تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۰
۱۳۰-۱۱۹
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.1578

مقاله پژوهشی

اثر سطوح مختلف رطوبتی و سولفات آهن بر رشد و محتوی برخی از عناصر در گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم روشن

عبدالله درپور سرخ‌سرائی[۱]، مجید جامی‌الاحمدی[۲،۳]، محمد حسن سیاری زهان[۲،۳]، محمدجواد بابائی زارچ[۴]

۱. دانشجوی دکتری علوم علف‌های هرز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲. عضو هیئت‌علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۳. گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشگاه بیرجند
۴. دانش‌آموخته دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۱۷

چکیده

بسیاری از اراضی کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، با کمبود آب و عناصر غذائی مخصوصاً عناصر غذائی کم‌نیاز مواجه هستند. در این راستا، این تحقیق با هدف بررسی اثرات کاربرد خاکی سولفات آهن در شرایط رطوبتی مختلف بر روی خصوصیات رشدی گندم رقم روشن، به‌صورت آزمایش فاکتوریل دوعاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال ۱۳۹۱ انجام شد. عامل اول شامل چهار سطح سولفات آهن (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و عامل دوم نیز شامل دو سطح مختلف رطوبتی (۵۰ و ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی خاک) بود که از طریق توزین روزانه گلدان‌ها کنترل می‌شد. برداشت اندام هوائی گیاه بعد از گذشت ۸ هفته صورت گرفت و صفاتی چون ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ، شاخص سبزینگی و محتوای نسبی آب برگ، درصد نیتروژن، درصد پروتئین، درصد پتاسیم و محتوای آهن برگ اندازه‌گیری شد. مصرف سولفات آهن روی درصد نیتروژن برگ و محتوای آهن برگ تأثیر معنی‌داری داشت. نتایج نشان داد که کاهش سطح تأمین رطوبت منجر به کاهش ۳۱ درصدی ماده خشک تولیدی، ۵/۸ درصدی ارتفاع بوته،۳۷ درصدی تعداد برگ، ۲۲ درصدی تعداد ساقه در بوته، ۳۳ درصدی سطح برگ، ۱۶/۸ درصدی محتوی نسبی آب برگ، ۵/۴۵ درصدی شاخص سبزینگی و همچنین افزایش ۱۸/۲ درصدی نیتروژن برگ، ۱۷/۹ درصدی پتاسیم برگ و ۲۳/۷ درصدی پروتئین برگ شد. افزایش کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم سولفات آهن بر کیلوگرم خاک نیز محتوای آهن برگ را در حدود ۱۰۰ درصد افزایش داد. به‌طورکلی کاربرد کود سولفات آهن منجر به بهبود رشد گندم تحت تنش خشکی شد.

واژه‌های کلیدی: *تنش آبی*، **غلظت آهن برگ، کلروفیل، ماده خشک، نیتروژن**

مقدمه

خشکی مهم‌ترین تنش محیطی است که به‌طورجدی به رشد و توسعه گیاه زراعی زیان می‌رساند و تولید و کارایی گیاهان را بیش از هر عامل محیطی دیگر محدود می‌کند (Shao et al., 2009). تنش خشکی نقش قابل‌توجهی در کاهش عملکرد گیاهان زراعی در نواحی خشک و نیمه-خشک جهان دارد. این تنش از طریق ایجاد تغییرات آناتومیک، مورفولوژیک و بیوشیمیایی بر جنبه‌های مختلف رشد و نمو گیاه تأثیر می‌گذارد. شدت خسارت تنش خشکی بسته به طول مدت تنش و مرحله رشد گیاه متفاوت است. کاهش هدایت روزنه‌ای و میزان فتوسنتز، کاهش رشد گیاه، کمبود مواد فتوسنتزی لازم برای پر کردن دانه و کاهش طول دوره پر شدن دانه‌ها از مهم‌ترین اثرات خشکی بر

* نگارنده پاسخگو: مجید جامی الاحمدی. پست الکترونیک: mjamialahmadi@birjand.ac.ir

گیاهان است (Bhatt and Srinivasa-Ruo, 2005; Reddy et al., 2004). چنین اثراتی منجر به کاهش معنی‌دار تعداد سنبله بارور در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک، شاخص برداشت و ارتفاع گیاه می‌شود (Sanjari and Yazdanpanah, 2008).

