

مجله به‌زراعی نهال و بذر
جلد ۲-۳۰، شماره ۲، سال ۱۳۹۳

اثر مصرف بهینه نیتروژن در کاهش اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه برخی ژنوتیپ‌های گندم نان دیم

Effect of Optimized Nitrogen Application in Reducing Drought Stress Effect on Grain Yield of some Rainfed Bread Wheat Genotypes

ولی فیضی اصل^۱، امیر فتوت^۲، علیرضا آستارایی^۳، امیر لکزیان^۴ و سیدبهمن موسوی^۵

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، دانشیار و استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه
فردوسی مشهد
۵- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۲/۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۴/۷

چکیده

فیضی اصل، و.، فتوت، ا.، آستارایی، ع.، لکزیان، ا. و موسوی، س. ب. ۱۳۹۳. اثر مصرف بهینه نیتروژن در کاهش اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه
برخی ژنوتیپ‌های گندم نان دیم. مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۳۰ (۲): ۱۹۸-۱۶۹.

این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت کرت‌های دو بار خرد شده با دو زمان
مصرف (کل نیتروژن در پائیز و $\frac{1}{2}$ در پائیز و $\frac{1}{2}$ در بهار) در چهار سطح نیتروژن (صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در
هکتار) روی هفت ژنوتیپ گندم دیم در سه تکرار در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم
مراغه به اجرا درآمد. صفات مختلف گیاهی مرتبط با تنش خشکی و تنش نیتروژن اندازه‌گیری شد. نتایج نشان
داد شاخص حساسیت به تنش خشکی (SSI) مناسب‌ترین شاخص برای بررسی ارتباط بین تنش خشکی و مدیریت
نیتروژن بود. بر اساس این شاخص مصرف ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار توانست شدت تنش خشکی را
به ترتیب ۵۵، ۸۸ و ۶۴٪ کاهش دهد که این نسبت‌ها معادل با افزایش به ترتیب ۸۱۰، ۱۳۶۲ و ۹۴۲ کیلوگرم در
هکتار عملکرد دانه بود. در محدوده مصرف بهینه اقتصادی نیتروژن ($ND = 0$) شاخص حساسیت تنش خشکی به
کمینه مقدار خود رسید ولی در مقادیر بالاتر ($ND > 0$) و پائین‌تر ($ND < 0$) از آن افزایش یافت، به طوری که در
محدوده پائین‌تر $\frac{4}{5}$ برابر محدوده بالاتر بود. با کاهش هر ۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از مصرف بهینه
اقتصادی نیتروژن، شاخص SSI، ۰/۱۵ افزایش و عملکرد دانه ۱۷۱ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت. نتایج نشان
داد، برای تولید عملکردهای بیش از ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار تیمار N_{60} و برای عملکردهای پائین‌تر از ۱۹۰۰
کیلوگرم در هکتار تیمار N_{30} مورد نیاز بود که برای محدوده $ND < 0$ مصرف تقسیطی و برای $ND > 0$ مصرف
پائیزی مناسب بود. در محدوده مصرف بهینه اقتصادی نیتروژن ($ND = 0$) زمان مصرف نیتروژن تأثیر معنی‌داری
نداشت. شاخص میانگین حسابی (MP) چهار ژنوتیپ رصد، Cereal4، آذر ۲ و اوحدی و شاخص SSI سه ژنوتیپ
Cereal2، Cereal4 و رصد را متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی کردند. در حالی که برای کاهش اثر تنش خشکی
از طریق مصرف بهینه نیتروژن، ژنوتیپ‌های Cereal2، Cereal4 و رصد مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند.
نتایج این پژوهش نشان داد علاوه بر این که بین تنش خشکی و مدیریت مصرف نیتروژن اثر متقابل وجود دارد، با
مدیریت بهینه مصرف نیتروژن نیز می‌توان شدت اثر تنش خشکی بر عملکرد گندم دیم را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت مصرف نیتروژن، شاخص تنش نیتروژن، کارایی مصرف آب، کارایی مصرف نیتروژن و
عملکرد دانه.

مقدمه

تنش خشکی در قسمت اعظمی از دوره رشد و تنش حرارتی در اواخر دوره رشد گندم دیم از عوامل بسیار مهم تهدید کننده تولید این محصول در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شوند (Mohammadi *et al.*, 2009). از طرفی به دلیل کمی مواد آلی (منبع طبیعی نیتروژن مورد نیاز گیاه) و وجود تنش رطوبتی به عنوان مانع اصلی جذب این عنصر، تنش نیتروژنی مهم ترین عامل محدود کننده تولید گندم دیم در مرتبه بعد از تنش رطوبتی در این مناطق به شمار می‌رود (Ryan *et al.*, 2008).

کمبود نیتروژن بیش از هر عنصر دیگری عامل محدود کننده رشد است. این عنصر به مقدار زیادی توسط گیاهان از خاک جذب می‌شود، بنابراین، تامین کافی نیتروژن قابل استفاده در خاک برای رشد بهینه گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Antep, 1997). جذب و شرکت نیتروژن در متابولیسم گیاهی بیشتر به عوامل محیطی (رطوبت و دما) و ژنتیکی گیاه (خصوصیات ریشه و قدرت انتقال مجدد نیتروژن) بستگی دارد که این موضوع مشکلات مدیریت مصرف نیتروژن را در شرایط دیم دو چندان می‌کند. نزدیک به ۸۰٪ نیتروژن مورد نیاز گیاه از طریق جریان توده‌ای و به همراه آب جذب گیاه می‌شود (Johnston and Fowler, 1991; Barber, 1995). چنانچه به دلایل مختلف،

تنش رطوبتی و حرارتی در محیط گیاه رخ دهد، جذب نیتروژن با مشکل مواجه شده و به دلیل ایجاد اختلال در متابولیسم گیاه، عملکرد کمی و کیفی گندم دیم کاهش می‌یابد (Barbabas *et al.*, 2008; Acevedo *et al.*, 2009).

وجود تنش رطوبتی در قسمت اعظم دوره رشد گندم دیم به ویژه در مرحله تشکیل سنبله و همچنین وجود تنش حرارتی در اواخر دوره رشد آن از مشکلات اساسی به شمار می‌آیند (Howell, 1990; Tilling *et al.*, 2007). تنش رطوبتی به همراه تنش گرمایی باعث اضمحلال کلروفیل، کاهش محتوای نسبی آب برگ پرچم (به عنوان آخرین عضو فعال در فتوسنتز جاری گیاه در مرحله پر شدن دانه) و همچنین بسته شدن روزنه‌ها می‌شود. کاهش ۵۰٪ محتوای کلروفیل برگ گندم در شرایط تنش خشکی منجر به کاهش میزان فتوسنتز و افزایش سرعت پیر شدن گیاه شد که مجموعه این عوامل باعث شد تا میزان تولید و کیفیت (چروکیدگی دانه) گندم دیم کاهش یابد (Fitzgerald *et al.*, 2006; Hafsi *et al.*, 2007).

پژوهشگران زیادی وجود اثر متقابل بین تنش خشکی و کوددهی نیتروژنی را در گندم به ویژه در شرایط مزرعه‌ای مورد تأیید قرار داده‌اند و اغلب آنان بر این باورند که مصرف بهینه کودهای نیتروژنی در تعادل با شرایط محیطی و آب قابل استفاده برای گیاه می‌تواند از شدت تنش خشکی بر گیاه بکاهد و در تولید

اثر مصرف بهینه نیتروژن بر کاهش اثر تنش خشکی ...

اندام زایشی را تامین کند. به اعتقاد تاناکا و همکاران (Tanaka *et al.*, 1990) زمان مصرف کودهای نیتروژنی کارایی استفاده از آن‌ها را در گندم دیم تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر این اساس لوپز بلیدو و همکاران (Lopez-Bellido *et al.*, 2006) مصرف نیتروژن را بین مرحله پنجه‌زدنی و طویل شدن ساقه گندم دیم برای افزایش کارایی مصرف نیتروژن و کاهش تلفات آن از طریق آبخشوی و رواناب توصیه کردند.

آزمایش‌های متعددی در خصوص تعیین زمان مناسب مصرف نیتروژن برای گندم دیم در شمال غرب کشور انجام شده است که در اغلب آن‌ها مصرف پائیزی نیتروژن مناسب‌ترین زمان شناخته شده است. این یافته مهم در اغلب سال‌ها (به ویژه خشکسالی‌ها) باعث افزایش ۳۰۰ الی ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه در مقایسه با مصرف تقسیطی نیتروژن در مزارع استان‌های کردستان، کرمانشاه، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و زنجان شده است و اعمال آن می‌تواند در پایداری تولید برای گندم دیم به ویژه در سال‌های خشک به دلیل افزایش فراوانی چنین سال‌هایی روش موثری باشد (Feiziasl and Valizadeh, 2003; Abdollahi Gharakand *et al.*, 2012).

میزان مصرف کودهای نیتروژنی برای گندم دیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا که در مصارف کم و زیاد این عنصر علاوه بر تشدید اثر تنش‌های رطوبتی و حرارتی روی

عملکردهای بهینه، مفید واقع شود (Nielsen and Halvorson, 1991; Jones *et al.*, 1993; Reynolds *et al.*, 2000; Ayeneh *et al.*, 2002; Wright *et al.*, 2004; Lopes and Araus, 2006; Jepsen, 2010; Anjum *et al.*, 2011). تعدادی از پژوهشگران نیز نداشتن اثر متقابل بین این دو عامل محدود کننده رشد (نیتروژن و آب) و عدم بهبود کمی و کیفی محصول و یا اثر سوء آن را در مصارف بالای نیتروژن در آزمایش‌های خود گزارش کرده‌اند (Van Herwaarden *et al.*, 1998; Sorkhi Lalelou *et al.*, 2010). این اختلاف نظرها می‌تواند ناشی از میزان نیتروژن قابل استفاده در خاک، خصوصیات مورفولوژیک (به ویژه ریشه) ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و نوع آزمایش‌ها (گلخانه‌ای یا مزرعه‌ای) باشد (Fathi *et al.*, 1997).

متاسفانه کنترل تنش‌های رطوبتی و دمایی در شرایط دیم به دلیل وابسته بودن آن‌ها به عوامل اقلیمی مشکل و در برخی موارد غیرممکن است. با مصرف بهینه کودهای نیتروژنی و اعمال نظام تناوبی مناسب در کشت گندم دیم می‌توان، علاوه بر تامین نیاز نیتروژنی، اثر سوء تنش خشکی را کاهش داد (Gauer *et al.*, 1992; Ryan *et al.*, 2008). یانگ و همکاران (Yang and Miao, 2000) معتقدند مصرف کود نیتروژن به میزان لازم و در زمان مناسب برای گندم مهم است تا در مواقع نیاز گندم دیم بتواند از ذخایر ساقه و اندام‌های رویشی نیاز

دست‌یابی به عملکردهای بهینه بود.

مواد و روش‌ها

به منظور کاهش اثر تنش خشکی بر گندم دیم از طریق مدیریت بهینه مصرف نیتروژن آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت کرت‌های دو بار خرد شده (اسپلیت اسپلیت پلات) با سطوح مختلف نیتروژن (صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و زمان مصرف آن (کل نیتروژن مصرفی در پائیز و مصرف تقسیطی آن به صورت $\frac{2}{3}$ در پائیز و $\frac{1}{3}$ در بهار در مرحله ۳۲، Zadoks) بر روی هفت ژنوتیپ گندم دیم (آذر۲، رصد، اوحدی، Cereal1، Cereal2، Cereal3 و Cereal4 به ترتیب با شماره 1-29-86-85-06-F6-BW-SARA، DH-2049-3، TEVEE'S//CROW/VEE'S' و HN7//OROFEN//BGN8/3/SERI/4/.. در سه تکرار در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه به اجرا درآمد.

بارندگی و آمار هواشناسی در سال زراعی یادشده نزدیک به میانگین بلندمدت ایستگاه بود (جدول ۱). ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه در استان آذربایجان شرقی در ۴۶ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۷۲۰ متری از سطح دریا واقع شده است که از یک اقلیم نیمه خشک سرد هم‌مرز با فراسرد برخوردار است.

