تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰
۲۹۳-۳۰۷
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.2822.1733

مقاله پژوهشی

بررسی عملکرد و شاخص‌های تحمل به خشکی در کشت خالص و مخلوط ژنوتیپ‌های گندم نان تحت تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن

سارا حسینی[۱]، علی بهپوری[۲*]، احسان بیژن‌زاده[۳]،محمدصادق تقی‌زاده[۲]، منوچهر دستفال[۴]

۱. کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز
۲. استادیار گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز
۳. دانشیار گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز
۴. عضو هیئت‌علمی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، داراب

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۲۷

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات تنش آبی و کود نیتروژن بر عملکرد و شاخص‌های تحمل به خشکی در سامانه کشت مخلوط ژنوتیپ‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.)، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به اجرا درآمد. رژیم رطوبتی در دو سطح مطلوب (بر اساس نیاز آبی گیاه تا پایان دوره رشدی، آبیاری انجام شد.) و تنش آبی (قطع آبیاری آخر فصل از مرحله گلدهی به بعد انجام گردید که برای اعمال تنش آبی پس از ۵۰ درصد ظهور سنبله‌ها آبیاری تا برداشت قطع گردید.)، سامانه کشت در چهار سطح شامل کشت خالص (رقم سیروان، خلیل و لاین (S-92-19)) و کشت مخلوط (رقم سیروان+ رقم خلیل+ لاین S-92-19)، فاکتور کود نیتروژن نیز در سه سطح (۱۲۰،۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) در این آزمایش مورداستفاده قرار گرفتند. بر اساس نتایج این آزمایش، حداکثر مقدار عملکرد دانه در شرایط تأمین رطوبت مطلوب به میزان ۷۷۴۲/۷ کیلوگرم در هکتار در سطوح کودی ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در کشت مخلوط ژنوتیپ‌ها به دست آمد. عملکرد دانه در کشت مخلوط ژنوتیپ‌ها نسبت به کشت خالص هر یک از ارقام خلیل، سیروان و لاین S-92-19 به‌ترتیب ۱۰، ۱۹ و ۲۵ درصد افزایش یافت. همچنین شاخص‌های تحمل به خشکی MP، GMP، STI، YSI و YI محاسبه شدند و به‌منظور ادغام شاخص‌های تحمل به خشکی از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (روش SIIG) استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مخلوط ژنوتیپ‌ها متحمل‌ترین سیستم کشت در شرایط تنش شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: **ارقام گندم، تنش آبی، شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل، کشت مخلوط ردیفی**

مقدمه

تقاضای جهانی برای گندم و سایر غلات پیوسته در حال افزایش است، بنابراین تداوم افزایش تولید گندم به‌منظور تأمین غذا اهمیت زیادی دارد (Curtis and Halford, 2014). متوسط کاهش عملکرد محصولات کشاورزی در جهان به دلایل مختلف ۱۷ درصد است که می‌تواند به‌واسطه خشکی تا بیش از ۷۰ درصد افزایش یابد. بخش زیادی از اراضی زیر کشت گندم در ایران، در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته و هرساله درنتیجه بروز تنش آبی، عملکرد گندم کاهش چشم‌گیری می‌یابد. پژوهشگران زیادی معتقدند که حساس‌ترین مرحله نمو گندم به تنش آبی از مرحله گلدهی شروع شده و کمبود آب پس از گلدهی از طریق آسیب رساندن به فرآیند پر شدن دانه می‌تواند بر میانگین وزن هزار دانه تأثیر منفی بگذارد (Abid et al., 2016). مقدار نیتروژن موجود در خاک نیز یکی از مهم‌ترین

* نگارنده پاسخگو: علی بهپوری. پست الکترونیک: behpoori@shirazu.ac.ir

عواملی است که بر رشد و عملکرد گیاه تأثیرگذار است (Salvagiotti et al., 2009). مطالعات نشان می‌دهند افزایش نیتروژن منجر به افزایش عملکرد دانه به میزان ۴۵ درصد در مقایسه با تیمار مصرف کمتر نیتروژن گردید (Enayatgholizadeh et al., 2011). از طرف دیگر، استفاده بی‌رویه از این عنصر اثرات منفی بر عملکرد و اجزاء عملکرد می‌گذارد. در بسیاری از موارد، کاربرد زیاده از حد نیتروژن از سنتز نشاسته در اندام‌های هوایی ممانعت به عمل آورده و سطح قند ریشه را کاهش می‌دهد، بنابراین رشد ریشه و به دنبال آن رشد اندام‌های هوایی به‌واسطه‌ی مصرف بیش از نیاز نیتروژن محدود می‌شود (Wang et al., 2008). کشت مخلوط ردیفی از روش‌های چندکشتی است که به‌منظور متنوع ساختن کشت در ابعاد مکانی و زمانی استفاده می‌شود (Ariel et al., 2013). امروزه نشان داده شده است که این سیستم کشت می‌تواند منجر به بهبود عملکرد شود (Mirdoraghi et al., 2019). کشت مخلوط ارقام گندم دارای خصوصیات مورفولوژیکی متفاوت، می‌تواند به‌عنوان یک روش اکولوژیک پایدار با کاهش رقابت علف هرز و افزایش عملکرد گیاه زراعی در اکوسیستم‌های کشاورزی به کار رود (Afzali et al., 2018).

انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، با استفاده از شاخص‌هایی مانند شاخص میانگین بهره‌وری (MP[1]) (Rosielle and Hamblin, 1987)، شاخص‌های میانگین هندسی بهره‌وری (GMP[2]) و تحمل به تنش (STI[3]) (Fernandez, 1992)، شاخص پایداری عملکرد (YSI[4]) (Bouslama and Schapaugh, 1984) و شاخص عملکرد (YI[5]) (Gavuzzi, 1997) انجام می‌گیرد.

فرناندز (Fernandez, 1992) در بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش و بدون تنش آبی گزارش نمود که می‌توان تظاهر گیاهان نسبت به دو محیط را به شرح زیر به چهار گروه تقسیم کرد: گروه A: ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط عملکرد زیادی دارند. گروه B: ژنوتیپ‌هایی که عملکرد آن‌ها فقط در محیط مطلوب زیادتر می‌شود. گروه C: ژنوتیپ‌هایی که در محیط تنش از عملکرد نسبتاً زیادی برخوردار هستند. گروه D: ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط دارای عملکرد پایین‌تر هستند. همچنین وی گزارش نمود مناسب‌ترین معیار برای تنش آبی معیاری است که قادر به تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها باشد.

برای انتخاب بهترین ارقام استفاده از یک صفت به‌تنهایی ممکن است منجر به نتایج مطلوبی نباشد، ولی با ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از صفات مختلف و یا در نظر گرفتن شاخص‌های مختلف، احتمال پیدا کردن ژنوتیپ‌های ایده‌آل افزایش می‌یابد؛ بنابراین از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG[6]) به‌منظور ارزیابی بهتر ژنوتیپ‌ها استفاده شد. این شاخص برای اولین بار برای ادغام شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی (Zali et al., 2016) و روش‌های مختلف تجزیه پایداری (Zali et al., 2015)، برای افزایش کارایی انتخاب ژنوتیپ‌های ایده‌آل استفاده شده است. ازجمله مزیت‌های این روش آن است که معیارها یا صفات به‌کاررفته برای مقایسه می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند (Zali et al., 2016). گندم دارای رقم‌های متنوع با تحمل متفاوت در برابر تنش آبی است، بنابراین لازم است برای استفاده بهتر از آب موجود در هر منطقه، ژنوتیپ‌هایی که با حداقل آبیاری دارای عملکرد بالاتر و سازگارتری هستند مشخص شوند. هدف از این آزمایش ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد کشت مخلوط تعدادی از ژنوتیپ‌های گندم نان در مقایسه با کشت خالص آن‌ها در سطوح مختلف کود نیتروژن در هر دو شرایط مطلوب و تنش آبی، تعیین کارایی شاخص‌های تحمل به خشکی، یافتن ژنوتیپ‌های متحمل به تنش آبی پایان فصل و همچنین معرفی جامع‌ترین شاخص تحمل به خشکی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب واقع در هفت کیلومتری شهرستان داراب با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۵ دقیقه و با ارتفاع ۱۱۸۰ متر از سطح دریا و میانگین دمای سالانه ۲۲/۵

[1]. Mean Productivity
[2]. Geometric Mean Productivity
[3]. Stress Tolerance Index
[4]. Yield Stability Index
[5]. Yield Index
[6]. Selection Index of Ideal Genotype

درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر در سال انجام گردید. آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد به‌نحوی‌که رژیم آبیاری به‌عنوان کرت‌های اصلی و دو عامل نیتروژن و سیستم کشت به‌صورت فاکتوریل و به‌عنوان فاکتورهای فرعی در آزمایش قرار داده شدند. فاکتورهای آزمایش عبارت بودند از: رژیم آبیاری در دو سطح (a_1: شاهد) آبیاری مطلوب و (a_2: تنش آبی) قطع آبیاری از اواخر مرحله گل‌دهی تا رسیدن فیزیولوژیک بود. میزان نیاز آبی برای هر کرت بر اساس ظرفیت زراعی مزرعه (۲۴/۵٪ وزنی) محاسبه شد (Daneshmand et al., 2006). در این روش ابتدا قطعه زمینی به مساحت ۲ مترمربع مشخص شد و به شکل حوضچه درآمد. سپس این حوضچه به‌طور سنگین آبیاری شد و بر روی آن پلاستیک پوشانده شد. بعد از قطع آبیاری و فروکش کردن آب، در فواصل زمانی هر ۱۲ ساعت یک‌بار از عمق ۰ تا ۱ متر توسعه ریشه، نمونه‌برداری کرده و مقدار رطوبت آن به روش وزنی اندازه‌گیری شد، این عمل آن‌قدر ادامه داده شد تا سرانجام مقدار رطوبت در دو اندازه-گیری پشت سر هم تقریباً با هم برابر شدند. این مقدار رطوبت بر اساس رابطه‌ی زیر برابر با رطوبت ظرفیت زراعی است (Daneshmand et al., 2006).

مقدار رطوبت در ظرفیت زراعی=

۱۰۰× (وزن خاک خشک/(وزن خاک خشک –وزن خاک‌تر)) [۱]

تیمار کود نیتروژن در سه سطح شامل: ۳۳٪ کمتر از میزان توصیه‌شده ۸۰ kg ha^{-1} (B_1)، میزان توصیه‌شده بر اساس آزمون خاک ۱۲۰ kg ha^{-1} (B_2) و ۳۳٪ بیشتر از میزان توصیه‌شده ۱۶۰ kg ha^{-1} (B_3) و تیمار سیستم‌های کشت در چهار سطح (با استفاده از سه ژنوتیپ گندم نان با دوره‌های رسیدگی متفاوت) شامل: کشت خالص رقم سیروان (متوسطرس) (C1)، کشت خالص لاین (S-92-19 زودرس) (C2)، کشت خالص رقم خلیل (دیررس) (C3) و کشت مخلوط سه‌تایی با نسبت‌های برابر (۱:۱:۱) (رقم سیروان+رقم خلیل+لاین (S-92-19C4))، به‌طور هم‌زمان در مزرعه کشت شدند. در این آزمایش رژیم آبیاری در کرت‌های اصلی قرار گرفت و فاکتورهای نیتروژن و سیستم کشت به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. پیش از اجرای آزمایش از خاک مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مشخص شد (جدول ۱). کشت قبلی زمین آزمایش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به کاشت جو اختصاص داشت و پس از برداشت محصول در فصل تابستان، به‌صورت آیش باقی مانده بود. بافت خاک از نوع سیلتی لومی بود. ارقام گندم در تاریخ ۸ آذرماه ۱۳۹۶ کشت شدند.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

Table1. Physicochemical characteristics of the soil depths of 0 to 30 cm

هدایت الکتریکی Ec	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	نیتروژن کل N	کربن آلی OC	فسفر P	پتاسیم K	pH
ds.m^{-1}	----------%----------					--------mg.kg^{-1}---------		
1.15	18.76	40.16	41.08	0.16	0.7	65	120	7.85

عملیات تهیه بستر کاشت شامل شخم با گاوآهن برگردان دار، دیسک و لولر قبل از کشت انجام شد. سپس اقدام به آماده‌سازی پلات‌های آزمایشی در ابعاد ۳×۲ مترمربع شد. بذرها در ردیف‌هایی به فاصله ۳۰ سانتی‌متری و در عمق یک سانتی‌متری خاک، با فاصله ۳ سانتی‌متر روی ردیف کشت شدند و تراکم ۴۵۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. فاصله کرت‌های فرعی ۰/۵ متر و کرت‌های اصلی از یکدیگر ۱ متر در نظر گرفته شد. با توجه به اختلاف وزن هزار دانه ارقام، میزان بذر مصرفی هر رقم متفاوت بود، میانگین میزان بذر مصرفی ۲۰۵ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین بلوک‌ها نیز در فاصله ۲ متری از یکدیگر قرار گرفتند. برای اعمال تنش آبی پس از ۵۰ درصد ظهور سنبله‌ها آبیاری تا برداشت قطع گردید، اما در تیمارهای مطلوب تا پایان دوره رشدی، آبیاری انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت صورت گرفت. آبیاری برای تمام کرت‌ها تا مرحله گلدهی به‌صورت یکسان و با توجه به کاربرد کود نیتروژن و حلالیت زیاد آن به‌منظور جلوگیری از ورود زه‌آب کرت‌ها به یکدیگر و از یک بلوک به بلوک دیگر،

کرت‌ها به‌صورت مجزا و به‌وسیله شیلنگ، به‌صورت نشتی انجام شد و در انتهای مرحله گلدهی آبیاری تیمارهای تنش آبی در کرت‌های تعیین‌شده قطع گردید. درمجموع برای تیمار آبیاری مطلوب ۱۰ دور آبیاری و در تیمار تنش آبی ۷ دور آبیاری صورت گرفت. در پایان فصل‌رشد در تاریخ ۲۲ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۷ هنگامی‌که کل بوته‌های مزرعه زرد شدند، تعداد ۳۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و اجزای عملکرد شامل تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. همچنین به‌منظور تعیین عملکرد دانه بعد از حذف ردیف‌های حاشیه و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای پلات‌های آزمایشی، بوته‌های وسط هر پلات در سطح یک مترمربع که به‌صورت دست‌نخورده باقی‌مانده بودند به‌صورت دستی از سطح خاک برداشت و بوته‌های برداشت‌شده از هر کرت، به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس به مدت ۴۸ ساعت در آون و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. عملکرد دانه و بیولوژیک در هر کرت آزمایش برحسب کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد.

برآورد شاخص‌های تحمل به تنش: به‌منظور ارزیابی ژنوتیپ‌ها و مقایسه شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی از روابط پیشنهادی (۲) تا (۶) استفاده شد.

$$MP = (YP + YS) / 2 \qquad [۲]$$

(Rosielle and Hamblin, 1987)

$$GMP = \sqrt{Yp \times Ys} \qquad [۳]$$

(Fernandez, 1992)

$$STI = (YS)(YP) /(YP)\ 2 \qquad [۴]$$

(Fernandez, 1992)

$$\text{Yield index (YI)} = YS / \overline{YS} \qquad [۵]$$

(Gavuzzi et al., 1997)

$$\text{Yield stability index } (\overline{YS}I) = \overline{YS}i / YPi \qquad [۶]$$

(Bouslama and Schapaugh, 1984)

که در این معادله‌ها، Yp[1]: عملکرد دانه در محیط بدون-تنش، Ys: عملکرد دانـه در محـیط دارای تنش، Ys: میانگین عملکرد دانـه همـه‌ی ژنوتیپ‌ها در محیط دارای تـنش، Yp: میـانگین عملکرد دانه همه‌ی ژنوتیپ‌هـا در محـیط مطلوب هستند.

به‌منظور ادغام شاخص‌های تحمل به خشکی مختلف از روش SIIG استفاده شد که نحوه محاسبه این شاخص به شرح ذیل است:

۱- تشکیل ماتریس داده‌ها: با توجه به تعداد ژنوتیپ‌ها و تعداد شاخص‌ها یا صفات مختلف موردبررسی، ماتریس داده‌ها به‌صورت زیر تشکیل می‌شود.

$$D = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nm} \end{bmatrix} \qquad [۷]$$

در این ماتریس x_{ij} مقدار شاخص (صفت) iام (i =1, 2,.. n) در رابطه با ژنوتیپ jام (j = 1, 2, …m) است.

۲- تبدیل ماتریس داده‌ها به یک ماتریس مطلوب: از رابطه ذیل برای مطلوب کردن داده‌ها استفاده می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}^2}} \qquad i = 1,\ldots, n. \qquad [۸]$$

ماتریس R به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1m} \\ R_{21} & R_{22} & \cdots & R_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{n1} & R_{n2} & \cdots & R_{nm} \end{bmatrix} \qquad [۹]$$

۳- پیدا کردن ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ غیر ایده‌آل (ضعیف): در این مرحله برای هر شاخص یا صفت به‌طور جداگانه، بهترین ژنوتیپ و ضعیف‌ترین انتخاب می‌شود.