عناصر ریزمغذی ضروری نقش حیاتی در رشد و نمو گیاهان ایفا می‌کنند و ازاین‌رو سهم مهمی در افزایش عملکرد محصول دارند (Dewal and Pareek, 2004). بررسی‌ها نشان می‌دهد که مصرف ریزمغذی‌هایی چون آهن (Abbas et al., 2012)، بُر و روی (Ziaeyan and Rajaie, 2009) موجب افزایش عملکرد و پارامترهای رشد در گندم شده است. وایرسما (Wiersma, 2005) گزارش داد که کاربرد کود حاوی آهن سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد دانه در بوته و عملکرد سویا شده است. در آفتابگردان نیز با کاربرد سولفات آهن افزایش عملکرد گزارش شده است (Malakooti et al., 2000). در گلرنگ نیز دیده شده است که مصرف آهن به‌صورت خاکی و برگی سبب افزایش مقادیر پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌های محلول برگ و بهبود محتوی نسبی آب برگ شده است (Fathi Amirkhiz et al., 2011).

یکی از مهم‌ترین اثرات کاربرد ریزمغذی‌ها را می‌توان کاهش اثرات تنش‌های محیطی از قبیل تنش خشکی و تنش شوری دانست (Cakmak, 2008; Khan et al., 2003; Wang et al., 2004)، چراکه عناصر ریزمغذی از طریق کاهش اثرات منفی یون‌های سمی می‌توانند مقاومت گیاهان را در برابر تنش‌ها را افزایش دهند (El-fouly et al., 2011). دل‌گادو و سانچز رایا (Delgado and Sanchez-Raya, 2007) گزارش دادند که با مصرف سولفات آهن اثرات منفی تنش شوری بر روی گیاه آفتابگردان کاهش یافته است. افزایش عملکرد و مقدار روغن دانه آفتابگردان نیز در یک خاک شور سدیمی در اثر کاربرد کود آهن افزایش یافت است (Gorji et al., 2009). هم‌چنین گزارش شده است کاربرد روی می‌تواند تنش اکسیداتیو حاصل از کادمیوم را در گیاه جو (Wu and Zhang, 2002) و گندم (Koleli et al., 2004) کاهش دهد. کاهش اثرات تنش کم‌آبی در اثر محلول‌پاشی آهن در گیاه جو (Zahedi and Alipour, 2018) و زیره سبز (Amirinejad, 2016) نیز گزارش شده است.

آهن در فرآیندهای بیولوژیکی و فیزیولوژیکی نظیر تنفس، فتوسنتز و بیوسنتز کلروفیل نقش اساسی داشته و نیز در دیاستازی‌ها و هم‌چنین در تولید کلروفیل مؤثر است (Marschner, 1995; Molassiotis et al., 2006). کمبود آهن منجر به زردی برگ‌ها، کاهش کلروفیل و کاهش فتوسنتز (Mahmoodi et al., 2007)، کاهش وزن خشک گیاه (Yousfi et al., 2009)، تغییر در محتوای آهن (Eshghi-Zade et al., 2008) و سایر عناصر فلزی در بافت گیاهی (Chen et al., 2004) می‌شود که نتیجه آن چیزی جز کاهش تولید برای گیاه نیست.

خراسان جنوبی منطقه‌ای در شرق کشور ایران است که سالانه ۳۳ هزار هکتار گندم در آن کشت می‌شود که یک‌سوم آن به کشت دیم اختصاص دارد (Gholi poor et al., 2014)، این در حالی است که خراسان جنوبی دارای متوسط بارندگی سالانه ۱۵۱ میلی‌متر و هم‌چنین خاکی با pH قلیائی است. کمبود آب یکی از مهم‌ترین مشکلات این منطقه از کشور است که منجر به کاهش جذب عناصر به‌خصوص عناصر ریزمغذی شده است. کمبود آهن عامل مهم محدودکننده عملکرد در جریان تولید گیاهان زراعی در اکثر مناطق دنیا است، از طرفی دیگر سوءتغذیه عناصر غذائی به‌خصوص آهن یک مشکل جهانی است که بیش از ۲ میلیون انسان در سراسر جهان با آن روبه‌رو هستند (White and Broadley, 2009 and Cakmak, 2010)، بنابراین این آزمایش با هدف بررسی واکنش رشدی گیاه گندم رقم روشن به مصرف کود سولفات آهن در شرایط متفاوت رطوبتی و بررسی تغییرات محتوی برخی عناصر گیاه در این شرایط صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی جذب آهن توسط گیاه گندم رقم روشن (این رقم از بوته‌های انتخابی توده محلی اصفهان در سال ۱۳۳۷ است و نیمه زودرس بوده و ارتفاعی حدود ۱۱۵ سانتی‌متر دارد و به تنش شوری و خشکی مقاوم است)، یک آزمایش فاکتوریل دوعاملی در سال ۱۳۹۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام گرفت. فاکتور اول شامل چهار سطح مختلف سولفات آهن (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بود. فاکتور دوم نیز شامل دو تیمار رطوبتی خاک شامل ۵۰ و ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی خاک بود. پس از تعیین

