central Montana. PNW Canola Research Project Progress Report, USA.

Cornell, J.A., 1990. Experiments with Mixtures. 2nd edn., Wiley, New York.

Dogan, E., Copur, O., Kahramanb, A., Kirnak, H. and Guldur, M.E., 2011. Supplemental irrigation effect on canola yield components under semiarid climatic conditions. Agricultural Water Management. 98, 1403–1408.

Gheysari, M., Mirlatifi, S.M., Bannayan, M., Homaee, M. and Hoogenboom G., 2009. Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. Agricultural and Water Management. 96, 809 - 821.

Hinsinger, P., 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review. Plant and Soil. 237, 173-195.

Hocking, P.J., Kirkegaard, J.A., Angus, J.F., Gibson, A.H. and Koetz, E.A., 1997. Comparison of canola, Indian mustard and linola in two contrasting environments. I. Effects of nitrogen fertilizer on dry-matter production, seed yield and seed quality. Field Crops Research. 49(2-3), 107-125.

Jan, A., Ahmad, G., Jan, T., Jamal, M. and Subhan, F., 2008. Oil yields of canola as affected by N and S levels and methods of application under rainfed conditions. Sarhad Journal of Agriculture. 24, 1-9.

Archive of SID

www.SID.ir

Kamkar, B., Daneshmand, A., Ghooshchi, R.F., Shiranirad, A.H. and Safahani Langeroudi A.R., 2011. The effects of irrigation regimes and nitrogen rates on some agronomic traits of canola under a semiarid environment. Agricultural and Water Management. 98, 1005-1012.

Malakooti, M.J., 1996. Sustainable Agriculture and Increasing of Yield via Optimization of Fertilizer Application in Iran. Nashr Amoozesh Keshavarzi Press, Tehran, Iran.

Moradi, R., Rezvani Moghaddam, P., Nasiri Mahallati, M. and Lakzian, A., 2009. The effect of application of organic and biological fertilizers on yield, yield components and essential oil of *Foeniculum vulgare* (Fennel). Iranian Journal of Field Crops Research. 7, 625-635. (In Persian with English abstract).

Nelson, D.W. and Somers, L.E., 1973. Determination of total nitrogen in plant material. Agronomy Journal. 65, 109–112.

Obeng, D.P., Morrell, S. and Napier, T.J.N., 2005. Application of central composite rotatable design to modeling the effect of some operating variables on the performance of the three-product cyclone. International Journal of Mineral Processing. 769, 181–192.

Rehm, M., Lamp S.J. and Eliason, R., 2002. Fertilization suggestion for canola. Available online at: http://www.extension.Emn.edu.

Sadreghaen, S.H., Zarei, Gh. and Haghayeghei Moghaddam, A.G., 2009. Effect of sprinkler and furrow irrigation on quantity, quality and water use efficiency of sugar beet. Journal of Water and Soil. 23, 173-183.

Safahani Langerodi, A., Aynehband, A., Zand, E., Nour-mohammadi, Gh., Baghestani, M.A. and Kamkar, B., 2008. Evaluation of competitive ability in some canola (*Brasica napus*) cultivars with wild mustard (*Sinapis arvensis*) and relationship with canopy structure. Journal of Agricultureal science and Natural Resources.15(2), 20-34.

Wenxue, L., Long, L., Jianhao, S., Tianwen, G., Fusuo, Z., Xingguo, B., Peng A. and Tang, C., 2005. Effects of intercropping and nitrogen application on nitrate present in the profile of an Orthic Anthrosol in Northwest China. Agriculture, Ecosystems and Environment. 105, 483–491.

Wright, G.C., Smith, C.J. and Woodroffe, M.R., 1988. The effect of irrigation and nitrogen fertilizer on rapeseed (*Brassica napus*) production in south-eastern Australia. I. Growth and seed yield. Irrigation Science. 9, 1-13.

Archive of SID

www.SID.ir

Optimization of water, nitrogen and density in canola cultivation by central composite design

Alireza Koocheki,* Mehdi Nassiri Mahallati, Rooholla Moradi and Hamed Mansouri

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*Corresponding author: akooch@um.ac.ir

Abstract

The optimum resource level in agro-ecosystems should be determined to decrease production costs, conserve resources and reduce environmental pollution which occurs as a result of excessive use of these resources. In order to determine the optimum use of water, nitrogen and canola density, an experiment was conducted using central composite design in the Research Field of Ferdowsi University in 2011. The treatments were designed based on low and high levels of irrigation (1500 and 4000 m^3), nitrogen (0 and 400 Kg urea ha^{-1}) and canola density (50 and 150 plant m^{-2}). Seed yield, nitrogen losses, nitrogen use efficiency (NUE) and water use efficiency (WUE) were measured as independent variables and changes of these variables were calculated by a regression model. Optimum levels of irrigation, nitrogen and canola density, respectively, were proposed to obtain the expected level of traits based on three scenarios: economic, environmental and economic-environmental. Increasing irrigation and fertilizer led to an increase in seed yield and nitrogen losses, whereas increasing canola density caused an increase in seed yield but a decrease in nitrogen losses. The optimum level of water, fertilizer and density were 3643 m^3, 186 Kg N ha^{-1} and 149 plant m^{-2} in economic scenario. In the environmental scenario, the optimum levels of the treatments obtained were 1813, 12 and 150, respectively, and for the economic-environmental scenario were 2639, 105 and 144, respectively. In general, it seems that resource use based on the economic-environmental scenario is preferable to the other scenarios since it takes account not only of economic but also of environmental issues.

Keywords: Environment, Nitrogen losses, Water Use Efficiency, Nitrogen Use Efficiency.

Archive of SID

www.SID.ir