۴- محاسبه فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ ضعیف: در این مرحله برای هر شاخص، فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (di+) و ژنوتیپ ضعیف (di-) به‌ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$\sqrt{\sum_{j=1}^{m} (r_{ij} - r_j^+)^2}\, i = 1, \ldots, n \qquad [۱۰]$$

$$\sqrt{\sum_{j=1}^{m} (r_{ij} - r_j^-)^2}\, i = 1, \ldots, n \qquad [۱۱]$$

در روابط فوق r_{ij} مقدار مطلوب شاخص (صفت) iام (i = 1, 2, … n) در رابطه با ژنوتیپj ام (j = 1, 2, …m) است. r_i^+ و r_i^- به‌ترتیب مقدار مطلوب شده ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ ضعیف برای هر شاخص iام (i = 1, 2, … n) است. d_i^+ فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و d_i^- فاصله از ژنوتیپ ضعیف است.

[1]. Yield Potential

۵- محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG): در آخرین مرحله شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$SIIG = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} 0 \leq SIIIG \leq 1 i=1,2,\ldots m \quad [۱۲]$$

مقدار SIIG بین صفر و یک تغییر می‌کند و هر چه گزینه موردنظر به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر باشد مقدار SIIG آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود.

بر اساس این روش، بهترین ژنوتیپ، نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ‌های ایده‌آل و دورترین از ژنوتیپ‌های ضعیف است. لازم به توضیح است که در اینجا منظور از ژنوتیپ ایده ال هر یک از ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپی فرضی است که ازنظر صفات موردبررسی در بهترین حالت باشد. درحالی‌که ژنوتیپ ضعیف، ژنوتیپی فرضی است که ازنظر صفات موردبررسی در شرایط مطلوب نباشد (Zali et al., 2015, 2016) و در اینجا برای سیستم‌های کشت به کار رفته است.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و هم‌چنین مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد به روش برش دهی (slicing) و رسم جدول و شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

طبق نتایج تجزیه واریانس صفات موردبررسی (جدول ۲)، اثر متقابل تنش و نیتروژن ازلحاظ آماری بر همه صفات موردبررسی معنی‌دار بود. اثر متقابل تنش×سیستم کشت و اثر متقابل نیتروژن×سیستم کشت به‌جز وزن هزار دانه، همه صفات موردبررسی را تحت تأثیر معنی‌دار قرار داد. همچنین اثر متقابل سه‌گانه تنش×نیتروژن×سیستم‌کشت بر همه صفات موردبررسی معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه به روش برش‌دهی انجام گرفت (شکل ۱ و جدول ۳).

تعداد دانه در سنبله

مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه به روش برش دهی نشان داد که بیشترین تعداد دانه در سنبله در شرایط تنش آبی (۶۴/۹ عدد) توسط کشت خالص رقم خلیل در سطح کودی ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. همچنین بالا بودن تعداد دانه در سنبله متعلق به همین رقم (رقم خلیل) در مقادیر ۱۲۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار مصرف کود ازت مشاهده شد که به ترتیب برابر با ۵۷/۰۳ و ۶۳/۷۰ به دست آمد. به‌طورکلی با افزایش مصرف کود ازت از میزان ۸۰ تا ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار تعداد دانه در سنبله دارای یک روند افزایشی بود و علاوه بر این تیمار مخلوط ژنوتیپ‌ها نسبت به کشت خالص سه رقم دیگر دارای تعداد دانه در سنبله متوسطی بود که این میزان در حالت تنش آبی برابر با حدود ۴۷ دانه در سنبله بود (جدول ۳). کمترین تعداد دانه در حالت تنش آبی برابر با ۳۵/۰۵ و مربوط به کشت رقم سیروان با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود ازت بود. در حالت آبیاری مطلوب بیشترین تعداد دانه در سنبله برابر با ۶۴/۳۵ دانه در سنبله و مربوط به رقم خلیل بود که با میزان مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن حاصل گردید و کمترین تعداد دانه در سنبله (۳۲/۱۴ عدد) مربوط به کشت خالص رقم سیروان با همین مقدار کود نیتروژن (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری مطلوب حاصل گردید. (جدول ۳). متوسط تعداد دانه در سنبله در حالت آبیاری مطلوب برای سیستم کشت مخلوط در مقادیر مختلف کود نیتروژن حتی از شرایط تنش آبی نیز کمتر بوده و به‌طور متوسط برابر با ۴۱ دانه در هر سنبله به دست آمد. این در حالی است که مقایسه نتایج حاصل از عملکرد (شکل ۱) نشان می‌دهد که عملکرد تیمارهای کشت مخلوط در مقایسه با سایر تیمارهای کشت خالص بیشتر است و این به این معنا است که افزایش عملکرد لزوماً ارتباط خطی با افزایش تعداد دانه در سنبله ندارد. ایزانلو و همکاران (Izanloo et al., 2008) سه ژنوتیپ گندم Kukri، Excalibur و RAC875 را تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی موردبررسی قرار دادند. برخی از محققین گزارش نموده‌اند که با کاهش فراهم بودن میزان آب برای گیاه (تنش آبی) تعداد دانه در سنبله کاهش یافته است (Hosseinpanahi et al., 2011). البته در این حالت اعمال تنش‌های آبی به‌صورت کاهش میزان آبیاری گیاه از ابتدای رشد بوده و با تنش آبی انتهای فصل که در این تحقیق به کار گرفته شده متفاوت است. نتایج این آزمایش نشان می‌دهد با توجه به اینکه تنش آبی در این آزمایش بعد از مرحله گلدهی اعمال شده است، تعداد دانه تحت تأثیر تنش آبی قرار نگرفته است. به نظر می‌رسد، معنی‌دار نشدن اثر ساده تنش آبی بر تعداد دانه، به دلیل مشخص شدن تعداد دانه در مراحل اولیه رشد زایشی (قبل از اعمال تنش) باشد. تعداد دانه رقم

خلیل در هر دو شرایط محیطی تنش و آبیاری مطلوب نسبت به سایر ارقام موردمطالعه بالاترین تعداد دانه را تولید نموده است (جدول ۳). بااین‌وجود گزارش شده است که در شرایط تنش آبی، کشت مخلوط ژنوتیپ‌ها نسبت به کشت‌های خالص از تعداد دانه در سنبله بیشتری برخوردار است (Mirdoraghi et al., 2019). در مطالعه بر روی کشت مخلوط غلات گزارش شد که بیشترین تعداد دانه در سنبله در کشت مخلوط غلات با نسبت ۱:۱ و کمترین آن نیز در کشت‌های خالص به دست آمد (Faramarzi et al., 2015). نتایج این پژوهش نشان داد، به‌طورکلی در شرایط تنش افزایش سطح کودی به ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش تعداد دانه شده است، اگرچه در شرایط آبیاری مطلوب عکس این حالت اتفاق افتاده و افزایش کود نیتروژن به سطح ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار اثر منفی بر تعداد دانه داشته است (جدول ۳). با توجه به نتایج، نیتروژن تعداد دانه در سنبله را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در شرایط تنش گیاه حداکثر توان خود را جهت بقای خود به کار می‌گیرد تا اثر تنش را کاهش دهد، بنابراین وقتی تنش اعمال می‌شود، گیاه نسبت به شرایط مطلوب همان سطح نیتروژن، کارایی استفاده از نیتروژن را افزایش می‌دهد. همچنین وجود نیتروژن به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر تعداد دانه، اثر تنش را تعدیل می‌کند. تنش باعث تسریع فرآیند پیری گیاه می‌شود، بعد از اعمال تنش به دلیل پیری زودرس، انتقال مجدد با سرعت بیشتری انجام می‌شود. گزارش شده است، طی فرآیند پیری روند تجزیه مولکول‌های بزرگ به‌ویژه پروتئین‌ها، چربی‌ها و اسیدهای نوکلئیک به‌سرعت صورت گرفته و انتقال مواد از برگ‌های پیر به دانه و اندام‌های ذخیره‌ای انجام می‌شود (Gregeresen et al., 2008).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثرات تنش آبی، نیتروژن و سیستم کشت بر عملکرد، اجزای عملکرد ارقام گندم نان

Table 2. Analysis of variance of water stress, nitrogen and cropping system on yield and yield components