متابولیسم گیاه و عملکرد اقتصادی آن نیز کاهش می‌یابد (Fowler and Brydon, 1989; Prihar *et al.*, 1989). نیلسون و هالورسون (Nielsen and Halvorson, 1991) گزارش کردند که در شرایط دیم وقتی نیتروژن بیش از نیاز گندم استفاده شود، عملکرد دانه، فتوسنتز و تجمع ماده خشک در مقایسه با مقدار بهینه نیتروژن کاهش می‌یابد.

نتایج تحقیقات انجام شده در ایران، نیاز نیتروژن ارقام مختلف گندم دیم را با توجه به ویژگی‌های اقلیمی و خاکی مناطق مورد مطالعه بین ۴۵ تا ۸۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کرده‌اند و افزایش تعداد سنبله در واحد سطح در مصرف بهینه نیتروژن در ارتقاء عملکرد دانه این محصول مورد تاکید بوده است (Taliei and Haghparast, 1999; Edalat, 2005).

شاخص‌های متعددی برای اندازه‌گیری شدت تنش خشکی و تنش نیتروژنی و اثر متقابل آن‌ها در گیاهان مطرح شده است که از طریق این شاخص‌ها می‌توان میزان تنش خشکی را در مدیریت‌های مختلف مصرف نیتروژن تشخیص داده و آن را بهبود بخشید.

هدف از این پژوهش یافتن مناسب‌ترین تیمارهای نیتروژن از نظر مقدار و زمان مصرف آن برای ژنوتیپ‌های گندم دیم با استفاده از شاخص‌های تنش خشکی و همچنین معرفی مناسب‌ترین شاخص مرتبط با مدیریت مصرف نیتروژن جهت کاهش اثر تنش خشکی و

جدول ۱- آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ و میانگین بلند مدت (۲۰ ساله)

Table 1. Meteorological data for Maragheh Dryland Agriculture Research Station during 2010-2011 cropping season and long term mean date (20 years)

سال	بارندگی	میانگین دمای کمینه	میانگین دمای حداکثر	میانگین دما	تعداد روزهای زیر صفر	درصد رطوبت نسبی هوا	تبخیر
Year	Rainfall (mm)	Mean min. temperature (°C)	Mean max. temperature (°C)	Mean Temperature (°C)	Days below zero	Relative humidity (%)	Evaporation (mm)
2010-2011	353	2.5	16.5	8.7	130	50.3	1485
1992-2012	365	4.2	14.6	9.4	128	53.0	1757

فرعی (سطوح نیتروژن) $8/4 \times 7 = 44/8$ مترمربع و کرت اصلی (زمان مصرف نیتروژن) $7/4 \times 37 = 235/7$ مترمربع بود. مقادیر نیتروژن کرت‌ها در مصرف پائیزی به کمک دستگاه کاشت هاسیا از منبع اوره همزمان با کاشت ۷-۵ سانتی‌متر زیر بستر بذر جایگذاری شد. فسفر بر اساس حد بحرانی ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (Feiziasl *et al.*, 2004)، به میزان ۷۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار و به صورت جای‌گذاری همزمان با کاشت مصرف گردید. محل اجرای آزمایش دارای سری خاک رطل آباد با ویژگی‌های Fine mixd, Mesic, Vertic Calcixerepts بافت لوم رسی، فاقد سنگ و سنگ ریزه و بدون محدودیت شوری و قلیائیت در سطح الارض، شیب ۸-۵ درصد، با پستی و بلندی و فرسایش آبی نسبتاً زیاد بود (Seyed Ghiasi, 1991). از خاک محل اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری به روش مرکب از هر بلوک نمونه‌برداری شد (جدول ۲). پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، بافت به

میانگین بارندگی آن ۳۶۵ میلی‌متر است که توزیع آن در میانگین بلند مدت ۲۶ درصد (۹۳ میلی‌متر) برای پائیز، ۳۴ درصد زمستان (۱۲۰ میلی‌متر) و ۳۹ درصد (۱۳۹ میلی‌متر) بهار است. تعداد روزهای یخبندان ۱۲۸ روز، حداکثر مطلق درجه حرارت ایستگاه ۳۷ درجه سانتی‌گراد، حداقل مطلق ۲۵- و میانگین سالیانه آن ۹/۴ درجه سانتی‌گراد است. پراکنش بارندگی سال زراعی اجرای آزمایش در پاییز ۱۶/۶ میلی‌متر، در زمستان ۱۴۱/۷ میلی‌متر و در بهار ۱۹۳/۱ میلی‌متر بود. به عبارت دیگر، ۵ درصد بارش‌ها در پاییز، ۴۰ درصد در زمستان و ۵۵ درصد در بهار به وقوع پیوست. اگرچه میانگین بارندگی سال زراعی کاهش چندانی در مقایسه با آمار بیست ساله نداشت، اما پراکنش آن متفاوت بود، به طوری که بارندگی بهار ۱۶ درصد و زمستان ۶ درصد نسبت به بلند مدت افزایش و بارندگی فصل پائیز ۲۱ درصد کاهش داشت. مساحت کرت‌های فرعی در فرعی (ژنوتیپ‌ها) $7/2 \times 1 = 8/4$ مترمربع کرت‌های

شدند.

حد بهینه اقتصادی مصرف نیتروژن از طریق برآزش مناسب‌ترین معادله رگرسیونی بین مقادیر نیتروژن مصرفی با میانگین عملکرد دانه در سه تکرار برای هر ژنوتیپ از طریق بیشترین ضریب تبیین و کمترین خطای استاندارد به کمک نرم‌افزار 9 Datafit تعیین و از رابطه مربوطه نسبت به نیتروژن مشتق‌گیری و نتیجه مساوی با متغیر اقتصادی عمومی (General Economic Variable) قرار داده شد (Colwell, 1994).

$$E_N = \frac{dY}{dN} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن: $\frac{dY}{dN}$ = مشتق از معادله عملکرد نسبت به نیتروژن و E_N = متغیر اقتصادی عمومی برای نیتروژن که از رابطه زیر محاسبه شد:

$$E_N = \frac{C_N(1+R)^t}{V} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن: C_N = قیمت هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی به صورت کود (ریال)، R = نرخ بهره یا سود بانکی وام اخذ شده برای خرید کود نیتروژن (%، t = تعداد دوره‌های بازپرداخت اقساط وام (سال) و V = قیمت هر کیلوگرم دانه تولیدی گندم (ریال) است.

از طریق حل رابطه (۱)، حد بهینه اقتصادی نیتروژن برای هر ژنوتیپ به صورت جداگانه محاسبه شد (جدول ۳). سپس تفاوت از حد بهینه اقتصادی مصرف نیتروژن (Nitrogen Rate Difference) برای هر ژنوتیپ محاسبه و به عنوان متغیر مستقل در مقابل شاخص‌های تنش خشکی به

روش هیدرومتری، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید و تیتراژ کردن با سود، کربن آلی به روش اکسایش تر، pH در گل اشباع، هدایت الکتریکی در عصاره اشباع، درصد اشباع به روش وزنی، فسفر قابل جذب گیاه در خاک با عصاره گیر اولسن، پتاسیم با عصاره گیر استات آمونیوم، عناصر آهن، منگنز، روی و مس قابل جذب با عصاره گیر DTPA اندازه‌گیری شد (Ali Ehyaei, 1999).

بین مراحل مختلف رشد از نظر میانگین میزان رطوبتی تا عمق ۱۰۰ سانتی متری خاک در تیمارهای مورد بررسی تفاوت معنی‌داری وجود داشت و از زمان ساقه رفتن به سمت رسیدگی فیزیولوژیک، میزان رطوبت در تمامی عمق‌ها افزایش یافت، اما نسبت این افزایش در این جهت نزولی بود. به نحوی که در مراحل شیری شدن دانه تا رسیدگی فیزیولوژیک تفاوت‌ها در کل عمق مورد آزمایش اندک بود و میزان رطوبت در دو مرحله نهایی کاملاً بر یک‌دیگر منطبق شد. همچنین مقایسه میزان تخلیه رطوبتی لایه‌های سطحی با لایه‌های پائینی نشان داد، میزان تخلیه در لایه‌های سطحی بسیار بیشتر از لایه‌های پائینی بود، اما تفاوت بین مراحل رشد از لحاظ میزان تخلیه در لایه‌های پائینی بیشتر از لایه‌های سطحی بود (شکل ۱).

بذرهای گندم با تراکم ۴۰۰ دانه در مترمربع پس از ضد عفونی با قارچ کش کاربوکسین تیرام به نسبت ۲ در هزار و به کمک بذرکار آزمایشی (وینتراشاپگر) در عمق ۵-۷ سانتی متری کاشته

عنوان تابع مورد بررسی قرار گرفت
 (Sawyer *et al.*, 2004). در این پژوهش هشت شاخص از شاخص‌های تنش خشکی برای عملکرد دانه از طریق روابط زیر محاسبه شد:

	حساسیت به تنش خشکی	$SSI = [1 - (Y_s/Y_p)] / [1 - (\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)]$	(Fischer and Maurer, 1978)	رابطه (۳)
{Stress Susceptibility Index (SSI)}	شاخص تحمل به خشکی	$STI = (Y_s/Y_p) / (\bar{Y}_p)^2$	(Fernandez, 1992)	رابطه (۴)
{Yield Index (YI)}	شاخص عملکرد	$YI = (Y_s/\bar{Y}_s)$	(Lin <i>et al.</i> , 1986)	رابطه (۵)
	میانگین حسابی	$MP = (Y_p - Y_s)/2$	(Rosielle and Hamblin, 1981)	رابطه (۶)
{Mean Productivity (MP)}	میانگین هندسی تولید	$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s}$	(Fernandez, 1992)	رابطه (۷)
{Tolerance Index (TOL)}	تحمل به خشکی	$TOL = (Y_p - Y_s)$	(Rosielle and Hamblin, 1981)	رابطه (۸)
{% Reduction (PR)}	درصد تغییر عملکرد	$PR = [(Y_p - Y_s)/Y_p] \times 100$	(Choukan <i>et al.</i> , 2006)	رابطه (۹)
{Harmonic Mean (Harm)}	میانگین هارمونیک	$Harm = [2 \times (Y_s \times Y_p) / (Y_s + Y_p)]$	(Fischer and Maurer, 1978)	رابطه (۱۰)

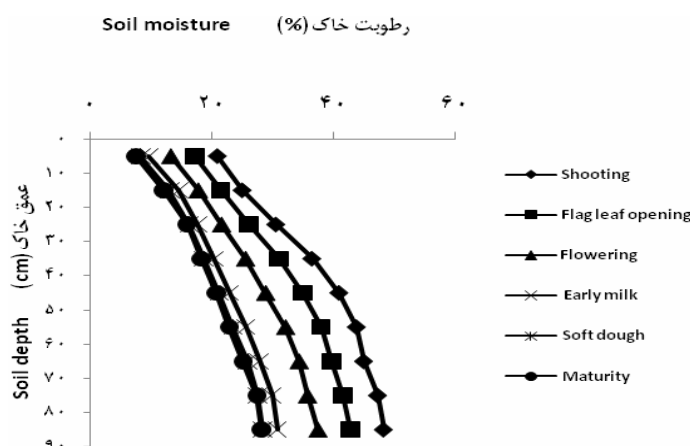
در این روابط:

Y_s : عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط تنش نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)

Y_p : عملکرد هر ژنوتیپ در مطلوب‌ترین شرایط کوددهی نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)

\bar{Y}_s : میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) و

\bar{Y}_p : میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در مطلوب‌ترین شرایط کوددهی نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) است.