ویژگی‌های خاک (جدول ۱)، عناصر غذایی نیتروژن، پتاسیم و فسفر از منبع کودهای اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم (به ترتیب معادل ۳۰۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) به خاک اضافه شد. برای اینکه آهن به‌طور یکنواخت به تمام خاک گلدان برسد سولفات آهن مطابق با سطح تیمار موردنظر به‌صورت محلول به خاک هر گلدان اضافه و به‌خوبی با خاک مخلوط گردید. سپس خاک آماده‌شده به گلدان‌های سه کیلوگرمی منتقل شد. بعد از آماده شدن گلدان‌ها، ۱۶ بذر در هر گلدان در آبان ماه سال ۱۳۹۱ کشت شد که در مرحله دوبرگی (ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری) به ۱۰ بوته در هر گلدان تقلیل داده شد.

جدول ۱. برخی از خصوصیّات فیزیکی و شیمایی خاک مورداستفاده

Table1. Some physical and chemical properties of selected field's soil for pot experiments

بافت خاک Soil texture	آهن Fe (DTPA)	ظرفیت زراعی Field capacity	مواد آلی Organic matter	آهک TNW	منگنز Mn	کلسیم Ca	کلر Cl	سدیم Na	اسیدیته (pH)	هدایت الکتریکی (EC)
	$mg.kg^{-1}$		%	----------meq/l----------						$dS.m^{-1}$
لوم (Loam)	7.20	13.2	0.29	15	4.4	4.8	6.6	2.6	8.16	0.87

سطوح رطوبتی از همان ابتدای کشت اعمال شد. آبیاری گلدان‌ها روزانه و بر پایه توزین گلدان‌ها و پس از ۲۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک (در هر تیمار آبیاری) صورت می‌گرفت. برداشت گیاه بعد از ۸ هفته (اوایل مرحله ساقه دهی) انجام شد و در این زمان برخی صفات مورفولوژیکی همچون تعداد برگ، سطح برگ، تعداد پنجه و ارتفاع بوته‌ها در هر گلدان اندازه‌گیری شد. برای تعیین میزان شاخص سبزینگی برگ، یکی از بوته‌های هر گلدان به‌طور تصادفی انتخاب و اندازه-گیری‌ها با استفاده از دستگاه SPAD (مدل Minolta 502) بر روی ۱۰ برگ آن انجام و میانگین قرائت‌ها به‌عنوان شاخص سبزینگی برگ بوته ثبت شد. برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب (RWC) برگ، نمونه برگی از وسط بوته-ها (برگ شماره سه از بالا) گرفته شد. برگ‌ها برای اندازه-گیری وزن تر (FW) به کمک ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ وزن شدند؛ سپس برگ‌ها به مدت ۶ ساعت در آب مقطر در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا آماس نمایند. بعد از خارج کردن برگ‌ها از آب مقطر و خشک‌کردن رطوبت اضافی با دولایه کاغذ، برگ‌ها جهت اندازه‌گیری وزن تورژسانس (TW) دوباره وزن شدند. سپس نمونه‌ها را به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه گذاشته تا خشک شوند و دوباره وزن خشک برگ (DW) اندازه‌گیری شد. درصد محتوی نسبی آب برگ از رابطه [۱] به دست آمد (Sairam and Srivastava, 2001).

$$RWC= (Fw-DW)/(TW-DW)\times 100 \qquad [۱]$$

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر، یک گرم ماده خشک گیاه وزن و با استفاده از کوره الکتریکی با دمای ۴۷۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به خاکستر تبدیل شد و سپس پنج سی‌سی اسیدکلریدریک غلیظ به آن اضافه نموده و حرارت داده شد. محلول حاصل را از کاغذ صافی عبور داده؛ به حجم ۱۰۰ سی‌سی رسانیده شد. میزان آهن نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل AA6300-SHIMADZUE، ساخت کشور ژاپن) و هم‌چنین برای اندازه‌گیری پتاسیم برگ با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل JENWAY، ساخت کشور انگلستان) استفاده شد. درصد پروتئین و نیتروژن برگ نیز با استفاده از روش کجلدال تعیین شدند (Mulvaney and Bremner,1982).