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد دانه در سنبله No. of seeds per spike	تعداد سنبله در مترمربع No. of spikes per m^2	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Replication	2	2.55^{ns}	1422.59^{ns}	10.58^{ns}	2576666.7*	110686.79^{ns}
تنش آبی Water stress(A)	1	18.04^{ns}	61250^{ns}	172.82**	32216346.4*	61274295.01**
خطای کرت اصلی Main Plot Error	2	3.59	4163.65	0.85	711529.3	91722.93
نیتروژن Nitrogen(B)	2	163.32**	40614.87**	20.09^{ns}	1168530.1^{ns}	8848757.63**
سیستم کشت Cultivation system (C)	3	1417.97**	173806.45**	170.41**	35825508**	8308457.05**
نیتروژن × تنش آبی A × B	2	29.23**	33252.87**	31.88*	4426081.9**	302744.01**
سیستم کشت×تنش آبی A ×C	3	160.41**	46034.33**	7.07^{ns}	2886739.9*	421035.61**
سیستم کشت×نیتروژن B × C	6	69.73**	48787.45**	14.44^{ns}	5370649.5**	1518597.55**
تنش آبی×نیتروژن×سیستم‌کشت A ×B × C	6	88.45**	27717.20**	44.08**	3522998.8**	156898.61**
خطای کرت‌های فرعی Subplot Error	44	5.14	2516.13	6.72	700742.5	47855.10
ضریب تغییرات CV (%)		*4.66*	*8.16*	*6.12*	*7.01*	*4.09*

ns، ** و *: به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ است.

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

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش آبی و کود نیتروژن در سیستم کشت بر اجزای عملکرد ارقام گندم نان (C1: کشت خالص رقم سیروان، C2: کشت خالص لاین S-92-19، C3: کشت خالص رقم خلیل، C4: کشت مخلوط ارقام با نسبت ۱:۱:۱)

Table 3. Comparison of the effect of triple interaction of water stress and nitrogen fertilizer on cropping system on yield components of bread wheat cultivars (C1: pure crop cultivar Sirvan, C2: pure crop line S-92-19, C3: pure crop cultivar Khalil, C4: Mixed crop cultivation with a ratio of 1: 1: 1)

Treatments / تیمارها						
رژیم آبیاری بعد از گلدهی Irrigation regimes after flowering	نیتروژن Nitrogen	سیستم کشت Cropping system	تعداد دانه در سنبله No. of seeds per spike	تعداد سنبله در مترمربع No. of spikes per m^2	وزن هزار دانه-1000 seed weight (g)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha^{-1})
آبیاری مطلوب Optimal irrigation	80 kg h^{-1}	C1	45.10^{b}	384.5^{c}	48^{a}	12536.1^{b}
		C2	51.65^{ab}	677.0^{a}	42^{b}	10066.6^{c}
		C3	55.00^{a}	518.0^{b}	47^{ab}	13200.0^{a}
		C4	39.80^{c}	703.5^{a}	43^{b}	13133.2^{a}
	120 kg h^{-1}	C1	32.14^{d}	556.5^{c}	53^{a}	12059.3^{b}
		C2	56.23^{b}	703.0^{bc}	38^{c}	9689.7^{c}
		C3	64.35^{a}	749.5^{b}	40^{c}	14235.6^{a}
		C4	39.95^{c}	910.0^{a}	45^{b}	14225.6^{a}
	160 kg h^{-1}	C1	49.10^{b}	595.5^{c}	49^{a}	12766.7^{b}
		C2	49.66^{b}	758.5^{b}	43^{b}	10912.0^{c}
		C3	62.43^{a}	505.5^{d}	40^{b}	13533.2^{ab}
		C4	44.40^{b}	960.0^{a}	43^{b}	14844.4^{a}
تنش آبی Water stress	80 kg h^{-1}	C1	43.00^{b}	499.0^{b}	45^{a}	11031.1^{b}
		C2	37.26^{c}	521.5^{b}	38^{b}	9866.8^{b}
		C3	63.70^{a}	458.5^{b}	41^{b}	10300.0^{b}
		C4	48.90^{b}	775.0^{a}	40^{b}	13964.4^{a}
	120 kg h^{-1}	C1	35.05^{c}	534.5^{c}	39^{ab}	10333.2^{b}
		C2	41.90^{b}	504.0^{c}	35^{b}	9600.0^{b}
		C3	57.03^{a}	672.5^{b}	41^{a}	14132.2^{a}
		C4	44.50^{b}	812.0^{a}	39^{ab}	13166.6^{a}
	160 kg h^{-1}	C1	42.20^{b}	649.0^{a}	42^{a}	12034.4^{a}
		C2	52.30^{b}	551.0^{b}	39^{a}	10177.8^{b}
		C3	64.90^{a}	397.0^{c}	41^{a}	9632.2^{b}
		C4	47.06^{b}	647.5^{a}	41^{a}	10919.6^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون برای هر تیمار، بر اساس آزمون LSD، در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

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

مشابه با این نتایج در مطالعه‌ای شهراسبی و همکاران (Shahrasbi et al., 2016) گزارش کردند که افزایش مقدار نیتروژن تا سطح ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، باعث افزایش تعداد دانه در سنبله گردیده است، درحالی‌که مقادیر بیشتر از آن باعث افت معنی‌دار تعداد دانه در سنبله شده است. نتایج نشان داد در اوایل رشد گیاه، هم‌زمان با افزایش نیتروژن، رشد رویشی گیاه افزایش می‌یابد. درنتیجه برگ‌های بیشتری در سایه‌انداز گیاه قرار گرفته و با سایه-

اندازی به‌جای اینکه تولیدکننده مواد فتوسنتزی باشند بیشتر نقش مصرف‌کننده دارند. با افزایش سن برگ از فتوسنتز نیز کاسته می‌شود که این امر به‌نوبه‌ی خود موجب کاهش انتقال مواد پرورده جهت پر شدن دانه می‌شود. توماس و همکاران، (Thomas et al., 2003) نتایج مشابهی در این زمینه گزارش نمودند. مطالعه‌ای که صابری و همکاران (Saberi et al., 2016) جهت بررسی تنش آبی انتهای فصل بر عملکرد و اجزای عملکرد انجام دادند. مشاهده نمودند، تنش آبی موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد می‌شود.

تعداد سنبله در واحد سطح

مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌جانبه تنش آبی و کود نیتروژن در سیستم‌های کشت نشان داد که بیشترین تعداد سنبله در مترمربع در شرایط آبیاری مطلوب (۹۶۰ عدد) مربوط به تیمار سیستم کشت مخلوط ژنوتیپ‌ها با سطح کودی ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین کمترین تعداد سنبله در مترمربع در شرایط تنش (۳۹۷ عدد) در کشت خالص رقم خلیل با سطح کودی ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۳). امام و همکاران (Emam et al., 2007) گزارش کردند که در شرایط مطلوب آبیاری عملکرد دانه بیشترین همبستگی را با تعداد دانه در بوته داشت ولی در شرایط خشکی بیشترین همبستگی عملکرد با تعداد سنبله در مترمربع بود. نورمند و همکاران (Nourmand et al., 2001) نیز با انجام آزمایشی گزارش نمودند که جهت افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی بهتر است ابتدا به نحوی تعداد سنبله در واحد سطح را افزایش داد. با افزایش سطح کود نیتروژن به میزان توصیه‌شده بر اساس آزمون خاک، تعداد سنبله در واحد سطح افزایش یافت، اما افزودن ۳۳٪ نیتروژن بیشتر از میزان توصیه‌شده، تعداد سنبله در واحد سطح را به‌صورت معنی‌داری کاهش داد (جدول ۳). عنایت‌قلی‌زاده و همکاران (Enayatgholizadeh et al., 2011) در تحقیقی گزارش نمودند که با افزایش مصرف نیتروژن در شرایط تنش آبی و عدم تنش آبی، تعداد سنبله افزایش یافت، ولی این افزایش در شرایط عدم تنش آبی قابل ملاحظه‌تر بود، به عقیده آن‌ها نیتروژن از طریق رشد گره‌های انشعاب و تقویت آن‌ها باعث افزایش تعداد سنبله بیشتری می‌شود. مشاهدات جدول ۳ نشان می‌دهد که به‌طورکلی در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی در تمامی سطوح مختلف کود نیتروژن کشت مخلوط ارقام مورداستفاده نسبت به کشت‌های خالص منجر به افزایش تعداد سنبله در واحد سطح شده است.