شکل ۱- تغییرات میزان رطوبت خاک (%) در عمق ۰-۹۰ سانتی متری در مراحل مختلف رشد گندم دیم
 Fig. 1. Soil moisture (%) variation in different growth stages of dryland wheat in 0-90 cm depth

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک قبل از کاشت (عمق ۰-۲۵ سانتی متری)
Table 2. Soil physical and chemical characteristics before sowing (0-25 cm depth)

درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	درصد کربنات کلسیم معادل	درصد کربن آلی	درصد اشباع	واکنش خاک	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	CaCO ₃ (%)	OC (%)	SP (%)	pH	EC (dS/m)
30	48	22	5.1	0.72	47	7.7	0.15
نیترات (میلی گرم در کیلوگرم)	آمونیم (میلی گرم در کیلوگرم)	فسفر (میلی گرم در کیلوگرم)	پتاسیم (میلی گرم در کیلوگرم)	آهن (میلی گرم در کیلوگرم)	منگنز (میلی گرم در کیلوگرم)	روی (میلی گرم در کیلوگرم)	مس (میلی گرم در کیلوگرم)
NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)
2.1	3.9	5.8	677	7.6	13.6	1.1	2.3

جدول ۳- رابطه بین میزان نیتروژن مصرفی با عملکرد دانه و نیاز نیتروژن برای دستیابی به عملکرد حداکثر و اقتصادی در ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم
Table 3. Relationship between nitrogen application rates and grain yield and N requirements for obtaining maximum and economical grain yield in dryland wheat genotypes

ژنوتیپ	معادله رگرسیون	ضریب تبیین (R ²)	خطای استاندارد (SE)	نیاز نیتروژنی (kg ha ⁻¹)	
				عملکرد حداکثر Max. yield	عملکرد اقتصادی Economical yield
Genotype	Regression equation	(R ²)	(SE)	Max. yield	Economical yield
Azar 2	آذر ۲ Y=-0.342N ² +44.48N+1883.9	0.931**	200.4	65	55
Ohadi	اوحدی Y=-0.230N ² +27.96N+2227.1	0.997**	313.1	59	50
Rasad	رصد Y=-0.430N ² +52.89N+1932.6	0.995**	192.9	61	52
Cereal 1	ژنوتیپ ۱ Y=-0.276N ² +37.11N+1418.8	0.807*	181.6	67	57
ereal 2	ژنوتیپ ۲ Y=-0.307N ² +42.03N+1525.4	1.000**	282.0	68	58
ereal 3	ژنوتیپ ۳ Y=-0.362N ² +36.81N+1987.9	0.979**	449.2	50	43
Cereal 4	ژنوتیپ ۴ Y=-0.393N ² +50.29N+1932.3	1.000**	1839	63	54

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

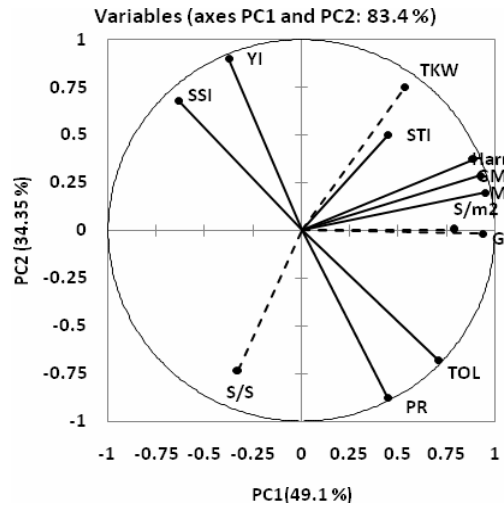
* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰.۵٪ و ۰.۱٪

نتایج و بحث

تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) شاخص‌های تنش خشکی و اجزای عملکرد گندم دیم نشان داد، دو مولفه اول در مجموع نزدیک به ۸۳٪ از تغییر را در مصرف تقسیتی و پائیزی نیتروژن به خود اختصاص دادند و مطابق مقادیر ویژه (Eigen values) دو مولفه اول ($F1 = 5/9$ و $F1 = 4/1$ در مصرف تقسیتی و $F1 = 6/7$ و $F1 = 3/3$ در مصرف پائیزی) به ترتیب مناسب‌ترین مولفه‌ها در توجیه صفات مورد مطالعه بودند (شکل‌های ۲ و ۳). در مصرف تقسیتی در مولفه اول که نزدیک به ۵۰٪ از تغییر را به خود اختصاص داد، به ترتیب اهمیت، شاخص‌های MP، GMP، Harm و TOL به همراه صفات عملکرد دانه و تعداد سنبله در واحد سطح، اثر مثبت و معنی‌داری داشتند. در مولفه دوم که ۳۴٪ از تغییر را به خود اختصاص داد، به ترتیب دو شاخص YI و SSI با اثر مثبت و شاخص PR و صفت تعداد دانه در سنبله با اثر منفی و معنی‌دار قرار گرفتند (شکل ۲).

در مصرف پائیزی در مولفه اول که نزدیک به ۵۶٪ از تغییر را به خود اختصاص داد، به ترتیب اهمیت، شاخص‌های MP، GMP، Harm، TOL و STI به همراه صفات عملکرد دانه، تعداد سنبله در واحد سطح و وزن هزاردانه اثر مثبت و معنی‌دار و شاخص SSI اثر منفی و معنی‌داری داشتند. مولفه دوم که ۲۷٪ از تغییر را به خود اختصاص داد، شاخص‌های YI و PR به

ارتباط بین شاخص‌های تنش خشکی با عملکرد و اجزای آن، محتوای نسبی کلروفیل برگ (SPAD) در مراحل مختلف رشد، شاخص سطح برگ (LAI)، وزن ویژه برگ (Specific Leaf Weight = SLW)، محتوای نسبی آب برگ (Relative Water Content = RWC) و سایر مشخصات برگ پرچم، میزان جذب نیتروژن، شاخص تنش نیتروژن (Nitrogen stress index) به روش تیلینگ و همکاران (Tilling *et al.*, 2007)، کارایی استفاده از آب (Water Use Efficiency = WUE)، استفاده از نیتروژن (Nitrogen Use Efficiency = NUE)، نیتروژن-۱۵ مشتق شده از کود ($\%N_{dff}$) و برخی خصوصیات ریشه از طریق ضرایب همبستگی پیرسون مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور شناسایی شاخص‌های تنش خشکی مشابه و همچنین بررسی ارتباط بین این شاخص‌ها با عملکرد دانه و اجزای آن از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) با استفاده از نرم افزار Xlstat2013 استفاده شد. در نهایت مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی و تشخیص اثر متقابل تنش خشکی و مدیریت مصرف نیتروژن معرفی شد. در نهایت با استفاده از این شاخص‌ها و اثر متقابل تنش خشکی و نیتروژن، مناسب‌ترین تیمارها با کمینه شرایط تنش خشکی شناسایی و معرفی شد.



شکل ۲- بای پلات شاخص‌های تنش خشکی، عملکرد و اجزای عملکرد گندم در مصرف تقسیطی نیتروژن

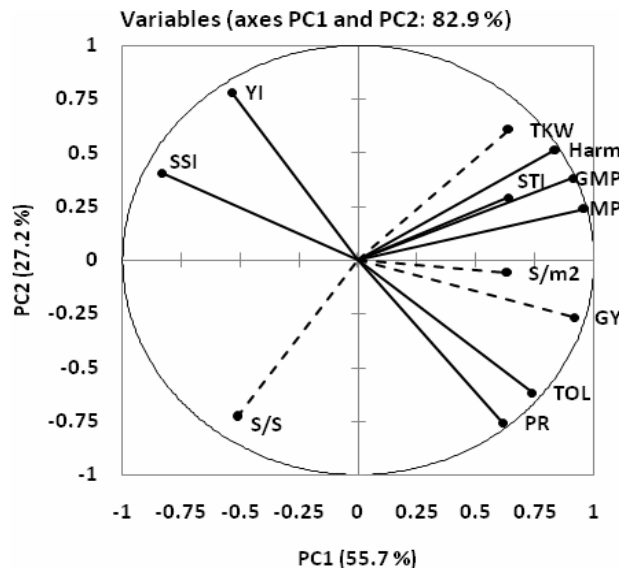
Fig. 2. Biplot of drought stress indices, grain yield and yield components in nitrogen split application

GY: عملکرد دانه، S/m^2 : تعداد سنبله در واحد سطح، S/S: تعداد دانه در سنبله و TKW: وزن هزاردانه
 GY: Grain yield, S/m^2 : Spike numbers per m^2 , S/S: Seed number per spike and TGW: Thousand grain weight.

دیگری نیز گزارش کرده‌اند که مصرف نیتروژن از طریق افزایش تعداد سنبله در واحد سطح، توانسته است عملکرد دانه گندم را در ایران افزایش دهد، در حالی که مصرف نیتروژن بر دو جزء دیگر عملکرد دانه (تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه) چندان موثر نبوده است (Naraki *et al.*, 2010; Yazdani *et al.*, 2012). بر این اساس و همچنین با در نظر گرفتن طول بردارها (تفکیک صفات)، زاویه بین آن‌ها (همبستگی صفات) و سهم صفت در هر مولفه (Abdi and Williams, 2010)، از مهم‌ترین شاخص‌های همسو با عملکرد دانه و تعداد سنبله در واحد سطح، شاخص MP و از مهم‌ترین و معروف‌ترین شاخص‌های مخالف برای عملکرد

ترتیب با اثر مثبت و منفی و صفت تعداد دانه در سنبله با اثر منفی و معنی‌دار قرار گرفتند (شکل ۳). با توجه به تنها نقش مشترک مثبت و معنی‌دار تعداد سنبله در واحد سطح (از بین اجزای عملکرد) با عملکرد دانه (0.81^{**} در مصرف تقسیطی و 0.72^{**} در مصرف پائیزی) و همچنین همبستگی مثبت و معنی‌دار آن با نیتروژن مصرفی (0.46^{**} در مصرف تقسیطی و 0.75^{**} در مصرف پائیزی) و تقسیطی (شکل‌های ۲ و ۳)، به نظر می‌رسد، انتخاب شاخص‌ها بر اساس عملکرد دانه و مهم‌ترین جزء عملکرد دانه یعنی تعداد سنبله در واحد سطح مناسب‌ترین روش انتخاب شاخص تنش خشکی خواهد بود. محققان

اثر مصرف بهینه نیتروژن بر کاهش اثر تنش خشکی ...



شکل ۳- بای پلات شاخص های تنش خشکی و اجزای عملکرد گندم دیم در مصرف پائیزی نیتروژن
 Fig. 3. Biplot of drought stress indices, grain yield and yield components in nitrogen fall application

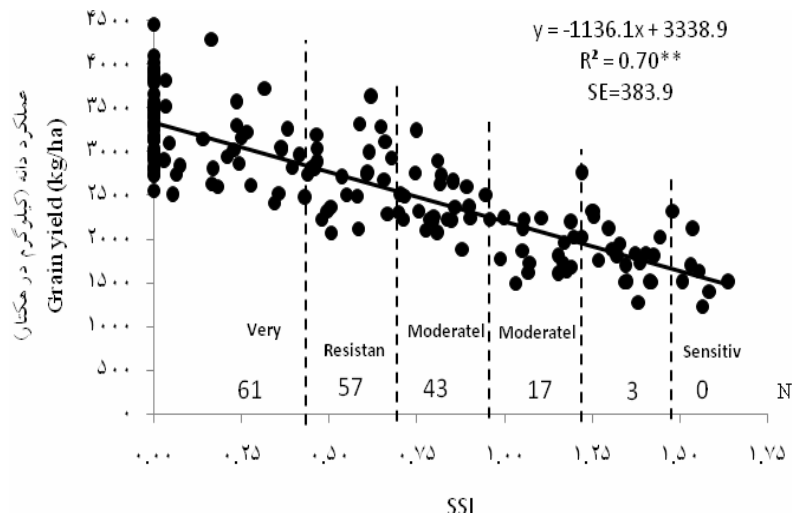
GY: عملکرد دانه، S/m²: تعداد سنبله در واحد سطح، S/S: تعداد دانه در سنبله و TKW: وزن هزاردانه
 GY: Grain yield, S/m²: Spike numbers per m², S/S: Seed number per spike and TGW: Thousand grain weight.