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون FLSD در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام شد. کلیه محاسبات و رسم نمودارها و اشکال با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک (جدول ۲) نشان داد که ارتفاع بوته ($P<0.05$)، تعداد ساقه، تعداد برگ، قطر ساقه، سطح برگ و درصد محتوای نسبی آب برگ ($P<0.01$) گندم تحت تأثیر سطوح رطوبتی قرار گرفت. مقادیر مختلف کود آهن و اثرات متقابل بین سطوح رطوبتی

و مقادیر مختلف کود آهن نیز هیچ‌گونه اثر معنی‌داری را برای صفات مذکور نشان نداد.

با کاهش رطوبت خاک از ۱۰۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک، ارتفاع بوته (۵/۸ درصد)، تعداد ساقه (۳۷ درصد)، تعداد برگ (۲۲ درصد)، قطر ساقه (۱۵/۸ درصد)، سطح برگ (۳۳ درصد) و محتوای نسبی آب برگ (۱۶/۸ درصد) کاهش یافتند (جدول ۳). کاهش طول ساقه در تنش آبی به دلیل کاهش رشد گیاه به خاطر بسته شدن روزنه‌ها در اثر کاهش پتانسیل آب خاک است که کاهش اسیمیلاسیون CO2 را به همراه دارد (Xiao et al., 2008). اکثر مواد غذایی به شکل محلول در آب جذب گیاه می‌شوند، بنابراین کاهش رطوبت خاک منجر به محدود شدن عرضه عناصر غذایی شده که درنهایت منجر به کاهش رشد رویشی می‌شود. کاهش سطح برگ و متعاقب آن کاهش فتوسنتز نیز می‌تواند به‌عنوان عوامل محدودکننده رشد ساقه در طی تنش مطرح باشد (Bhatt and Srinivasa-ruo, 2005).

جدول ۲. تجزیه واریانس برخی صفات رشدی گندم (رقم روشن) تحت تأثیر سطوح مختلف رطوبتی خاک و سولفات آهن

Table 2. Analyze of variance some growth treads of wheat (Roshan cultivar) influence of soil moisture different level and Iron sulfate

			میانگین مربعات (Mean Squares)						
S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Height plant	تعداد برگ Leaf number	تعداد پنجه Stem number	قطر ساقه Stem diameter	سطح برگ Leaf area	محتوی نسبی آب برگ RWC	شاخص اسپد Spad Index
Block	بلوک	3	6.376^{ns}	93.03^{ns}	10.031^{ns}	0.057^{ns}	2546.98^{ns}	43.819^{ns}	4.156^{ns}
Iron (Fe)	آهن (Fe)	3	5.972^{ns}	14.78^{ns}	1.781ns	0.008^{ns}	2774.87^{ns}	26.383^{ns}	15.316*
Soil moisture levels (S)	سطوح رطوبتی (S)	1	19.515*	2831.3**	427.78**	1.308**	219585**	1812.62**	35/490**
S×Fe	آهن×تنش	3	3.55^{ns}	20.61^{ns}	1.614^{ns}	0.023^{ns}	975.59^{ns}	8.823^{ns}	17.857**
Erorr	خطا	21	4.327	59.79	7.245	0.024	3717.98	17.776	3.368
CV%	ضریب تغییرات (٪)		*8.00*	*10.15*	*16.66*	*6.63*	*14.59*	*5/14*	*5.08*

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

** ,* and ns significant at P=0.05, 0.01 and no significant, respectively.

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات رشدی اندازه‌گیری شده گندم (رقم روشن) در سطوح مختلف رطوبتی خاک

Table 3. Mean comparison of wheat (Roshan cultivar) measured growth traits under different soil moisture levels

سطوح‌رطوبتی خاک Soilmoisture (%FC)		ارتفاع بوته Height plant	تعداد برگ Leaf number	تعداد ساقه Stem number	قطر ساقه Stem diameter	محتوی نسبی سطح برگ Leaf area	محتوی نسبی آب برگ RWC	شاخص اسپد Spad Index
		cm			mm	mm^2	%	
100%	۱۰۰ درصد	26.675^{a}	85.562^{a}	19.812^{a}	2.555^{a}	500.687^{a}	89.393^{a}	36.53^{b}
50%	۵۰ درصد	25.203^{b}	66.75^{b}	12.5^{b}	2.150^{b}	335.012^{b}	74.314^{b}	38.2^{a}

حروف نامشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون FLSD است.