وزن هزار دانه

مقایسه میانگین این صفت نشان می‌دهد که در شرایط بدون تنش بیشترین وزن هزار دانه (۵۳ گرم) در کشت خالص رقم سیروان با سطح کودی ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۳). کمترین وزن هزار دانه (۳۵ گرم) نیز در تیمار کشت خالص لاین S-92-19 با سطح کودی ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار تحت شرایط تنش مشاهده شد. رقم سیروان که به‌طور بالقوه دارای وزن هزار دانه بالاتری نسبت به دو ژنوتیپ دیگر بود، بیشترین میانگین اثرمتقابل سه‌گانه را به خود اختصاص داد. گزارش شده است که تنش آبی در طی مرحله پر شدن دانه وزن دانه را کاهش می‌دهد. این امر احتمالاً به دلیل کاهش مواد پرورده برای رشد دانه‌ها است، کاهش تولید مواد پرورده نیز به کاهش فرآیند فتوسنتزی مربوط می‌شود که با بسته شدن روزنه‌ها مرتبط است (Dastfal et al., 2011). امام و همکاران (Emam et al., 2009) در مطالعه‌ای دیگر که در شرایط دیم انجام شد، نشان دادند که در اثر مصرف کود نیتروژن بیشتر افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در وزن دانه مشاهده نشد.

شهراسبی و همکاران (Shahrasbi et al., 2016) در مطالعه‌ی که در آن اثر تنش خشکی و کود نیتروژن بر عملکرد دانه و کارایی زراعی مصرف نیتروژن گندم رقم سیروان در شرایط استان فارس انجام‌گرفته، گزارش نمودند که در همه تیمارهای آبیاری، افزایش مصرف نیتروژن تا سطح ۸۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش وزن هزار دانه گردید و افزایش آن تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار، اثر معنی‌داری بر این صفت نداشت. نتایج حاصل از جدول شماره ۳ نشان داد که استفاده از کشت مخلوط ارقام منجر به افزایش وزن هزار دانه نسبت به تیمارهای کشت خالص نشد.

عملکرد بیولوژیک

بررسی اثر متقابل سه‌گانه نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک در سطح کودی ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار در سیستم کشت مخلوط ژنوتیپ‌ها

(۱۴۸۴۴/۴ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. کمترین عملکرد بیولوژیک (۹۶۰۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کشت خالص لاین S-92-19 با سطح کودی ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در حالت تنش آبی به دست آمد (جدول ۳). به نظر می‌رسد در شرایط آبیاری مطلوب سطح کودی ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش عملکرد بیولوژیک شده است؛ اما در شرایط تنش آبی، عدم وجود رطوبت کافی باعث کاهش عملکرد بیولوژیک نسبت به سطوح ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار شد (جدول ۳). در مطالعه‌ای نتایج به‌دست‌آمده نشان داد، در شرایط اعمال تنش آبی در مراحل گلدهی تا پر شدن دانه، افزایش نیتروژن بیشتر از میزان ۱۵۰ تا ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار منجر به کاهش عملکرد بیولوژیک گردید (Shahrasbi et al., 2016). نهایتاً کشت مخلوط ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش آبی و با استفاده از مقادیر کودی ۱۲۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بیشترین عملکرد بیولوژیک را در این آزمایش ایجاد کرد که از عوامل افزایش و موفقیت عملکرد دانه در سیستم کشت مخلوط است.

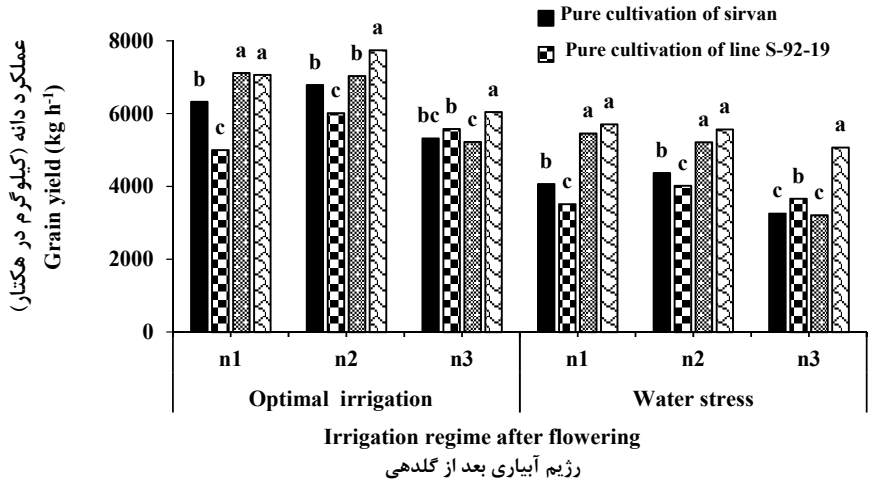
با توجه به نتایج این آزمایش، در شرایط تنش، کشت مخلوط ژنوتیپ‌ها با استفاده از پایین‌ترین سطح نیتروژن این آزمایش توانسته است به‌طور میانگین عملکرد بیولوژیک را ۲۵٪ نسبت به کشت خالص افزایش دهد (جدول ۳). علت افزایش میزان بیوماس در کشت‌های مخلوط کمتر بودن رقابت بین بوته‌ها به دلیل تفاوت‌های مورفولوژیکی در الگوی رشد مانند ارتفاع بوته و نحوه توزیع ریشه در خاک و همچنین تفاوت‌های فیزیولوژیکی مانند زمان رسیدگی ژنوتیپ‌های مختلف ذکر شده است. این نتایج در آزمایش میردورقی و همکاران (Mirdoraghi et al., 2019) نیز گزارش شده است. زارع و امام وردیان (Zare and Imam Vardian, 2012) گزارش کردند، تیمارهای مخلوط در مقایسه با تیمارهای خالص تا ۳۲ درصد برای عملکرد بیولوژیک برتری داشتند. امام و همکاران (Emam et al., 2009) نشان دادند که افزایش مصرف نیتروژن در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و دیم با افزایش عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه همراه بود. در آزمایش‌های دیگری گزارش شده است که افزایش میزان مصرف ازت منجر به کاهش عملکرد بیولوژیک می‌گردد. با توجه به اینکه، مصرف نیتروژن باعث افزایش رشد برگ‌ها می‌شود، با افزایش رشد برگ‌ها سطح تبخیر و تعرق در گیاه افزایش می‌یابد و درنتیجه گیاه با کمبود آب بیشتری مواجه می‌گردد که به‌نوبه خود باعث کاهش عملکرد بیولوژیک می‌گردد (Koocheki et al., 2010). مسلماً دلیل اختلاف در نتایج به‌دست‌آمده در آزمایش‌های مختلف به دلیل تفاوت در زمان اعمال تنش آبی و عوامل دیگری مانند واریته‌های مورداستفاده در آزمایش است.

عملکرد دانه

مقایسه میانگین اثر متقابل نیتروژن و تنش در سیستم کشت به روش برش دهی (slicing) انجام گرفت و نتایج حاصله نشان داد، بیشترین عملکرد دانه (۷۷۴۲/۷ کیلوگرم در هکتار) در کشت مخلوط ژنوتیپ‌ها تحت آبیاری مطلوب و سطح کودی ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل ۱). همچنین کمترین میزان عملکرد دانه در شرایط تنش (۳۲۰۹/۳) در کشت خالص رقم خلیل با سطح کودی ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. علاوه بر شرایط مطلوب مخلوط ژنوتیپ‌ها توانست در شرایط تنش آبی نیز عملکرد بهتری نسبت به کشت خالص هرکدام از ارقام و لاین مورداستفاده در آزمایش تولید نماید که این برتری با مصرف حداقل میزان مصرف کود در این آزمایش (۸۰ کیلوگرم در هکتار) در حداکثر میزان خود در حالت تنش آبی (۵۷۰۸ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (شکل ۱). میردورقی و همکاران در آزمایش مشابهی بر روی ارقام و لاین‌های گندم دوروم نشان دادند که مخلوط ارقام گندم دوروم نیز از توانایی بیشتری جهت تولید عملکرد دانه برخوردار است (Mirdoraghi et al., 2019). می‌توان بیان کرد که یکی از علت‌های افزایش عملکرد در مخلوط ژنوتیپ‌ها را به دلیل وجود الگوهای رشد و رسیدگی متفاوت ارقام دانست به‌طوری‌که رقابت درون‌گونه‌ای در این سیستم کشت کاهش می‌یابد. این کاهش رقابت می‌تواند نتیجه هریک از مکانیسم‌های زیر و یا تأثیر هر دو آن‌ها باشد. مکانیسم اول: ناهمگونی زمانی بین مراحل رشد و نمو ارقام، مکانیسم دوم: ایجاد شرایطی شبیه تراکم بوته کمتر که در پنجه‌زنی و دوره پر شدن دانه مؤثر است (Haghshenas et al., 2009).