در کلاس های خیلی متحمل (<0/5)، متحمل (0/5-0/75)، نیمه متحمل (0/75-1/0) و نیمه حساس (1/0-1/25) به خشکی، متوسط مصرف نیتروژن به ترتیب ۶۱، ۵۷، ۴۳ و ۱۷ کیلوگرم در هکتار بود و بر این اساس کلاس حساس به خشکی (>1/5) مربوط به تیمار شاهد (No) بود. بر اساس این نتایج، اولاً با مصرف نیتروژن حساسیت به تنش خشکی (SSI) کاهش و عملکرد دانه به طور معنی داری افزایش یافت (شکل ۴). از سوی دیگر، بر اساس رابطه بین نیتروژن مصرفی و شاخص SSI (SSI = -0.0152N + 1.5505; R² = 0.95**)، به ازای مصرف هر ۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، شاخص SSI به طور میانگین

دانه و تعداد سنبله در واحد سطح، شاخص SSI انتخاب و تشریح می شوند.

الف) شاخص SSI

به منظور بررسی دقیق تر رابطه بین شاخص حساسیت به تنش خشکی (SSI) و عملکرد دانه، از رگرسیون خطی بین این دو عامل با توجه ۷۰٪ تغییر عملکرد دانه (R² = 0.70**) استفاده شد (شکل ۴). بر اساس این معادله با افزایش هر ۰/۲۵ واحد به شاخص SSI (در محدوده منحنی)، عملکرد دانه به میزان ۲۸۴ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت. از تفکیک این منحنی به پنج کلاس تعریف شده (Fisher and Maurer, 1978) آشکار شد که



شکل ۴- رابطه بین شاخص SSI با عملکرد دانه گندم دیم
 Fig. 4. Relationship between stress susceptibility index (SSI) and grain yield of dryland wheat

۵۹) کیلوگرم نیتروژن در هکتار)، تشابه زیادی با میانگین نیاز نیتروژنی ژنوتیپ‌ها در محدوده تولید حداکثر و اقتصادی (۵۷ کیلوگرم در هکتار) دارد (جدول ۳). این مقادیر بسیار نزدیک به میانگین نیاز غذایی اعلام شده برای گندم دیم (۶۰ کیلوگرم در هکتار) در سال‌های نزدیک به نرمال از نظر بارندگی (جدول ۱) در منطقه مورد مطالعه است، که این موضوع می‌تواند تأییدی بر صحت نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر باشد.

کاهش اثر تنش خشکی با مصرف بهینه نیتروژن در اقلیم‌های مختلف با بارندگی‌های متفاوت برای گندم دیم مورد تأیید سایرین نیز بوده است (Nilson and Halvorson, 1991; Jones et al., 1993)، اما باید توجه کرد که مانند سایر عوامل محدود کننده رشد، حد بهینه

۰/۱۵ کاهش و عملکرد دانه به میزان ۱۷۱ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. بیشترین شاخص SSI و کمترین عملکرد دانه در شرایط بدون مصرف نیتروژن و مطلوب‌ترین عملکردها (بیش از ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) در مصرف ۵۷ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در دو کلاس خیلی متحمل و متحمل به دست آمد که نشانگر کاهش حساسیت به تنش خشکی در اثر مصرف نیتروژن در این محدوده بود.

نتایج حاصله نشان داد که با مدیریت بهینه مصرف نیتروژن می‌توان وضعیت گندم دیم را از کلاس‌های حساس به تنش خشکی با عملکرد پائین به کلاس‌های متحمل به تنش خشکی با عملکردهای بالا سوق داد. مقدار نیتروژن مصرفی برای عملکردهای مطلوب در کلاس‌های خیلی متحمل و متحمل

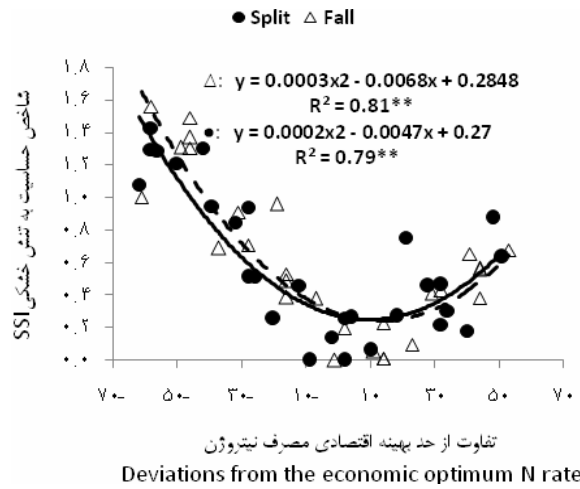
۰/۱۹، ۰/۳۳، ۰/۱۲، ۰/۰۳، ۰/۱۳، ۰/۱۸ و ۰/۱۴ بود. اگرچه تفاوت‌های جزئی بین اعداد به دست آمده مشاهده می‌شود، اما همه آن‌ها در کلاس خیلی متحمل قرار دارند (شکل ۶).

مطابق این شاخص در محدوده اقتصادی مصرف نیتروژن ($ND = 0$) بدون توجه به مصرف پائیزی و یا تقسیطی آن، تمامی ژنوتیپ‌ها در مطلوب‌ترین شرایط نسبی از نظر تحمل به تنش خشکی ناشی از مدیریت بهینه مصرف نیتروژن و بیشترین عملکرد دانه قرار گرفتند (شکل‌های ۵ و ۶). این موضوع اهمیت میزان بهینه مصرف نیتروژن را در مقایسه با زمان مصرف آن (تقسیمی و یا پائیزی) برای تولید اقتصادی گندم دیم نشان می‌دهد.

ضرایب همبستگی بین شاخص SSI با محتوای آب نسبی برگ پرچم ($r = -0.78^{**}$)، محتوای نسبی کلروفیل برگ (SPAD) در مراحل مختلف رشد ($r = -0.41^{*}$ الی $r = -0.70^{**}$)، کارایی مصرف آب ($r = -0.65^{**}$) و عملکرد دانه ($r = -0.90^{**}$) می‌تواند دلیل این امر را آشکار کند (جدول ۴). پژوهشگران معتقدند مصرف بهینه نیتروژن با رفع شرایط تنش رطوبتی به دلیل افزایش جذب آب و کاهش مقاومت روزنه‌ای، پتانسیل آب برگ را افزایش داده و باعث ورود دی‌اکسید کربن و حفظ فتوسنتز (محتوی کلروفیل بالا)، کاهش دمای پوشش گیاهی و تولید بیشتر عملکرد دانه شود (Ayeneh et al., 2002; Halse et al., 2006;

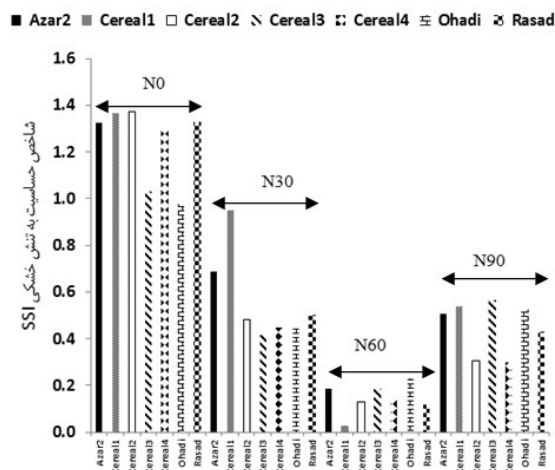
مصرف نیتروژن در کاهش این اثر در شرایط دیم، به اثر متقابل آن با عوامل دیگری (ژنوتیپ، اقلیم و خاک) از جمله میزان بارندگی و نیتروژن قابل استفاده در خاک دارد (Lopez-Bellido et al., 2001). آسنگ و ترنر (Asseng and Turner, 2005) معتقدند مصرف بهینه نیتروژن در شرایط تنش رطوبتی علاوه بر رشد شاخسار، باعث رشد سریع ریشه ژنوتیپ‌های گندم دیم نیز شده و موجب می‌شود قبل از خشک شدن لایه‌های سطحی خاک در دوره زایشی که گیاه حساسیت بالایی به تنش خشکی دارد، ریشه از این محدوده بحرانی عبور کرده و از اعماق پائین‌تر پروفیل خاک، آب مورد نیاز خود را جذب کند که این امر موجب افزایش کارایی مصرف آب (WUE) و تولید بیشتر می‌شود. عبدالهی قهره‌کنند و همکاران (Abdollahi Gharakand et al., 2012) نیز با مطالعه بر روی پنج ژنوتیپ گندم دیم در منطقه مورد آزمایش این موضوع را تأیید کردند.

بررسی رابطه بین شاخص SSI با تفاوت از مصرف بهینه اقتصادی نیتروژن (ND) با میانگین توجیه ۸۰٪ ($R^2 = 0.80^{**}$) نشان داد، در مقدار بهینه مصرف اقتصادی نیتروژن ($ND = 0$)، میانگین این شاخص ۰/۱۵ بود که در کلاس خیلی متحمل (۰-۰/۵) قرار داشت (شکل ۵). در این مقدار ($ND=0$)، متوسط شاخص SSI برای ژنوتیپ‌های آذر ۲، اوحدی، رصد، Cereal 1، Cereal 2، Cereal 3 و Cereal 4 به ترتیب



شکل ۵- رابطه بین تفاوت نیتروژن مصرفی از حد بهینه اقتصادی (DN) با شاخص SSI در مصرف تقسیطی و پائیزی نیتروژن

Fig. 5. Relationship between deviations from the economic optimum N rates (DN) and SSI index in nitrogen split and fall applications



شکل ۶- مقادیر شاخص حساسیت به تنش خشکی (SSI) برای ژنوتیپ‌های گندم در سطوح مختلف مصرف نیتروژن

Fig. 6. Stress susceptibility index (SSI) values for wheat genotypes in different levels of nitrogen

بادام زمینی و آفتابگردان نیز مورد تأیید است (Karrou and Maranville, 1995; Nautiyal et al., 2002; Saneoka et al., 2004; Gholinezhad et al., 2009).

(Anjum et al., 2011). بهبود شرایط فتوستنز و وضعیت آبی گیاه با مصرف متعادل نیتروژن در شرایط تنش رطوبتی در گیاهان مختلف مانند گندم، چمن،

جدول ۴- ضرایب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های حساسیت به تنش خشکی (SSI) و میانگین حسابی (MP) با برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی مرتبط با تحمل به تنش خشکی در گندم دیم
 Table 4. Pearson correlation coefficient between stress susceptibility index (SSI) and mean productivity (MP) with some morpho-physiological traits related to drought tolerance in dryland wheat