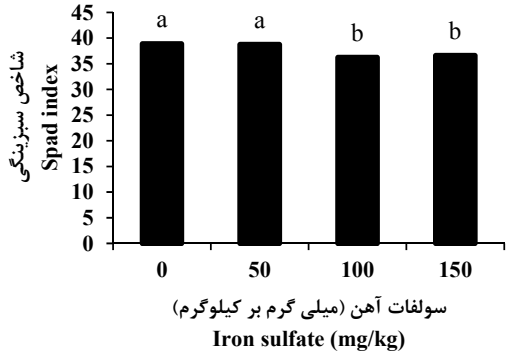
Dissimilar letters in each column indicate significant differencesat 5% level using the FLSD test

راسکیو و همکاران (Rascio et al., 1998) نشان دادند که در ژنوتیپ‌های گندم با افزایش شدت تنش خشکی سطح برگ و درصد محتوای نسبی آب برگ گیاه کاهش می‌یابد. افت درصد محتوای نسبی آب برگ درنتیجه تنش خشکی، حاکی از پایین بودن ظرفیت ترمیم‌پذیری گیاه است (Gratani and Varone, 2004). کاهش سطح و تعداد برگ در اثر افزایش تنش خشکی سبب کاهش اتلاف آب و تعرق و متعاقب آن افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش خشکی می‌شود. میترا و همکاران (Mitra et al., 2001) برخی از مکانیسم‌های مقاومت گیاه در برابر خشکی را شامل نمو فنولوژیکی سریع (گل‌دهی و رسیدگی زود-هنگام)، انعطاف‌پذیری نموی و انتقال مجدد آسیمیلات‌های ذخیره‌شده قبل از گل‌دهی به دانه می‌دانند. در این حالت، آغازش برگ‌ها و توسعه سطح برگ و نیز افزایش طول ساقه در اثر کمبود آب و افزایش سرعت نمو کاهش یافته و حتی ممکن است متوقف شود.

اثرات اصلی سطوح رطوبتی ($P<0.01$) و مقادیر مختلف کود آهن ($P<0.05$) و همچنین اثرات متقابل بین آن‌ها ($P<0.01$) بر شاخص سبزینگی معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین شاخص سبزینگی نشان داد که با کاهش رطوبت خاک میزان شاخص سبزینگی بوته گندم به میزان ۵/۴۵ درصد افزایش یافته است (جدول ۳). از طرفی کاربرد کود آهن نیز منجر به کاهش شاخص سبزینگی گیاه شد (شکل ۱). در تیمار شاهد بدون کود آهن بیشترین میزان شاخص سبزینگی (۳۸/۸) حاصل شد که با افزایش کود آهن به میزان ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک این مقدار با ۵/۸ درصد کاهش به ۳۶/۵ رسید. کاتریجه و همکاران (Chatterjee et al., 2006) به آن نکته اشاره داشته‌اند که افزایش آهن ممکن است با کاهش محتوای کلروفیل و یا فتوسنتز همراه شده و به‌این‌ترتیب به کاهش رشد منتهی شود.

نتایج همبستگی بین غلظت آهن برگ و شاخص سبزینگی (شکل ۵) نیز نشان داد که همبستگی منفی غیر معنی‌داری بین آن‌ها وجود دارد. نشان داده شده است که مصرف زیاد آهن در اثر کوددهی با کلات آهن می‌تواند سبب جذب مقادیر زیاد آهن و درنتیجه به هم خوردن توازن تغذیه‌ای و ایجاد کمبود شدید مس، منگنز و روی در گیاه شود (Mosavi and Ronaghi, 2011) که خود می‌تواند منجر به کاهش میزان کلروفیل برگ شود.

مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح رطوبتی و مقادیر مختلف کود آهن (شکل ۲) نشان داد در شرایط عدم وجود رطوبت کافی و کاربرد مقادیر پایین کود آهن، گیاه کمترین مقدار شاخص سبزینگی را داشته است. کلروفیل برگ یکی از مهم‌ترین شاخص‌های نشان‌دهنده فشار محیطی وارد بر گیاه است. بسیاری از عوامل تنش‌زا بر مقدار کلروفیل و میزان شاخص سبزینگی گیاه تأثیرگذار است. نتایج تحقیقات دیگران روی گیاهان چون گندم (Siosemardeh et al., 2013)، آفتابگردان (Mafakheri1 et al., 2011) و نخود (Nazarli et al., 2011) نشان می‌دهد که خشکی میزان شاخص سبزینگی و کلروفیل را کاهش می‌دهد. در شرایط تنش رطوبتی، آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز از عوامل مؤثر در کاهش کلروفیل هستند؛ بنابراین می‌توان پیری زودرس برگ‌ها در اثر اختلالات هورمونی ناشی از تنش را عامل اصلی کاهش شاخص سبزینگی و محتوای کلروفیل برگ دانست. خزایی و همکاران (Khazaie et al., 2005) نشان دادند که با کاهش پتانسیل آب برگ در گندم فعالیت کلروفیلاز به‌طور ناگهانی افزایش می‌یابد. همبستگی بین شاخص سبزینگی و ماده خشک تولیدی در گندم نیز بسیار معنی‌دار بود ($r=۰/۶۷۳^{**}$، شکل ۵)، درنتیجه با کاهش میزان سبزینگی برگ تحت تنش خشکی، افت عملکرد گیاه زراعی قابل‌انتظار خواهد بود.