تحقیقات نشان می‌دهد که سیستم‌های کشت مخلوط می‌توانند منجر به افزایش عملکرد دانه و کاهش محتوای نیتروژن شاخساره علف‌های هرز شوند (Faramarzi et al., 2015). زارع و امام وردیان (Zare and Imam Vardian, 2012) در آزمایشی نتایج افزایش عملکرد ارقام گندم را

درنتیجه اجـرای کشـت مخلوط ردیفی ارقام در مقایسه با کشت خالص نشان دادند. آن‌ها همچنین گزارش کردند که عملکرد دانه تیمارهای مخلوط در مقایسه با تیمارهای خالص تا ۵۵ درصد افزایش یافته است. کشـت مخلـوط ارقـام گنـدم کـه دارای خصوصیات مورفولوژیک متفاوتی باشند می‌تواند به‌عنوان یک روش اکولوژیک و پایدار کاهش میزان رقابت علف‌های هرز و افزایش عملکرد گیاه زراعی در اکوسیستم‌های کشاورزی به کار رود (Afzali Harsini et al., 2018). در مطالعه‌ای دیگر گزارش گردید که قطع آبیاری پس از گلدهی باعث کاهش معنی‌دار ۵۹ درصدی عملکرد دانه نسبت به شرایط آبیاری مطلوب شد (Halim et al., 2018).



شکل ۱. اثر متقابل تنش آبی و کود نیتروژن در سیستم‌های کشت بر عملکرد دانه در ارقام گندم نان (n1: ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ n2: ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ n3: ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار). ستون‌های با حروف مشترک در هر گروه دارای اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSDدر سطح احتمال ۱٪ نمی‌باشند.

Fig. 1. Interaction of water stress and nitrogen fertilizer in cropping systems on grain yield in bread wheat (80 kg N/ha: n1, 120 kg N/ha: n2, 160 kg N/ha: n3) (Columns with the same letter do not have a significant difference based on LSD test at 1% probability level).

شاخص‌های تحمل به تنش

مقادیر عملکرد دانه در شرایط مطلوب (YP) و عملکرد دانه در شرایط تنش (YS) و شاخص‌های ارزیابی خشکی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های موردمطالعه در (جدول ۴) آمده است. شاخص عملکرد (Gavuzzi, 1997) (YI)، ارقام را فقط بر اساس عملکرد در شرایط تنش رتبه‌بندی می‌کند، بر اساس شاخص عملکرد (YI) در این آزمایش، مخلوط ژنوتیپ‌ها دارای شاخص عملکرد بالاتری (۱/۲۳) در محیط تنش بود. کمترین مقدار شاخص عملکرد (YI) نیز (۰/۸۴) در لاین S-92-19 مشاهده شد (جدول ۴). شاخص YSI (Bouslama and Schapaugh, 1984) عملکرد را تحت شرایط تنش یک رقم وابسته به عملکرد غیر تنش آن ارزیابی می‌کند. نتایج نشان می‌دهد، بالاترین شاخص پایداری عملکرد با مقدار (۰/۷۸) توسط مخلوط ژنوتیپ‌ها به دست آمد، همچنین کم‌ترین مقدار شاخص پایداری عملکرد (YSI) با مقدار (۰/۶۳) مربوط به رقم سیروان بود (جدول ۴).

محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2010) گزارش کردند، که ژنوتیپ‌های دارای شاخص YSI بالا، عملکرد بالاتر در شرایط تنش و عملکرد کمتر در شرایط آبیاری کامل دارند. در شاخص میانگین بهره‌وری (MP) (Rosielle and Hamblin, 1987)، که متوسط تولید یک رقم را در دو محیط تنش و مطلوب نشان می‌دهد، مخلوط ژنوتیپ‌ها با میانگین بهره‌وری (۶۱۹۹/۵۷ کیلوگرم در هکتار) بالاترین مقدار این شاخص را به خود اختصاص داد. کمترین شاخص میانگین بهره‌وری MP نیز (۴۶۳۱/۰۱ کیلوگرم در هکتار) در لاین S-92-19 مشاهده شد (جدول ۴).

در صورت وجود اختلاف نسبی زیاد بین Yp و Ys، شاخص MP دارای یک اریب به‌طرف پتانسیل عملکرد Yp خواهد بود. لذا برای حل این معضل، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) محاسبه می‌شود. این شاخص در مقایسه با شاخص MP در تفکیک ژنوتیپ‌ها قدرت بیشتری دارد و حساسیت کمتری به مقادیر بسیار متفاوت Yp و Ys دارد، مخلوط ژنوتیپ‌ها با مقدار شاخص GMP (۶۱۵۰/۴۹ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان سیستم کشت متحمل به تنش آبی و لاین S-92-19 با کم‌ترین مقدار میانگین بهره‌وری GMP (۴۵۴۲/۳۴ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان ژنوتیپ حساس به تنش آبی، شناسایی شدند (جدول ۴). محققین دیگر نیز گزارش کردند که شاخص‌های STI، YI، MP و GMP می‌توانند ژنوتیپ‌های متحمل و دارای عملکرد بالا در شرایط مطلوب و هم در شرایط تنش را شناسایی و معرفی کنند (Fouad, 2018; Farshadfar et al., 2012).

بر اساس شاخص تحمل به تنش (STI) فرناندز (Fernandez, 1992)، مخلوط ژنوتیپ‌ها با مقدار شاخص STI (۰/۹۶) دارای بالاترین شاخص تحمل به تنش نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ در این آزمایش شناسایی شد (جدول ۴). کمترین مقدار شاخص تحمل به تنش آبی نیز با مقدار (۰/۵۲) در لاین S-92-19 مشاهده شد که نشان‌دهنده حساسیت بالای این ژنوتیپ‌ها به تنش آبی است (جدول ۳). در این آزمایش بر اساس شاخص‌های STI و GMP می‌توان بیان کرد که مخلوط ژنوتیپ‌ها یک سیستم کشت مقاوم به تنش بعد از مرحله گلدهی شناسایی شد، همچنین در بین ژنوتیپ‌های بررسی‌شده، به ترتیب در رقم خلیل، رقم سیروان و لاین S-92-19 مقاومت ژنوتیپ کاهش می‌یابد (جدول ۴). بررسی‌های حسنی و همکاران (Hassani et al., 2018) نشان داد، ازجمله بهترین معیارهای انتخاب در شرایط آزمایش برای تنش خشکی شاخص‌های، STI، GMP، MP و YI هستند.

شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)

به‌منظور شناسایی بهتر ژنوتیپ‌ها ازنظر تحمّل به خشکی، محققان سعی می‌کنند از روش‌های مختلف استفاده کنند و در این تحقیق با استفاده از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)، از همه شاخص‌ها به‌طور هم‌زمان برای بررسی حساسیت یا تحمّل ژنوتیپ‌ها به تنش استفاده شد. برای آشنایی با روش محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل، مراحل محاسبه آن در جدول‌های ۴، ۵ و ۶ آورده شده است.

در جدول ۵، مقادیر بدون مقیاس شاخص‌های تحمل به خشکی و هم‌چنین مقادیر ژنوتیپ ایده‌آل و غیر ایده‌آل آورده شده است. با توجه به‌این‌که مقدار شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)، بین صفر و یک است و ژنوتیپ‌هایی که مقدار آن نزدیک به یک باشد جزء برترین ژنوتیپ‌ها معرفی می‌شوند و ژنوتیپی‌هایی که مقدار SIIG آن نزدیک به صفر باشد، جزء ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته می‌شوند. در جدول ۴، تعدادی از شاخص‌های محاسبه تحمل به خشکی یعنی شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP)، شاخص میانگین تولید (MP)، شاخص تحمّل به تنش (STI) و ...، عملکرد در شرایط مطلوب (Yp) و عملکرد در شرایط تنش (Ys) آورده شده است. به‌منظور بررسی بهتر تحمّل به خشکی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی به‌طور هم‌زمان از شاخص SIIG استفاده شد (جدول ۶).