Index	شاخص	Mean of all treatments													
		SPAD _T	SPAD _S	SPAD _H	SPAD _F	SPAD _M	LAI	FLWW W.	FLSW	FLWIW	FLDW	RWC	NY	% ¹⁵ Ndff	NUE
SSI	شاخص حساسیت به تنش خشکی	-0.70**	-0.56**	-0.43**	-0.51**	-0.53**	-0.44**	-0.46**	-0.52**	-0.46**	-0.45**	-0.78**	-0.82**	-0.64**	-0.14 ^{ns}
MP	میانگین حسابی	0.44**	0.41*	0.22 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.35*	0.27 ^{ns}	0.37*	0.27 ^{ns}	0.30 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.77**	0.54**	0.39**
SSI	شاخص حساسیت به تنش خشکی	NSI _S	NSI _F	GY	S/m ²	TKW	S/S	PLH	PH	WUE _G	WUE _B	NSR	WRW	DRW	RV
MP	میانگین حسابی	-0.51**	-0.76**	-0.90**	-0.68**	-0.04 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	-0.41**	-0.22 ^{ns}	-0.65**	-0.67**	-0.40*	-0.35*	-0.35*	-0.32 ^{ns}
		0.34 ^{ns}	0.74**	0.94**	0.70**	0.51**	-0.28 ^{ns}	0.77**	0.68**	0.80**	0.79**	0.05 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	0.09 ^{ns}
		Genotype													
		Genotype	ژنوتیپ	FLA	LAI	RWC	SLW	SPAD _T	SPAD _F	NSR	WRW	DRW	RV	NSI	NUE
SSI	شاخص حساسیت به تنش خشکی	Azar 2	آذر ۲	-0.62**	-0.67**	-0.33 ^{ns}	0.61**	-0.84**	-0.37*	-0.66**	-0.46**	-0.46**	-0.68**	-0.91**	-0.73**
		Cereal 1	ژنوتیپ ۱	-0.60**	-0.90**	0.21 ^{ns}	0.50**	-0.79**	-0.46**	-0.44*	-0.48**	-0.32 ^{ns}	-0.40*	-0.67**	-0.82**
		Cereal 2	ژنوتیپ ۲	-0.79**	-0.14 ^{ns}	-0.43*	-0.08	-0.77**	-0.95**	-0.70**	-0.77**	-0.76**	-0.67**	-0.71**	-0.83**
		Cereal 3	ژنوتیپ ۳	0.24 ^{ns}	-0.19 ^{ns}	-0.88**	-0.64**	-0.40*	-0.31 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	-0.18 ^{ns}	0.01 ^{ns}	-0.58**	-0.54**
		Cereal 4	ژنوتیپ ۴	-0.37*	-0.46**	0.11 ^{ns}	-0.62**	-0.59**	-0.78**	-0.84**	-0.76**	-0.76**	-0.77**	-0.72**	-0.80**
		Ohadi	اوحدی	-0.06 ^{ns}	-0.43**	-0.02 ^{ns}	0.31	-0.52**	0.13 ^{ns}	-0.42*	0.01 ^{ns}	-0.47	0.25 ^{ns}	-0.63**	-0.44*
		Resad	رصد	-0.14	-0.39*	-0.06 ^{ns}	-0.37*	-0.83**	-0.82**	-0.70**	-0.41*	-0.66**	-0.41*	-0.83**	-0.85**
MP	میانگین حسابی	Azar 2	آذر ۲	0.84**	0.29 ^{ns}	0.80**	-0.41*	0.74**	0.39*	0.01 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	0.45**	0.08 ^{ns}	0.60**	0.66**
		Cereal 1	ژنوتیپ ۱	0.62**	0.91**	-0.15 ^{ns}	-0.48**	0.76**	0.42*	0.38*	0.37*	0.28 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.69**	0.83**
		Cereal 2	ژنوتیپ ۲	0.78**	0.06 ^{ns}	0.57**	0.11 ^{ns}	0.77**	0.96**	0.36*	0.42*	0.36*	0.65**	0.72**	0.76**
		Cereal 3	ژنوتیپ ۳	-0.03 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.80**	0.47**	0.34 ^{ns}	0.56**	-0.08 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.73**	0.72**
		Cereal 4	ژنوتیپ ۴	0.43*	0.20 ^{ns}	0.41*	0.92**	0.64**	0.85**	0.40*	0.02 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.33 ^{ns}	0.73**	0.87**
		Ohadi	اوحدی	0.07 ^{ns}	0.55**	-0.02 ^{ns}	-0.29 ^{ns}	0.55**	-0.01 ^{ns}	0.55**	0.10 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	0.62**	0.72**	0.50**
		Resad	رصد	0.18 ^{ns}	0.37*	0.09 ^{ns}	0.41*	0.82**	0.84**	0.79**	0.35*	0.39*	0.64**	0.83**	0.87**

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

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.
 ns: غیر معنی‌دار.

شاخص کلروفیل برگ برگ پرچم در مراحل پنجه‌زنی، ساقه رفتن، سنبله‌دهی، گلدهی و شیرینی شدن (SPAD_T, SPAD_S, SPAD_H, SPAD_F and SPAD_M: Flag leaf chlorophyll content in tillering, shooting, heading, flowering and milking stages respectively). شاخص سطح برگ (LAI: Leaf area index)، وزن مرطوب برگ پرچم (FLWW: Flag leaf wet weight)، وزن اشباع برگ پرچم (FLW: Flag leaf weter weight)، وزن پژمرده برگ پرچم (FLWIW: Flag leaf wilting weight)، وزن خشک برگ پرچم (FLDW: Flag leaf dry weight)، محتوای آب نسبی برگ (RWC: Relative water content)، عملکرد نیتروژن (NY: Nitrogen yield)، نیتروژن مشتق شده از کود (%Ndff: Nitrogen derived from fertilizer)، کارایی مصرف نیتروژن (NUE: Nitrogen use efficiency)، شاخص تنش نیتروژن در مراحل ساقه رفتن و گلدهی (NSI_S & NSI_F: Nitrogen stress index in shooting and flowering respectively)، عملکرد دانه (GY: Grain yield)، تعداد سنبله در واحد سطح (S/m²: Spike numbers per m²)، تعداد دانه در سنبله (S/S: Seed number per spike)، وزن هزار دانه (TKW: Thousand kernel weight)، ارتفاع بوته (PLH: Plant height)، طول پدانکل (PH: Peduncle height)، کارایی مصرف آب برای عملکرد دانه و بیولوژیک (WUE_G & WUE_B: Water use efficiency for grain and biological yield respectively)، تعداد ریشه طوقه‌ای (NSR: Number of secondary root)، وزن تر ریشه (WRW: Wet root weight)، وزن خشک ریشه (DRW: Dry root weight)، حجم ریشه (RV: Root volume)، مساحت برگ پرچم (FLA: Flag leaf area) و وزن ویژه برگ (SLW: Specific leaf weight)

گرفتند. این موضوع نشان می‌دهد، مصرف نیتروژن در مقادیر کمتر از حد بهینه اقتصادی آن، در مصرف پائیزی تنش نسبتاً بیشتری را در مقایسه با روش تقسیطی ایجاد کرده است که این موضوع در مقادیر بیش از مصرف بهینه اقتصادی نیتروژن ($ND > 0$) تا حدودی عکس شده است (شکل ۵).

ارکولی و همکاران (Ercoli *et al.*, 2008) گزارش کردند که در سطوح مختلف تنش رطوبتی، مصرف بالای نیتروژن توانست اثر تنش خشکی بر گندم را در مقایسه با سایر سطوح نیتروژن (کم و نرمال) بیشتر کاهش دهد. عبدالهی قهره‌کنند و همکاران (Abdollahi Gharakand *et al.*, 2012) نیز در شرایط تنش خشکی شدید (بارندگی سالانه ۱۳۸ میلی‌متر)، مصرف نیتروژن تا سطح ۵۰ کیلوگرم در هکتار را موجب کاهش اثر تنش خشکی بر روی ژنوتیپ‌های گندم در مکان آزمایش حاضر گزارش کردند و در آن مصرف نیتروژن در دامنه ۵۰ الی ۹۰ کیلوگرم در هکتار تغییراتی در عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها ایجاد نکرد.

وجود تنش خشکی در هر دو مقادیر پائین ($ND < 0$) و بالای ($ND > 0$) مصرف اقتصادی مصرف نیتروژن کاملاً مشهود بود، اما شدت آن در ناحیه کمبود بیش از ناحیه بیش بود مصرف نیتروژن بود (شکل ۵). شاید بتوان گفت دلیل عمده اختلاف این نتایج در محدوده بالای مصرف نیتروژن، میزان بارندگی‌ها

در محدوده $ND > 0$ ، شاخص SSI در کلاس خیلی متحمل و متحمل ($SSI = 0/5 - 0/75$) قرار داشت و با افزایش هر ۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به طور میانگین ۰/۰۵ واحد افزایش و مطابق آن تحمل به تنش خشکی گیاه و عملکرد آن کاهش یافت (شکل ۵). شاخص SSI در محدوده $ND < 0$ ، تا کلاس‌های نیمه حساس ($SSI = 1/0 - 1/25$) و حساس ($SSI > 1/5$) افزایش یافت که این نشانگر وضعیت بسیار نامطلوب نسبی حساسیت به تنش خشکی ناشی از مصرف پائین نیتروژن در این محدوده است (Gorashi, 1990). در این محدوده ($ND < 0$) با کاهش هر ۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، در مصرف پائیزی و تقسیطی، شاخص SSI به ترتیب ۰/۲۶ و ۰/۱۸ واحد (به ترتیب معادل کاهش ۲۹۶ و ۲۰۵ کیلوگرم دانه در هکتار) افزایش یافت که این افزایش به طور متوسط ۴/۵ برابر ناحیه $ND > 0$ بود.

در مصرف پائیزی ۱۰-۱۱ و ۲۰-۱۱ کیلوگرم در هکتار کمتر از $ND = 0$ در کلاس خیلی متحمل و متحمل و از ۶۰-۲۱ کیلوگرم در هکتار کمتر از $ND = 0$ در کلاس‌های نیمه حساس ($SSI = 1 - 1/25$) تا حساس ($SSI > 1/5$) قرار گرفتند (شکل ۵). در مصرف تقسیطی در محدوده $ND < 0$ ، ۳۰-۳۱، ۴۰-۳۱، ۶۰-۴۱ کیلوگرم در هکتار کمتر از $ND = 0$ به ترتیب در کلاس‌های خیلی متحمل و متحمل، نیمه متحمل ($SSI = 0/75 - 1$) و نیمه حساس قرار

ژنوتیپ‌ها را به استثنای آذر ۲ و 1 Cereal می‌توان توصیه کرد، اما برای شرایط مقادیر بالای مصرف نیتروژن (N₉₀)، ژنوتیپ‌های Cereal 2، Cereal 4 و رصد از اولویت ویژه‌ای برخوردارند.

چنانچه مصرف نیتروژن بر اساس حد بهینه اقتصادی و یا نتایج پژوهش‌های پیشین اعمال شود، از تمامی ژنوتیپ‌ها به ویژه ارقام مورد تأیید موسسه تحقیقات کشاورزی دیم (رصد، اوحدی و آذر ۲) می‌توان استفاده کرد (شکل ۶). استان‌شیر و ناچسکو (Stanciu and Neacșu, 2008) علت این تفاوت‌ها را در ژنوتیپ‌های گندم، اختلاف موجود در خصوصیات ژنتیکی و ریشه‌ای گیاه، نوع پاسخ آن‌ها به کود نیتروژنی و اثر متقابل آن با آب قابل استفاده در خاک مطرح کردند. به نحوی که با مصرف بهینه نیتروژن، توانستند از شدت تنش خشکی بر ژنوتیپ‌ها در شرایط آبی ۲۵٪ و در شرایط دیم ۳۳٪ بکاهند. در پژوهش حاضر نیز مصرف مقادیر ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار توانست شدت تنش خشکی (شاخص SSI) را نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۵۵، ۸۸ و ۶۴٪ کاهش دهد که این نسبت‌ها معادل با افزایش به ترتیب ۸۱۰، ۱۳۶۲ و ۹۴۲ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه بود که بیشتر از اعداد به دست آمده از پژوهش استان‌شیر و ناچسکو (Stahiu and Neacsu, 2008) است (شکل ۶).

پژوهشگران دیگری نیز توانسته‌اند با مصرف

بود، زیرا نزدیک به ۸۰٪ نیتروژن مورد نیاز گیاه از طریق جریان توده‌ای و به همراه جذب آب برای گیاه تامین می‌شود (Johnston and Fowler, 1991) و اگر تنش رطوبتی شدیدی همانند شرایط پژوهش عبدالهی قره‌کنند و همکاران (Abdollahi Gharakand *et al.*, 2012) در محیط رخ دهد، از جذب نیتروژن و اثر آن بر گیاه به شدت کاسته می‌شود (Nielsen and Halvorson, 1991; Miranzadeh *et al.*, 2011) و گندم دیم از طریق سایر سازوکارها از جمله انتقال مجدد مواد برای تامین نیتروژن و هیدروکربن‌های مورد نیاز دانه، را تامین کرده و با تنش خشکی مقابله می‌کند. به طوری که گاهی بیش از ۸۰٪ از مواد انباشته شده در دانه از طریق این سازوکار از اندام‌های مسن‌تر گیاه تامین می‌شود (Palta *et al.*, 1994).