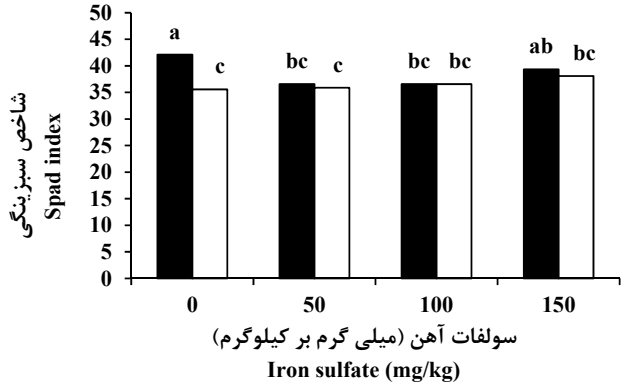


شکل ۱. شاخص سبزینگی (SPAD) گندم در پاسخ به کاربرد مقادیر مختلف سولفات آهن

Fig. 1. Wheat SPAD index response to different levels of Iron sulfate application

درصد پروتئین، نیتروژن و پتاسیم برگ و هم‌چنین محتوای آهن برگ تحت تأثیر معنی‌دار ($P<0.01$) سطوح

رطوبتی قرار گرفتند (جدول ۴). تغییرات درصد نیتروژن و غلظت آهن برگ نیز در سطوح مختلف کود آهن معنی‌دار بود ($P<0.01$). اثر متقابل سطوح رطوبتی و کاربرد کود آهن نیز تنها روی محتوای آهن برگ اثر معنی‌داری داشت ($P<0.05$).



شکل ۲. تغییرات شاخص سبزینگی (SPAD) گندم، رقم روشن، رشد کرده در شرایط رطوبتی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (ستون‌های تیره) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (ستون‌های سفید)، در پاسخ به کاربرد مقادیر مختلف سولفات آهن.

Fig. 2. Changes in chlorophyll index (SPAD) of Roshan wheat cultivar grown under two moisture conditions (100% of field capacity, black columns, and 50% of field capacity, white columns) in response to different levels of Iron sulfate application.

جدول ۴. تجزیه واریانس درصد پروتئین، نیتروژن، پتاسیم، غلظت آهن برگ، ماده خشک و کارایی مصرف آب گندم (رقم روشن) تحت تأثیر سطوح مختلف رطوبتی خاک و سولفات آهن

Table 4. Mean squares of leaf protein, nitrogen, potassium percentage and iron concentration, dry weight and water use efficiency in wheat (Roshan cultivar) under different soil moistures and Iron sulfate levels

			میانگین مربعات (Mean Squares)					
S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	پروتئین Protein	نیتروژن Nitrogen	پتاسیم Potassium	آهن Iron	وزن خشک dry weight	کارایی مصرف آب Water use efficiency
Block	بلوک	3	0.214^{ns}	0.0043^{ns}	0.085^{ns}	164.675^{ns}	0.002^{ns}	0.0002
Iron (Fe)	آهن (Fe)	3	1.788^{ns}	0.054*	0.016^{ns}	4441.602**	0.007 ^{ns}	0.0003
Soil moisture levels (S)	سطوح رطوبتی (S)	1	56.60**	1.390**	3.290*	13358.54**	0.239 **	0.000003
S × Fe	آهن×تنش	3	0.521^{ns}	0.011^{ns}	0.172^{ns}	1213.451*	0.002^{ns}	0.000003
Erorr	خطا	21	0.617	0.016	0.061	260.680	0.006	0.0002
CV%	ضریب تغییرات (٪)		*5.91*	*6.14*	*10.33*	*12.55*	*16.93*	*11.99*

*، ** و ^{ns} به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری.