جدول ۴. شاخص‌های تحمل به خشکی (تنش آبی بعد از مرحله‌ی گلدهی) در تیمارها)YP عملکرد هر ژنوتیپ (کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری مطلوب و :YSعملکرد هر ژنوتیپ (کیلوگرم در هکتار) در شرایط تنش آبی)

Table 4. Drought tolerance indices (water stress after flowering stage) in YP treatments yield of each genotype (kg/ha) under favorable irrigation and YS: yield of each genotype (kg/ha) under water stress conditions

Treatment	تیمار	YI	YSI	STI	GMP	MP	Ys	Yp
cultivar Sirvan	رقم سیروان	0.88	0.63	0.61	4892	5019	3896	6143
S-92-19 Line	لاین S-92-19	0.84	0.67	0.52	4542	4631	3731	5531
cultivar Khalil	رقم خلیل	1.04	0.7	0.78	5460	5542	4626	6457
Genotypes mixture	مخلوط ژنوتیپ‌ها	1.23	0.78	0.96	6150	6200	5448	6951

جدول ۵. مقادیر بی‌مقیاس شده (ماتریس r) شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی، مقادیر ژنوتیپ‌های ایده‌آل و ژنوتیپ‌های غیر ایده‌آل

Table 5. Uncalculated values (r matrix), different indices of drought tolerance, values of ideal genotypes and non-ideal genotypes

Treatment	تیمار	YI	YSI	STI	GMP	MP	Ys	Yp
Sirvan Cultivar	رقم سیروان	0.436	0.452	0.414	0.462	0.466	0.435	0.488
S-92-19 Line	لاین S-92-19	0.416	0.481	0.353	0.429	0.43	0.417	0.44
Khalil Cultivar	رقم خلیل	0.515	0.502	0.529	0.515	0.515	0.517	0.513
Genotype mixture	مخلوط ژنوتیپ‌ها	0.609	0.559	0.651	0.581	0.576	0.608	0.552
Ideal genotype	ژنوتیپ ایده‌آل	0.609	0.559	0.651	0.581	0.576	0.608	0.552
Non-ideal genotype	ژنوتیپ غیر ایده‌آل	0.416	0.452	0.353	0.429	0.43	0.417	0.44

جدول ۶. مقادیر شاخص‌انتخاب ژنوتیپ‌ایده‌آل (SIIG)، فاصله از ژنوتیپ‌ایده‌آل (d^+) و فاصله از ژنوتیپ غیرایده‌آل (d^-) و رتبه‌بندی تیمارها

Table 6. Ideal selectivity genotype (SIIG) values and distance from the ideal genotype (d +) and distance from non-ideal genotype (d-) and ranking of treatments

Treatment	تیمار	رتبه rank	SIIG	d-	d+
Sirvan cultivar	رقم سیروان	3	0.055	0.009	0.158
S-92-19 Line	لاین S-92-19	4	0.004	8E-04	0.226
Khalil cultivar	رقم خلیل	2	0.62	0.074	0.045
Genotypes mixture	مخلوط ژنوتیپ‌ها	1	1	0.232	0

درواقع شاخص SIIG بر مبنای شاخص‌های GMP، MP، STI و سایر شاخص‌های جدول ۴ محاسبه شد (جدول ۶). بر این اساس، تیمار ۴ این آزمایش (مخلوط ژنوتیپ‌ها) با بیش‌ترین مقدار (1) SIIG متحمل‌ترین تیمار به تنش خشکی بود. همچنین تیمار ۲ (کشت خالص لاین S-92-19) با کم‌ترین مقدار SIIG (۰/۰۰۴)، حساس‌ترین تیمار ازنظر حساسیت به خشکی نسبت به دیگر تیمارها و تیمار ۳ (کشت خالص رقم خلیل) با مقدار SIIG برابر با ۰/۰۵۵ در حد وسط قرار داشت (شکل ۲)؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در این تحقیق تیمار ۴ که مخلوط ژنوتیپ-ها بوده نسبت به دیگر تیمارها از تحمل به خشکی بالاتری برخوردار است. نجفی میرک و همکاران (Najafi Mirak et al., 2018) از شاخص SIIG به‌منظور ادغام پارامترهای مختلف تجزیه پایداری در گندم دوروم استفاده نمود و بیان نمودند شاخص SIIG روشی مناسب برای ادغام صفات یا شاخص‌های مختلف است که تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها را برای محقق راحت‌تر می‌کند.

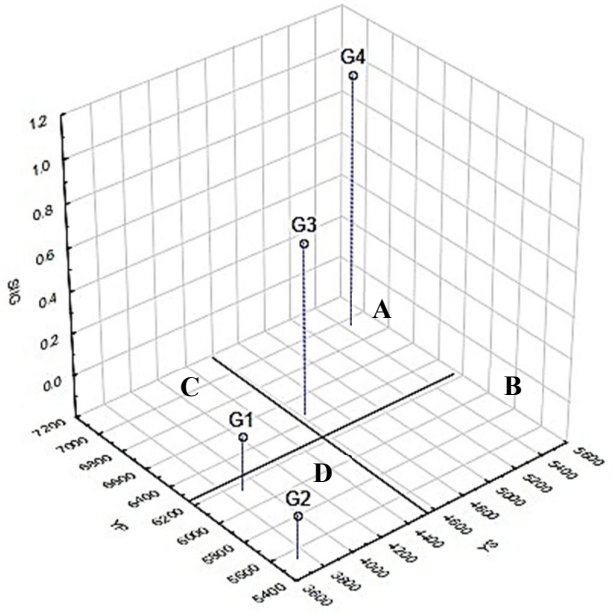
نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این تحقیق نشان داد که در منطقه گرم و خشک داراب، سیستم کشت مخلوط ارقام سیروان، خلیل و لاین S-92-19 به دلیل وجود سایه‌انداز موجی شکل و استفاده بهتر از فضا و منابع غذایی در شرایط متغیر محیطی، بیش-ترین پتانسیل گیاه برای جذب نور، آب و عناصر غذایی را به کار گرفته است که درنهایت باعث افزایش عملکرد کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌گردد. عملکرد دانه کشت مخلوط در هر دو شرایط تنش آبی و مطلوب نسبت به کشت خالص برتری نشان داد. بررسی فاکتور نیتروژن نیز نشان داد، مصرف نیتروژن تا میزان توصیه‌شده بر اساس آزمون خاک (۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) اثر مثبت بر عملکرد و اجزا عملکرد داشت، اما این اثر در شرایط آبیاری مطلوب و تنش متفاوت بود، به‌طوری‌که تأثیر مثبت نیتروژن در شرایط تنش آبی کاسته شد، درواقع مصرف نیتروژن ۳۰ درصد بیشتر از میزان توصیه‌شده، عملکرد و اجزا عملکرد را کاهش داد؛ بنابراین با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان

توصیه کرد که از سطح کودی ۸۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شود که علاوه بر حفظ عملکرد، سلامت محیط‌زیست نیز حاصل می‌گردد. با توجه به نتایج می‌توان بیان کرد، در سیستم کشت مخلوط هر یک از ارقام در مراحل متفاوت با شدت تنش متفاوتی مواجه شده‌اند، درنتیجه اثر تنش بر همه ارقام به یک اندازه نبوده، به‌طوری‌که با خسارت یک رقم، رقم دیگر تا حدی خسارت را جبران کرده است. درنتیجه زمانی که یکی از ارقام در مرحله‌ای حساس با تنش مواجه می‌شود، رقم دیگر به‌طور خودتنظیم از ابتدا به‌وسیله زودرس یا دیررس بودن مکانیسمی اتخاذ کرده که این مرحله از رشد را قبل یا بعد از تنش بگذراند و یا اینکه طول مدت قرار گرفتن در معرض تنش را کمتر کند تا درنهایت خسارت کلی کاهش یابد. همچنین شاخص‌های MP، GMP، STI، YSI و YI مورد ارزیابی و به‌منظور ادغام صفات از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (روش SIIG) استفاده شد. نتایج نشان داد، مخلوط ژنوتیپ‌ها مقاوم‌ترین سیستم کشت در دو شرایط مطلوب و تنش شناخته شد. با استفاده از روش SIIG می‌توان انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را مطمئن‌تر و دقیق‌تر انجام داد. به‌طورکلی نتایج نشان داد، کشت مخلوط ژنوتیپ‌ها و کشت خالص رقم خلیل با سطح کودی توصیه‌شده بر اساس آزمون خاک و ۳۳٪ کمتر از میزان توصیه‌شده، می‌تواند اثر تنش آبی را در مرحله ظهور سنبله و دوره‌ی پر شدن دانه تعدیل کند و عملکرد قابل قبولی تولید نماید.

قدردانی

بر خود لازم می‌دانیم از جناب آقای مهندس دست‌فال (عضو هیئت‌علمی مرکز تحقیقات و کشاورزی استان فارس) برای در اختیار قرار دادن ژنوتیپ‌های موردنیاز در این تحقیق تقدیر و تشکر نماییم.