بررسی پاسخ ژنوتیپ‌ها به سطوح مختلف نیتروژن نشان داد (شکل ۶)، در تیمار شاهد (N₀)، متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها، اوحدی و Cereal 3 (کلاس نیمه متحمل)، در تیمار N₃₀، Cereal 2، Cereal 3، Cereal 4، رصد و اوحدی (کلاس خیلی متحمل)، در تیمار N₆₀ تمامی ژنوتیپ‌ها در کلاس خیلی متحمل و در تیمار N₉₀، Cereal 2، Cereal 4 و رصد (کلاس خیلی متحمل) بودند. با توجه به این نتایج و مشاهدات مزرعه‌ای در پژوهش حاضر، برای شرایط پائین مصرف نیتروژن (N₃₀) تمامی

SSI داشتند. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تنها برای ژنوتیپ Cereal 3، ارتباط این شاخص با هیچ کدام از صفات ریشه معنی دار نبود. رابطه شاخص SSI با دو صفت شاخص کلروفیل در مرحله پنجه‌زنی و کارایی مصرف نیتروژن برای تمامی ژنوتیپ‌ها منفی و معنی دار بود.

جالب این که در مرحله گلدهی این ارتباط برای شاخص کلروفیل در ژنوتیپ‌های Cereal 2، Cereal 4، بیشتر منفی شد اما برای ژنوتیپ‌های آذر ۲، Cereal 1، Cereal 3 و اوحدی این ارتباط با مرحله گلدهی که بیشتر مصادف با تنش‌های محیطی (خشکی و گرما) است، کاهش یافت و در رقم رصد این ارتباط در هر دو مرحله به طور معنی دار و نسبت بالایی وجود داشت (جدول ۴). علاوه بر این، در ژنوتیپ‌های Cereal 2، Cereal 4 و رصد همبستگی منفی و معنی دار بالایی بین شاخص SSI با صفات شاخص سطح برگ (LAI) یا مساحت برگ پرچم (FLA)، کارایی استفاده از نیتروژن (NUE) و شاخص تنش نیتروژن (NSI) وجود داشت. بنابراین، با توجه به دلایل یادشده می‌توان سه ژنوتیپ Cereal 2، Cereal 4 و رصد را جهت کاهش اثر تنش خشکی با مدیریت مصرف نیتروژن توصیه کرد.

پالتا و همکاران (Palta *et al.*, 1994) نیز انتخاب تیمارها را با معیار مرحله گلدهی و بعد از آن مناسب‌ترین زمان تشخیص از دیدگاه تنش خشکی اعلام کردند. تحقیقات آن‌ها نشان داد در این مرحله، تنش خشکی توانست ۵۷٪ از

بهینه نیتروژن و مدیریت این عنصر کلیدی در شرایط دیم، به دلایل متعددی از جمله جلوگیری از اضمحلال کلروفیل و ایجاد تعادل در مصرف آب گیاه، کاهش نسبی دما در سایه‌انداز جامعه گیاهی، شدت تنش رطوبتی را در ژنوتیپ‌های مختلف گندم کاهش داده و عملکرد آن‌را بهبود بخشند (Reynolds *et al.*, 2000; Ayeneh *et al.*, 2002; Wright *et al.*, 2004; Fitzgerald *et al.*, 2006; Lopes and Araus, 2006; Jepsen, 2010). در حالی که معبود پژوهشگرانی همچون سرخی‌الله و همکاران (Sorkhi Lalelou *et al.*, 2010) با انجام آزمایش‌های گلدانی گزارش کردند، در شرایط تنش رطوبتی، کاربرد نیتروژن خصوصیات کمی و کیفی گندم و تحمل به تنش خشکی آن را چندان تحت تاثیر قرار نداد. شاید بتوان گفت دلیل این امر انتخاب ارقام نامناسب برای این آزمایش بود، زیرا در چنین آزمایش‌هایی انتخاب ارقامی با دامنه پاسخ‌های متفاوت به نیتروژن، تنش رطوبتی و اثر متقابل آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

ضرایب همبستگی بین صفات مورفوفیزیولوژیک مرتبط با تنش خشکی با شاخص SSI مشخص کرد که در ژنوتیپ‌های آذر ۲، Cereal 2، Cereal 4 و اوحدی برای هر چهار صفت مربوط به ریشه (تعداد ریشه‌های بذری، وزن تر و خشک ریشه و حجم کل ریشه) همبستگی منفی و معنی‌داری با شاخص

(Keyvan, 2010; Yang and Miao, 2010) شاید همبستگی پائین شاخص SSI و RWC به ماهیت ارقام و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برمی‌گردد، زیرا سه ژنوتیپ از هفت ژنوتیپ به عنوان رقم نسبتاً متحمل به تنش‌های محیطی معرفی شده (رصد، اوحدی و آذر ۲) و چهار ژنوتیپ دیگر از بین لاین‌های مقدماتی به دلیل داشتن شرایط نسبی مناسب به عنوان رقم، انتخاب و به آزمایش‌های پیشرفته انتقال یافته است. با این وجود در سایر خصوصیات ژنوتیپ‌های یاد شده تفاوت‌های زیادی از نظر تحمل به تنش خشکی و نوع پاسخ به نیتروژن در پژوهش حاضر مشاهده شد.

ب) شاخص MP

شاخص میانگین حسابی یا بهره‌وری متوسط (MP) در بین شاخص‌های همسو با عملکرد دانه و دو جزء تعداد سنبله در واحد سطح و وزن هزاردانه بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با صفات یاد شده در هر دو شرایط مصرف پائیزی و تقسیطی نیتروژن داشت (شکل‌های ۲ و ۳). برخلاف شاخص SSI، افزایش مقدار شاخص MP باعث افزایش تحمل به تنش خشکی گندم دیم و افزایش عملکرد دانه آن شد (شکل‌های ۴ و ۷). سایر محققان نیز این تفاوت ساختاری را بین دو شاخص MP و SSI، همانند نتایج پژوهش حاضر گزارش کرده‌اند (Fisher and Maurer, 1978; Rosielle and Hamblin, 1981).

اسیمیلسیون (جذب CO₂ و فتوسنتز) و تولید را کاهش دهد، اما ژنوتیپ‌ها توانستند از طریق سازوکار انتقال مجدد ۳۶٪ از اثر تنش خشکی را جبران کنند. پژوهشگران دیگری از طریق مدیریت مصرف نیتروژن به دلیل تاثیر نیتروژن بر محتوی کلروفیل، سطح اندام فتوسنتز کننده، رشد و گسترش ریشه و تاثیر مثبت آن بر برخی اجزای عملکرد توانستند تحمل ارقام را در مقابل تنش خشکی افزایش و تولید گندم دیم را بهبود بخشند (Seligman et al., 1983; Eghdaie and Waines, 1996; Hafsi et al., 2007). نتایج این پژوهشگران با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر مطابقت نشان می‌دهد. در حالی که پژوهشگران معدودی نیز عکس این نتایج را مبنی بر اثر سوء مصرف نیتروژن بر تنش خشکی در گندم دیم مطرح کرده‌اند (vanHerwaarden et al., 1998; Miranzadeh et al., 2011). به نظر دلیل عمده این اختلاف نظرها را باید در تفاوت در سطح نیتروژن قابل استفاده در خاک و شدت تنش خشکی حاکم بر گندم دیم جستجو کرد.

لازم به ذکر است رابطه بین شاخص SSI و محتوی نسبی آب گیاه (RWC) در پژوهش حاضر به استثنای دو ژنوتیپ 2 Cereal و 3 Cereal در سایر ژنوتیپ‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۴)، در حالی که اغلب پژوهشگران از این رابطه به عنوان مهم‌ترین عامل شناسایی میزان و شدت تنش خشکی در انتخاب ژنوتیپ‌ها استفاده کردند

۲۷۲۷ کیلوگرم در هکتار به ترتیب مرز بین کلاس‌های کم - متوسط و متوسط - زیاد محاسبه شد. در مصرف پائیزی میانگین عملکردهای ۱۸۶۹ و ۲۶۷۲ کیلوگرم در هکتار با مقادیر مصرف ۲۵ و ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار این مرزها را مشخص کردند (شکل ۷).

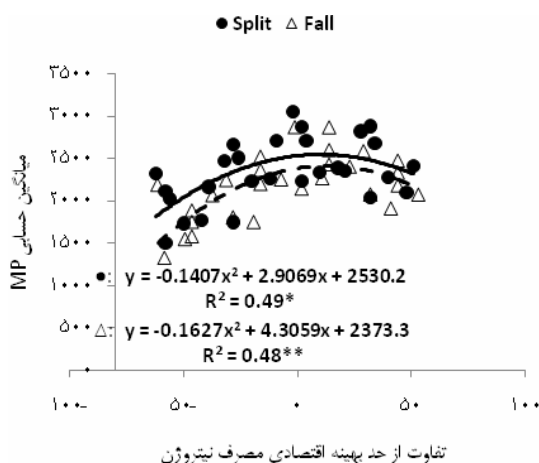
مقایسه این نتایج با نتایج به دست آمده از شاخص SSI نشان داد، برای دسترسی به عملکردهای معادل ۲۷۰۰ کیلوگرم در هکتار مورد تشخیص شاخص MP (متوسط مرز عملکردهای بالا)، مصرف حدود ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در شاخص SSI مورد نیاز است (شکل ۴)، اما در شاخص MP برای این منظور، مصرف نزدیک به ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار کافی خواهد بود که به نظر این پیش‌بینی دور از واقعیت است، زیرا نتایج پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد برای تولید عملکردهای بالا در گندم در مناطق سرد و نیمه‌سردسیر کشور که نزدیک به ۲۷۰۰ کیلوگرم در هکتار است (Feiziasl *et al.*, 2010)، مصرف ۶۰ الی ۶۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مورد نیاز است (فیضی‌اصل، گزارش‌های منتشر نشده) که این با کلاس‌بندی‌ها و پیش‌بینی‌های شاخص SSI کاملاً مطابقت دارد.

به نظر می‌رسد، شاخص MP در دامنه‌های پائین تر ($ND < 0$) به دلیل تفکیک نسبتاً خوب دو منحنی از یک‌دیگر، کارایی لازم را در تشخیص تنش خشکی ناشی از مدیریت مصرف

بررسی رابطه بین شاخص MP با DN در دو سطح مصرف پائیزی و تقسیطی نیتروژن با میانگین ضریب تبیین ۰/۴۸ نشان داد که این روابط از نوع درجه دوم (افزایشی - کاهش) است. در $ND = 0$ ، مصرف تقسیطی نیتروژن ۱۵۷ کیلوگرم در هکتار (۰/۷) عملکرد دانه بیشتری را در مقایسه با مصرف پائیزی تولید کرد که این تفاوت در مقادیر پائین‌تر از آن ($ND < 0$) به ۳۲۰ کیلوگرم در هکتار (۰/۲۱) نیز رسید، اما در مقادیر بالاتر ($ND > 0$) به دلیل نزدیک‌تر شدن دو منحنی به یک‌دیگر این تفاوت کاهش یافته و حداکثر به ۱۴۴ کیلوگرم در هکتار رسید. به طور میانگین این شاخص در مصرف تقسیطی ۱۷۴ کیلوگرم در هکتار عملکرد بیشتری را از مصرف پائیزی داشت و این روش را مناسب‌ترین روش مصرف نیتروژن در تمامی سطوح ND برای کاهش اثر تنش خشکی ناشی از مدیریت مصرف نیتروژن معرفی کرد (شکل ۷)، در حالی که شاخص SSI در $ND < 0$ مصرف پائیزی و در $ND > 0$ مصرف تقسیطی را توصیه کرد. از سوی دیگر ضریب تبیین ND با شاخص SSI و MP به ترتیب ۰/۸۰ و ۰/۴۹ بود که توجیه بهتر این رابطه را در شاخص SSI نشان می‌دهد.

به منظور هدفمند کردن شاخص MP، با استفاده از انحراف معیار داده‌ها، عملکرد دانه به سه گروه کم، متوسط و زیاد تفکیک شد. در روش تقسیطی، مصرف ۲۸ و ۴۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با عملکردهای ۱۹۸۰ و

اثر مصرف بهینه نیتروژن بر کاهش اثر تنش خشکی ...