*, ** and ^{ns} significant at P=0.05, 0.01 and non significant, respectively

با افزایش در محتوای آب خاک به ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، درصد پروتئین، نیتروژن و پتاسیم بوته گندم به ترتیب ۱۷/۱۸،۹/۲ و ۲۳/۷ درصد در مقایسه با تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک کاهش یافتند (جدول ۵). سطح بالای نیتروژن گیاه به دلیل تجمع سریع اسیدهای آمینه آزاد است (Salehi et al., 2002). لذا شاید بتوان بالاتر بودن درصد نیتروژن برگ را در گندم در این تحقیق را به دلیل توانائی بالاتر این رقم جهت تحمل شرایط تنش

خشکی از طریق افزایش پتانسیل اسمزی مربوط دانست. بالا بودن درصد نیتروژن برگ در شرایط تنش تا یک‌میزانی می‌تواند افزایش مقاومت به تنش خشکی را منجر شود (Salehi et al., 2002). بین درصد پروتئین برگ با ماده خشک تولید گندم (r=-۰/۷۹۱**) و شاخص سبزینگی برگ (r=-۰/۵۵۶**) رابطه معکوس معنی‌داری برقرار بود. اگرچه رابطه بین درصد نیتروژن برگ با درصد پروتئین برگ مثبت معنی‌دار بود، اما درصد نیتروژن برگ در صورت جذب یکسان نیتروژن در بوته‌های با وزن خشک پایین‌تر نسبت به بوته‌های با وزن خشک بالاتر، افزایش می‌یابد، چراکه با توزیع آن‌ها در وزن کمتر گیاه درصد آن تحت تنش افزایش می‌یابد. رابطه منفی بین درصد نیتروژن و ماده خشک ارزن تحت رژیم‌های مختلف آبیاری توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (Keshavarz et al., 2013). کاهش شاخص سبزینگی ناشی از کاهش محتوای کلروفیل برگ است، چراکه با افزایش تنش خشکی، میزان کلروفیل a و b برگ کاهش می‌یابد؛ هرچند نسبت کلروفیل a/b افزایش می‌یابد. چنین گزارش شده که تنش رطوبتی باعث کاهش کلروفیل برگ می‌شود و آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز از عوامل مؤثر در کاهش کلروفیل در شرایط تنش رطوبتی هستند (Keshavarz et al., 2013). بین درصد پتاسیم با درصد نیتروژن برگ رابطه مثبت بسیار معنی‌داری برقرار است (r=۰/۷۵۸**) (شکل ۵) این مطلب نشان می‌دهد که جذب نیتروژن نه‌تنها مانعی برای جذب دیگر عناصر روی ریشه گیاه و انتقال آن به سمت بالا نیست بلکه منجر به افزایش جذب آن‌ها نیز می‌گردد. تحقیقات جدید حاکی از آن است که می‌توان غلظت آهن و روی دانه گندم را با افزایش نیتروژن قابل‌دسترس و هم‌چنین کاربرد کودهای نیتروژن و روی به‌صورت هم‌افزائی در گندم افزایش داد (Kutman et al. 2010; Shi et al. 2010).

جدول ۵. مقایسه میانگین درصد پروتئین، نیتروژن و پتاسیم، غلظت آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم) برگ و ماده خشک (گرم در بوته) گندم (رقم روشن) در سطوح مختلف رطوبتی خاک

Table 5. Mean compression of leaf protein (%), nitrogen (%) and potassium content (%) and iron concentration (mg/kg) and dry weight (per plant) in wheat (Roshan cv.) at different levels of soil moisture

سطوح رطوبتی خاک Soil moisture (%FC)		پروتئین Protein	نیتروژن Nitrogen	پتاسیم Potassium	آهن Iron	وزن خشک Dry weight
		----------%----------			$mg.kg^{-1}$	$g.pl^{-1}$
100%	**۱۰۰ درصد**	11.955^{b}	1.91^{b}	2.066^{b}	142.734^{a}	0.562^{a}
50%	**۵۰ درصد**	14.615^{a}	2.326^{a}	2.708^{a}	103.761^{b}	0.389^{b}

حروف نامشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD است.

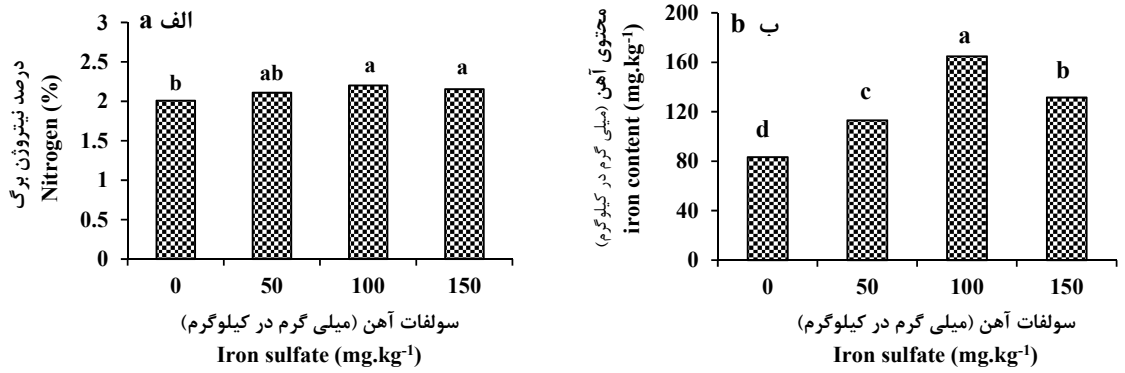
Dissimilar letters in each column indicate significant differences at 5% level using the FLSD test