شکل ۲. نمودار سه‌بعدی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها و سیستم کشت با استفاده از شاخص SIIG، عملکرد در شرایط بدون تنش (YP) عملکرد در شرایط تنش (YS). A: ژنوتیپ‌ها یا سیستم‌های کشتی که در هر دو شرایط عملکرد زیادی دارند؛ B: ژنوتیپ‌ها یا سیستم‌های کشتی که عملکرد آن‌ها فقط در شرایط بدون تنش زیادتر می‌شود؛ C: ژنوتیپ‌ها یا سیستم‌های کشتی که در شرایط تنش از عملکرد نسبتاً زیادی برخوردار هستند؛ D: ژنوتیپ‌ها یا سیستم‌های کشتی که در هر دو شرایط دارای عملکرد پایین‌تر هستند.

Fig. 2. Three-dimensional graph of drought resistance of genotypes or cropping system using SIIG index, yield under non- stress conditions (YP) under stress conditions (YS). A: genotypes or cropping system that have a high yield in both conditions. B: genotypes or cropping system whose yields are only higher in non- stress conditions. C: Genotypes or cropping system with relatively high yield under water stress conditions. D: genotypes or cropping system that have lower yields in both conditions.

منابع

Abid, M., Tian, Z., Ata-Ul-Karim, S.T., Liu, Y., Cui, Y., Zahoor, R., Dai. T., 2016. Improved tolerance to post-anthesis drought stress by pre-drought priming at vegetative stages in drought-tolerant and-sensitive wheat cultivars. Journal of Plant Physiology and Biochemistry. 106, 218-227

Afzali Harsini, S., Taghizade M.S., Behpoori, A., Faramarzi, F., 2018. Evaluation of the effect of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) on the population, biomass, content of low nutrient elements and yield. Ecology of Agriculture, 10, 789-804. [In Persian with English summary]. https://doi.org/ 10.22067/jag.v10i3.60348.

Ariel, C.E., Eduardo, O.A., Benito, G.E., Lidia, G., 2013. Effects of two plant arrangements in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.) intercropping on soil nitrogen and phosphorus status and growth of component crops at an Argentinean Argiudoll. International Journal of Agriculture and Forestry. 2, 22-31.

Bouslama, M., Schapaugh, W., 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Journal of Crop Science. 24, 933-937.

Curtis, T., Halford, N.G., 2014. Food security: the challenge of increasing wheat yield and the importance of not compromising food safety. Journal of Annals of Applied Biology. 164, 354-372.

Daneshmand, AR., Shirani, Rad, A.H., Ardakani, M.R., 2006. Evaluation of water delicit stress on tolerance of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. Journal of Agronomy Research. 1, 48-60. [In Persian with English summary].

Dastfal, M., Barati, V., Imam, Y., Haghightinia, H., Ramezanpour, M., 2011. Evaluation of grain yield and its components in wheat genotypes under drought stress at the end of the season in Darab region. Journal of Seed and Plant Seedlings. 27, 217-195. [In Persian with English summary].

Emam, Y., Ranjbari, A., Bohrani, M.J., 2007. Evaluation of grain yield and its components in wheat genotypes under drought stress condition after anthesis. Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources). 11, 317-327. [In Persian with English Summary].

Emam, Y., Salimi Koochi, S., Shekoofa, A., 2009. Effect of nitrogen levels on grain yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) under irrigation and rainfed conditions. Iranian Journal Field Crops Research. 7, 321-332. [In Persian with English abstract].

Enayatgholizadeh, M. R., Fathi, G., Razaz, M., 2011. Response of wheat cultivars to drought stress and different levels of nitrogen under Khuzestan climate. Journal of Crop Ecophysiology. 17, 1-14. [In Persian with English abstract].

Faramarzi, F., Taghizadeh, M.S., Behpouri, A., 2015. Effect of Crop Seed Interaction on Grain yield and Weed Nitrogen, 6th Iranian Weed Science Congress, Birjand, Birjand University of Iran. August, 23-25, 479-483.https://www.civilica.com/Paper-IRANWEED06-IRANWEED06_016.html. [In Persian].

Fernandez, G., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.G. (Ed.), Proceeding of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temprature and water stress. August 13-18, Taina, Taiwan. pp. 257-270.

Fouad, H.M., 2018. Physiological traits and drought tolerance indices in advanced genotypes of bread wheat (*Triticum aestivum* L). Journal of Agronomy. 40, 145 – 154.

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G.L., Borghi, B., 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Plant Science. 77, 523-531.

Gregeresen, P.L., Holm, P.B., Krupinska, K., 2008. Leaf senescence and nutrient remobilization in barley and wheat. Plant Biology. 37-49.

Haghshenas, A., 2009. Evaluation of competition in mixed cropping for two winter wheat cultivars under two moisture conditions. M.Sc. thesis, Faculty of Agriculture, Shiraz Universty, Iran. [In Persian].

Halim, Q., Emam, Y., Shakeri, A., 2018. Evaluation of yield, yield components and

stress tolerance indices in bread wheat cultivars under conditions Interruption of irrigation after flowering. Journal of Crop Production and Processing. 4, 121-134. [In Persian with English summary].

Hassani, F., Smart, S., Rafiei, f., Niyazi, A., 2018. Evaluation of wheat cultivars and lines for dought tolerance in the end of season using tolerance and drought sensitivity indices. Journal of Plant Ecophysiology. 33, 67-55. [In Persian with English summary].

Hosseinpanahi, F., Kafi, M., Parsa, M., Nasiri Mahallati, M., Banyayan, M., 2011. Evaluation of yield and yield components of resistant and susceptible wheat cultivars under moisture stress conditions using the Penman-Monteith, FAO model. Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences. 4, 63-47. [In Persian with English Summary].

Koocheki, A., Nasiri- Mahallati, M., Borumand-Rezazadeh, Z., Khorramdel, S., 2010. Effect of delayed, intercropping wheat and corn on nitrogen use and utility efficiency. 1th Iranian Conference of sustainable agricultural and healthy crop production. Agricultural and Natural Resources Research Center, Isfahan, Iran. [In Persian].

Mirdoraghi, M., Behpouri, A., Taghizade M.S., 2019. Effect of water stress on above ground parts, roots and yield of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in mixed cropping of genotypes. Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences. 13(1), 97-108. [In Persian with English Summary].

Mohammadi, R., Armion, M., Kahrizi, D., Amri, A., 2010. Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. Journal of Plant Production. 4, 1735-1743. [In Persian with English Summary].

Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., Zali, H., 2018. Assessment of non-parametric methods in selection of stable genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). Iranian Journal of Crop Sciences. [In Persian with English Summary]

Nourmand, F., Rostami, M.A., Ghannadha, M.R., 2001. A study of morpho-physiological traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.), relationship with grain yield under normal and drought stress conditions. Iranian Journal of Agricultural Sciences. 32, 785-794. [In Persian with English Summary].

Saberi, M., & Nikkhah, H., & Tajali, H., & Arazmjoo, E. (2016). Effects of terminal drought stress on yield and choosing best tolerance indices in promising lines of barley. Applied Field Crops Reasearch (Pajoohesh & Sazandegi), 111, 27-34. [In Persian with English Summary].

Salvagiotti, F., Castellarín, J.M., Miralles, D.J., Pedrol, H.M., 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. Field Crops Research. 113, 170-177.

Shahrasbi, P., Emam, Y., Ronaghi, A.M., Anousheh, A., 2016. Effect of drought stress and nitrogen fertilizer on grain yield and agronomic performance of wheat nitrogen (*Triticum aestivum* L.) Cv. Sirvan in Fars province. Iranian Journal of Crop Science. 17, 349-363. [In Persian with English Summary].

Thomas, H., Ougham, H.J., Wagstaff, C., Stead, A.D., 2003. Defining senescence and death. Journal of Experimental Botany. 54, 1127–1132.

Wang, Z. R., Rui, Y.K., Shen, J. B., Zhang, F.S., 2008. Effects of N fertilizer on root growth in *Zea mays* L. seedlings. Spanish Journal of Agricultural Research. 6, 677-682.

Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A., Hoseini, S.M., 2015. Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. Biological Forum 7, 703-711.

Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A., Zeinalabedini, M., 2016. Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. Journal of Crop Breeding. 78, 77-90. [In Persian with English Abstract].

Zarea Feyzabadi, A., Imam Vardian. A. Gh., 2012. Evaluation of the effect of mixed genotypes on agronomic characteristics and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agricultural Ecology. 4(2), 150-144. [In Persian with English Summary].