شکل ۷- رابطه بین تفاوت نیتروژن مصرفی از حد بهینه اقتصادی (DN) با شاخص MP در مصرف تقسیمی و پائیزی نیتروژن

Fig. 7. Relationship between deviations from the economic optimum N rates (DN) and MP index in nitrogen split and fall applications

این مقدار دقیقاً معادل با میزان نیتروژن مورد نیاز برای تولید عملکرد یادشده از طریق شاخص SSI بود (شکل ۴). فرناندز (Fernandez, 1992) نیز معتقد است شاخص صفات مختلف نشان داد، با وجود همبستگی مثبت و معنی دار این شاخص با عملکرد دانه ($r = 0.94^{**}$) و دو جزء تعداد سنبله در واحد سطح ($r = 0.70^{**}$) و وزن هزار دانه ($r = 0.51^{**}$)، با صفات مرتبط با تنش خشکی همانند محتوی نسبی کلروفیل در مراحل سنبله‌دهی تا شیری شدن دانه ($r = 0.22^{ns}$)، شاخص‌های رطوبتی برگ مانند وزن تر ($r = 0.27^{ns}$) و خشک برگ پرچم ($r = 0.30^{ns}$) و RWC ($r = 0.26^{ns}$) و همچنین صفات ریشه از قبیل تعداد ریشه بذری ($r = 0.05^{ns}$)، وزن خشک ($r = -0.09^{ns}$) و تر

نیتروژن داشته باشد، زیرا برای تولید عملکردهای پائین (۱۹۲۵ کیلوگرم در هکتار) از طریق این شاخص، مصرف میانگین ۲۷ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مورد نیاز بود که برای عملکردهای پائین تر مناسب تر از عملکردهای بالاتر است، اما شنایدر و همکاران (Schneider *et al.*, 1997) این شاخص را برای تیمارهایی که هم در شرایط نرمال و هم در شرایط تنش عملکرد خوبی دارند، مناسب توصیه کردند. شاید عمده اختلاف این اظهارات به دلیل تفاوت در خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، نوع آزمایش‌ها (مزرعه‌ای و گلخانه‌ای) و همچنین شدت تنش خشکی ایجاد شده بوده است (Fernandez, 1992; Fathi *et al.*, 1997).

بررسی ضرایب همبستگی شاخص MP با

معتقدند علاوه بر محتوی کلروفیل و کارایی استفاده از نیتروژن بالا به ویژه در مراحل گلدهی و بعد از آن، محتوی نسبی آب (RWC) برگ پرچم، خصوصیات ریشه نیز از ضروریات تحمل به تنش خشکی ژنوتیپ‌های گندم به شمار می‌روند که هرگز نمی‌توان در شناسایی تحمل به تنش خشکی آن‌ها را نادیده گرفت (Keyvan, 2010; Arjenaki et al., 2012).

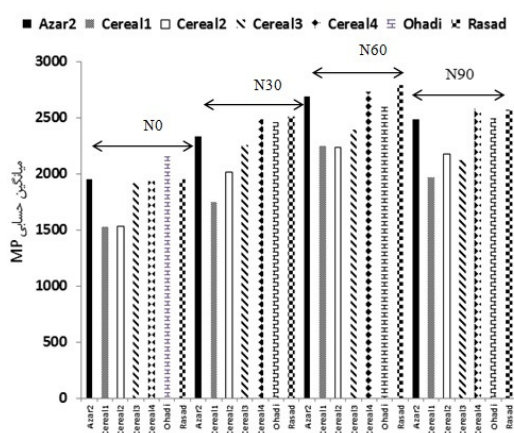
بنابر مطالب یادشده از بین دو شاخص MP و SSI، شاخص SSI با توجه به همبستگی‌های معنی‌دار با عملکرد دانه، تعداد سنبله در واحد سطح، محتوی نسبی کلروفیل در مراحل مختلف رشد، شاخص تنش نیتروژن، صفات مثبت ریشه و شاخص‌های رطوبتی برگ پرچم (جدول ۴) مناسب‌ترین شاخص برای بیان اثر متقابل نیتروژن و تنش خشکی در گندم دیم معرفی می‌شود.

بررسی پاسخ ژنوتیپ‌ها به سطوح مختلف نیتروژن نشان داد (شکل ۸)، متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص MP در تیمار N_0 ، اوحدی، رصد، آذر ۲ و Cereal 4 در تیمار N_{30} ، اوحدی، رصد، Cereal 4، در تیمار N_{60} ، که به طور متوسط ۱۳٪ از حد بهینه اقتصادی مصرف نیتروژن بیشتر بود (جدول ۳). تمامی ژنوتیپ‌ها در مقایسه با سایر تیمارهای نیتروژنی وضعیت مطلوب‌تری داشتند ولی در بین ژنوتیپ‌ها رصد، Cereal 4، آذر ۲ و اوحدی به ترتیب بیشترین شاخص MP را داشتند و در تیمار N_{90} ، Cereal 4، رصد، اوحدی و آذر ۲

ریشه ($r = -0/08^{ns}$) و حجم آن ($r = 0/09^{ns}$) همبستگی معنی‌داری ندارد. این در حالی است که شاخص SSI علاوه بر همبستگی بالا با عملکرد دانه ($r = -0/90^{**}$) و تعداد سنبله در واحد سطح ($r = -0/68^{**}$) به عنوان مهم‌ترین جزء عملکرد، با اغلب صفات یادشده و همچنین شاخص تنش نیتروژن در مراحل رویشی ($r = -0/51^{**}$) و زایشی ($r = -0/76^{**}$) که از معیارهای مهم بررسی تنش خشکی مرتبط با مدیریت نیتروژن به شمار می‌روند، همبستگی معنی‌داری دارد (جدول ۴).

اگرچه به‌نژادگران معتقدند در تشخیص مناسب‌ترین شاخص تنش خشکی همبستگی بالای آن با عملکرد دانه می‌تواند معیار مناسبی بشمار رود، اما این اصل نباید معیارهای مهم اثبات شده تنش رطوبتی را نادیده بگیرد. انتخاب معیارهای مناسب در چنین شرایطی نگرستن به وجود اثر متقابل بین کود نیتروژنی و تنش خشکی در گندم زمستانه است (Fan and Li, 2001). بر همین اساس بوجوویک و اسـتوـجانویک (Bojovic and Stojanovic, 2005) با بررسی محتوی کلروفیل در گندم گزارش کردند که این صفت تحت تاثیر شرایط تغذیه‌ای و تنش رطوبتی گیاه قرار دارد و به شرط تامین کافی سایر عناصر از جمله فسفر و پتاسیم، شدیداً تحت تاثیر کود نیتروژنی قرار می‌گیرد و ژنوتیپ‌هایی که دارای این ویژگی هستند، تحمل بالایی به تنش خشکی دارند. برخی دیگر

اثر مصرف بهینه نیتروژن بر کاهش اثر تنش خشکی ...



شکل ۸- مقادیر شاخص میانگین حسابی (MP) برای ژنوتیپ‌های گندم در سطوح مختلف مصرف نیتروژن

Fig. 8. Mean productivity index (MP) values for wheat genotypes in different levels of nitrogen

انتخابی در سطوح مختلف نیتروژن نشان می‌دهد. در حالی که این ژنوتیپ علاوه بر همبستگی‌های بالا با صفات مختلف مشترک با ژنوتیپ‌های انتخابی در هر دو شاخص MP و با توجه به این که رقم شاهد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در آزمایش‌های یکنواخت سراسری در مناطق سرد و نیمه سرد رقم آذر ۲ است، در نتیجه داشتن عملکرد و تحمل به خشکی عمومی بالاتر از این رقم یکی از شروط اساسی انتخاب لاین‌ها و ژنوتیپ‌های Cereal 2 و Cereal 4 بوده است. بنابراین مجدداً به نظر می‌رسد، شاخص MP همان طوری که برای شناسایی سطوح مختلف نیتروژن دقت لازم را نداشت، در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی نیز نمی‌تواند شاخص مناسبی محسوب شود و بهتر است توصیه‌های شاخص SSI در این خصوص مد نظر قرار بگیرد.

متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند (شکل ۸). مقایسه این نتایج با نتایج شاخص SSI، حذف کلی ژنوتیپ Cereal 2 را از ژنوتیپ‌های SSI، با محتوی نسبی کلروفیل در هر دو مرحله پنجه‌زنی و گلدهی، محتوی نسبی آب برگ، مساحت برگ پرچم و تمامی مشخصات مورد اشاره ریشه، همبستگی معنی‌داری نشان داد که در این خصوص بیشترین همبستگی‌ها را با محتوی نسبی کلروفیل در مرحله گلدهی و صفات ریشه در بین ژنوتیپ‌ها به خود اختصاص داد (جدول ۴). از سوی دیگر شاخص SSI در سطوح مختلف مصرف نیتروژن ژنوتیپ Cereal 2 را در حد Cereal 4 و مطلوب‌تر از آذر ۲ شناسایی کرد (شکل ۶)، اما از طریق شاخص MP تحمل به تنش خشکی ژنوتیپ Cereal 2 در حد آذر ۲ و کمتر از Cereal 4 بود.

نرمال) مصرف پائیزی مناسب‌ترین روش انتخاب شد. برای تولید عملکردهای بالاتر (تقریباً بیش از ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) مصرف ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و برای عملکردهای پائین‌تر (کمتر از ۱۹۰۰ کیلوگرم در هکتار) مصرف ۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مناسب تشخیص داده شد و در نهایت به منظور کاهش اثر تنش خشکی از طریق مدیریت مصرف نیتروژن بر روی گندم دیم سه ژنوتیپ Cereal 2، Cereal 4 و رصد معرفی شد.

در مجموع نتایج در شرایط این آزمایش نشان داد که بین تنش نیتروژن و تنش خشکی در گندم دیم اثر متقابل وجود دارد که با مصرف نیتروژن می‌توان این اثر را تعدیل کرد و باعث افزایش عملکرد دانه گندم دیم شد. مناسب‌ترین شاخص تحمل به تنش خشکی برای تشخیص اثر متقابل نیتروژن و تنش خشکی، شاخص SSI تعیین شد و با استفاده از این شاخص برای مقادیر پائین‌تر از حد بهینه اقتصادی مصرف نیتروژن ($ND < 0$)، مصرف تقسیمی و برای مقادیر بالاتر از آن (مثلاً برای شرایط آبیاری تکمیلی و یا بارندگی‌های بیش از

References

- Abdi, H., and Williams, L. J. 2010.** Principal Component Analysis. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics. 2: 433-459.
- Abdollahi Gharakand, J., Hashemi- Majd, K., Mosavi, S. B., Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., and Karimi, E. 2012.** Effects of nitrogen application on dry land wheat roots and shoot. Greener Journal of Agricultural Sciences 2(5): 188-194.
- Acevedo, E., Silva, P., and Silva, H. 2009.** Wheat growth and physiology. pp. 1-31. In: Curtis, B. C., Rajaram, S. and Gómez Macpherson, H. (eds.). Bread Wheat Improvement and Production. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 603 pp.
- Ali Ehyaei, M. 1999.** Description of Soil Method Analysis. 1024. Department of Agriculture, Soil Water Research Institute Vol.2, Tehran, Iran. 112 pp. (in Persian).
- Anjum, S. A., Xie, X., Wang, L., Saleem, M. F., Man, C. and Lei, W. 2011.** Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research 6(9): 2026-2032.
- Antep, S. 1997.** Evaluation of some chemical of soil nitrogen available based on 15 nitrogen technique. Communications in Soil Science and Plant analysis 28: 537- 550.

- Arjenaki, F. G., Jabbari, R., and Morshedi, A. 2012.** Evaluation of drought stress on relative water content, chlorophyll content and mineral elements of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *International Journal of Agricultural and Crop Science* 4(11): 726-729.
- Asseng, S., and Turner, N. C. 2005.** A simulation analysis of water use efficiency of rain fed wheat. pp. 43-52. In: *Proceedings of a Coordinated Research Project; Nutrient and Water Management Practices for Increasing Crop Production in Rainfed Arid/Semi-Arid Areas.* Printed by the IAEA in Austria.
- Ayeneh, A., Van Ginkel, M., Reynolds, M. P., and Ammar, K. 2002.** Comparison of leaf, spike, peduncle, and canopy temperature depression in wheat under heat stress. *Field Crops Research* 79: 173-184.
- Barber, S. A. 1995.** *Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach.* John Wiley & Sons, New York, USA. 414 pp.
- Barnabas, B., Jager, K., and Feher, A. 2008.** The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plan, Cell and Environment* 31: 11–38.
- Bojovic, B., and Stojanovic, J. 2005.** Chlorophyll and carotenoid content in wheat cultivars as a function of mineral nutrition. *Archives of Biological Science Belgrade* 57(4): 283-290.
- Choukan, R., Taherkhani, T., Ghannadha, M. R., and Khodarahmi, M. 2006.** Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 8(1): 79-89 (in Persian).
- Colwell, J. D. 1994.** *Estimating fertilizer requirements: a quantitative approach.* CAB International, Wallingford, Oxon, UK. 262 pp.
- Edalat, M. 2005.** Effect of wheat - lentil and wheat - fallow and nitrogen on yield and yield components of two dryland wheat cultivars Bajghah condition. MSc. Thesis, College of Agriculture, University of Shiraz, Shiraz, Iran. 105 pp.
- Ehdaie, B. and Waines, J. G. 1996.** Genetic variation for contribution of pre-anthesis assimilation to grain yield in spring wheat. *Journal of Genetics and Breeding.* 50: 48-56.
- Ercoli, L., Lulli, L., Mariotti, M., Masoni, A., Arduini, I. 2008.** Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability. *European Journal of Agronomy* 28:138–147.
- Fan, X. L., and Li, Y. K. 2001.** Effect of drought stress and drought tolerance heredity on nitrogen efficiency of winter wheat. *Journal of Plant Nutrition* 92: 62-63.

- Fathi, G., Mcdonald, G., and Lance, R. C. M. 1997.** Effects of post-anthesis water stress on the yield and grain protein concentration of barley grown at the two level of nitrogen. Australian Journal of Agricultural Research 48: 67-80.
- Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Amri, A., Ansari, Y., Mousavi, S. B., and Ahmadpour Chenar, M. 2010.** Analysis of yield stability of wheat genotypes using new Crop Properties Balance Index (CPBI) method. Notulae Botanicae Horti Agro. Cluj-Napoca 38(1): 223-228.
- Feiziasl, V., Kasraei, R., Moghaddam, M., and Valizadeh, G. R. 2004.** Investigation on uptake limitation and nutrient deficiency diagnosis at applied phosphorus and zinc fertilizers by different methods in Sardari wheat. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 11: 23-33 (in Persian).
- Feiziasl, V. and Valizadeh, G. R. 2003.** The effects of nitrogen rate and application times on wheat yield under dryland farming conditions . Iranian Journal of Soil Water Science 17: 29-38 (in Persian).
- Fernandez, G. C. J. 1992.** Effective selection criteria for assessing stress tolerance. pp. 257-270. In: Kuo, C. G. (ed.), Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. AVRDC, Shanbua, Taiwan.
- Fischer, R. A., and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: grain yield response. Australian Journal of Agricultural Research 29: 897-912.
- Fitzgerald, G. J., Rodriguez, D., Christensen, L. K., Belford, R., Sadras, V. O., Clarke, T. R. 2006.** Spectral and thermal sensing for nitrogen and water status in rainfed and irrigated wheat environments. Precision Agricultural 7 (4): 233-248.
- Fowler, D. B., and Brydon, J. 1989.** No-till winter wheat production on the Canadian prairies: Placement of urea and ammonium nitrate fertilizers. Agronomy Journal 81: 518-524.
- Gauer, L. E., Grant, C. A., Gehl, D. T., and Bailey, D. L.. 1992.** Effects of nitrogen fertilization on grain protein content, nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency of six spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in relation to estimated moisture supply. Canadian Journal of Plant Science 72: 235-241.
- Gorashi A. M. 1990.** Response of wheat to nitrogen and phosphorus in Eastern Sudan. Rachis, Barley and Wheat Newsletter. 9(2): 40-41.
- Hafsi M., Akhter, J., and Monneveux, P. 2007.** Leaf senescence and carbon isotope discrimination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under severe drought conditions. Cereal Research Communications 35: 71-80.

- Halse, N. J., Greenwood, E. A. N., Lapins, P., and Boundy, C. A. P. 2006.** An analysis of the effects of nitrogen deficiency on the growth and yield of a Western Australian wheat crop. *Australian Journal of Agricultural Research* 20(6): 987-998.
- Howell, T. A. 1990.** Relationships between crop production and transpiration, evapotranspiration, and irrigation. pp. 391-434. In: Stewart, B. A., and Nielsen, D. R. (eds.) *Irrigation of Agricultural Crops*. Agronomy Monograph 30. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI., USA.
- Jepsen, D. R. 2010.** Nitrogen management and variety selection for dryland production of hard red winter wheat in northeastern Oregon. A Master of Science Thesis, Oregon State University, Oregon, USA. 97 pp.
- Johnston, A. M., and Fowler, D. B.. 1991.** No-till winter wheat production: response to spring applied nitrogen fertilizer form and placement. *Agronomy Journal* 83: 722-728.
- Jones, M., Mathys, G., and Rijks, D. 1993.** The Agrometeorology of rainfed barley-based farming systems. International Symposium, Tunis, 6-10 March, 1989. pp. 272-288.
- Karrou, M., and Maranville, J. W. 1995.** Response of wheat cultivars to different soil nitrogen and moisture regimes: III. Leaf water content, conductance, and photosynthesis. *Journal of Plant Nutrition* 18(4): 777-791.
- Keyvan, S. 2010.** The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *Journal of Animal and Plant Sciences* 8(3): 1051- 1060.
- Lin, C. S., Binns, M. R., Lefkovitch, L. P. 1986.** Stability analysis: Where do we stand? *Crop Science* 26: 894-900.
- Lopes, M. S., and Araus, J. L. 2006.** Nitrogen source and water regime effects on durum wheat photosynthesis and stable carbon and nitrogen isotope composition. *Physiologia Plantarum* 126(3): 435-445.
- López-Bellido, L., López-Bellido, R. J., Castell, J. E., and López-Bellido, F. J. 2001.** Effects of long-term tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on bread-making quality of hardred spring wheat. *Field Crops Research* 72: 197-210.
- Lopez-Bellido, L., Lopez-bellido, R. L., and Lopez-Bellido, F. J. 2006.** Fertilizer nitrogen efficiency in durum wheat under rainfed mediterranean conditions: effect of split application. *Agronomy Journal* 98: 55-62.

- Miranzadeh, H., Emam, Y., Pilesjö, P., and Seyyedi, H. 2011.** Water use efficiency of four dryland wheat cultivars under different levels of nitrogen fertilization. *Journal of Agricultural Science and Technology* 13: 843-854.
- Mohammadi, M., Karimizadeh, R., and Naghavim M. R. 2009.** Selection of bread wheat genotypes against heat and drought tolerance based on chlorophyll content and stem reserves. *Journal of Agricultural and Social Science* 5 (5): 119–122.
- Naraki, F., Vaezi, B., and Bavei, V. 2010.** Estimation of recommendable nitrogen rate for quantity and quality properties improvement of three new durum wheat lines in dry-land conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science* 41(3): 583-595 (in Persian).
- Nielsen, D. C., and Halvorson, A. D. 1991.** Nitrogen fertility influence on water stress and yield of winter wheat. *Agronomy Journal* 83:1065-1070.
- Palta, J. A., Kobata, T., Turner, N. C., and Fillery, I. R. 1994.** Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influenced by postanthesis water deficits. *Crop Science* 34: 118-124.
- Prihar S. S., Sandhu, K. S., Singh, M., Verma, H. N., and Singh, R. 1989.** Response of dryland wheat to small supplemental irrigation and fertilize nitrogen in submontane Punjab. *Fertilizer Research* 21: 23-28.
- Reynolds, M. P., Delgado, M. I., Gutierrez-Rodriguez, B. M., and Larque-Saavedra, A. 2000.** Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment. I. Genetic diversity and crop productivity. *Field Crops Research* 66: 37–50.
- Rosille A.A. and J. Hambilin. 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Sci.* 21: 43-46.
- Ryan, J., Pala, M., Masri, S., Singh, M., and Harris, H. 2008.** Rainfed wheat-based rotations under Mediterranean conditions: Crop sequences, nitrogen fertilization, and stubble grazing in relation to grain and straw quality. *European Journal of Agronomy* 28: 112-118.
- Saneoka, H., Moghaieb, R. E. A., Premachandra, G. S., and Fujita, K. 2004.** Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris* Huds. *Environment and Experimental Botany* 52: 131-138.
- Sawyer J. E., Barker, D. W., and Lundvall, J. P. 2004.** Using chlorophyll meter Readings to determine N application rates for corn. Presented at the 2004 North Central Extension-Industry Soil Fertility Conference, November 17-18, 2004, Des Moines, IA.

- Schneider, K. A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriquez, B., Acosta-Gallegos, J. A., Ramirez-Vallejo, P., Wassimi, N., and Kelly, J. D. 1997.** Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science* 37(1): 43-50.
- Seligman, N. G., Loomis, R. S., Burke, J., and Abshahi, A. E. 1983.** Nitrogen nutrition and canopy temperature in field-grown spring wheat. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 101: 691-697.
- Seyed Ghiasi, M. F. 1991.** Detailed soil surveys and land calcification for Maragheh Dryland Agricultural Research Station. Agricultural Research Center of East Azarbaijan, Tabriz, Iran. 27 pp.
- Sorkhi Lalelou, F., Shakiba, M. R., Dabbagh Mohammadi-Nassab, A., and Mohammadi, S. A. 2010.** Effects of drought stress and nitrogen nutrition on seed yield and proline content in bread and durum wheat genotypes. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 8(3and 4): 857-860.
- Stanciu, G., and Neacsu, A. 2008.** Remove from marked records effects of genotype, nitrogen fertilizer and water stress on mixing parameters in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Romanian Agricultural Research* 25: 29-35.
- Taliei, A. S., and Haghparast, R. 1999.** Effect of different nitrogen levels on yield and nutrient uptake (N, P and K) in promising dryland wheat cultivars. *Seed and Plant* 15 (2): 198-209 (in Persian).
- Tanaka, D. L., Jacobsen, J. S., and Bauder, J. W. 1990.** Nutrient content and water use efficiency of spring wheat as affected by fertilizer and placement. pp. 152-158. Proceeding of the Great Plains Soil Fertility Conference, 6-7 March, Denver, Colorado, USA.
- Tilling, K., Leary, G. J. O., Ferwerda, J. G., Jones, S. D., Fitzgerald, C. J., Rodriguez, D., and Belford, R. 2007.** Remote sensing of nitrogen and water stress in wheat. *Field Crops Research* 104: 77-85.
- Van Herwaarden, A. F., Farquhar, G. D., Angus, J. F., Richards, R. A., and Howe, G. N. 1998.** Haying-off, the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertiliser. I. Biomass, grain yield, and water use. *Australian Journal of Agricultural Research* 49: 1067-1081.
- Wright, D. L., Rasmussen, V. P., Ramsey, R. D., Bakerand, D. J., Ellsworth, J. W. 2004.** Canopy reflectance estimation of wheat nitrogen content for grain protein management. *GIScience and Remote Sensing* 41(4): 287-300.

- Yang F., and Miao, L. F. 2010.** Adaptive responses to progressive drought stress in two poplar species originating from different altitudes. *Silva Fennica* 44: 23-37.
- Yazdani, A. A., Ghadiri and, H., Kazemeini, S. A. 2012.** Interaction effects between weed, sowing rate, and N splitting on yield of dryland wheat. *Journal of Plant Protection* 26(2): 152-161.