محتوای آهن برگ نیز در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک برابر با ۱۴۲/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک گندم بود که با کاهش محتوای آب خاک تا ۵۰ درصد ظرفیت زراعی این مقدار ۲۷ درصد کاهش نشان داد (شکل ۵). بابائیان و همکاران (Babaeian et al., 2010) گزارش دادند که با افزایش تنش خشکی محتوای آهن و منگنز دانه آفتابگردان کاهش می‌یابد. چراکه مکانیسم‌های جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاهان، نظیر، جریان توده‌ای، انتشار و یا جذب و انتقال به‌وسیله پدیده اسمز همگی، کم‌وبیش تابعی از مقدار رطوبت موجود در خاک و ریشه است و در صورت نقصان رطوبت، شدت و مقدار جذب عناصر غذایی دستخوش تغییر و تحول خواهد شد. اگرچه بعضی از این سیستم‌های انتقالی عناصر، نظیر انتشار، به مقدار رطوبت کمتری جهت جذب عناصر غذایی نیازمند بوده و در این راستا، با کاهش رطوبت تا آستانه بحرانی، بازهم روند جذب و انتقال بعضی از عناصر غذایی توسط ریشه ادامه می‌یابد، اما از سوی دیگر، جریان توده‌ای وابستگی زیادی به مقدار رطوبت داشته و در صورت کاهش رطوبت، عناصری که به‌وسیله این جریان انتقال می‌یابند، روند جذبشان منفی می‌شود (Taiz and Ezeiger, 1998).

با مصرف کود آهن در خاک درصد نیتروژن برگ افزایش یافت (شکل ۳ الف). با افزایش میزان کاربرد کود آهن از صفر به ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، درصد نیتروژن برگ به ترتیب ۵، ۹/۵ و ۷/۲ درصد افزایش یافت. محتوای آهن برگ نیز با افزایش میزان کاربرد کود آهن از صفر به ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به

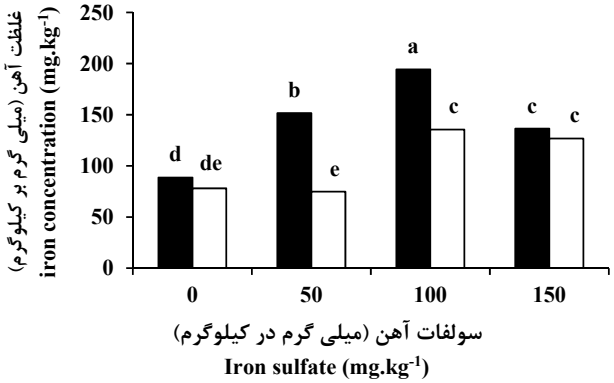
ترتیب به میزان ۳۵/۸، ۹۷/۸ و ۵۷/۸ درصد افزایش یافت (شکل ۳ ب).

مقایسه میانگین اثرات متقابل بین تنش خشکی و کاربرد کود آهن بر محتوای آهن برگ نشان داد که با افزایش کاربرد کود آهن در خاک، میزان آهن جذب‌شده توسط بوته افزایش می‌یابد، اما این افزایش به میزان محتوای آب خاک بستگی دارد. با افزایش کاربرد کود آهن از صفر به ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، محتوای آهن بوته در تیمار ۱۰۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زارعی خاک به ترتیب در حدود ۵۴/۳ و ۴۲/۵ درصد افزایش یافت (شکل ۴) که تائید کننده این موضوع است که افزایش کاربرد کود آهن در خاک افزایش جذب را در شرایط تنش نیز به همراه دارد. افزایش جذب آهن با افزایش سطوح کاربرد کود آهن و هم‌چنین بی‌تأثیر بودن کاربرد کود آهن روی جذب عناصر غذائی همچون پتاسیم توسط عباس و همکاران (Abbas et al., 2012) نیز گزارش شده است.



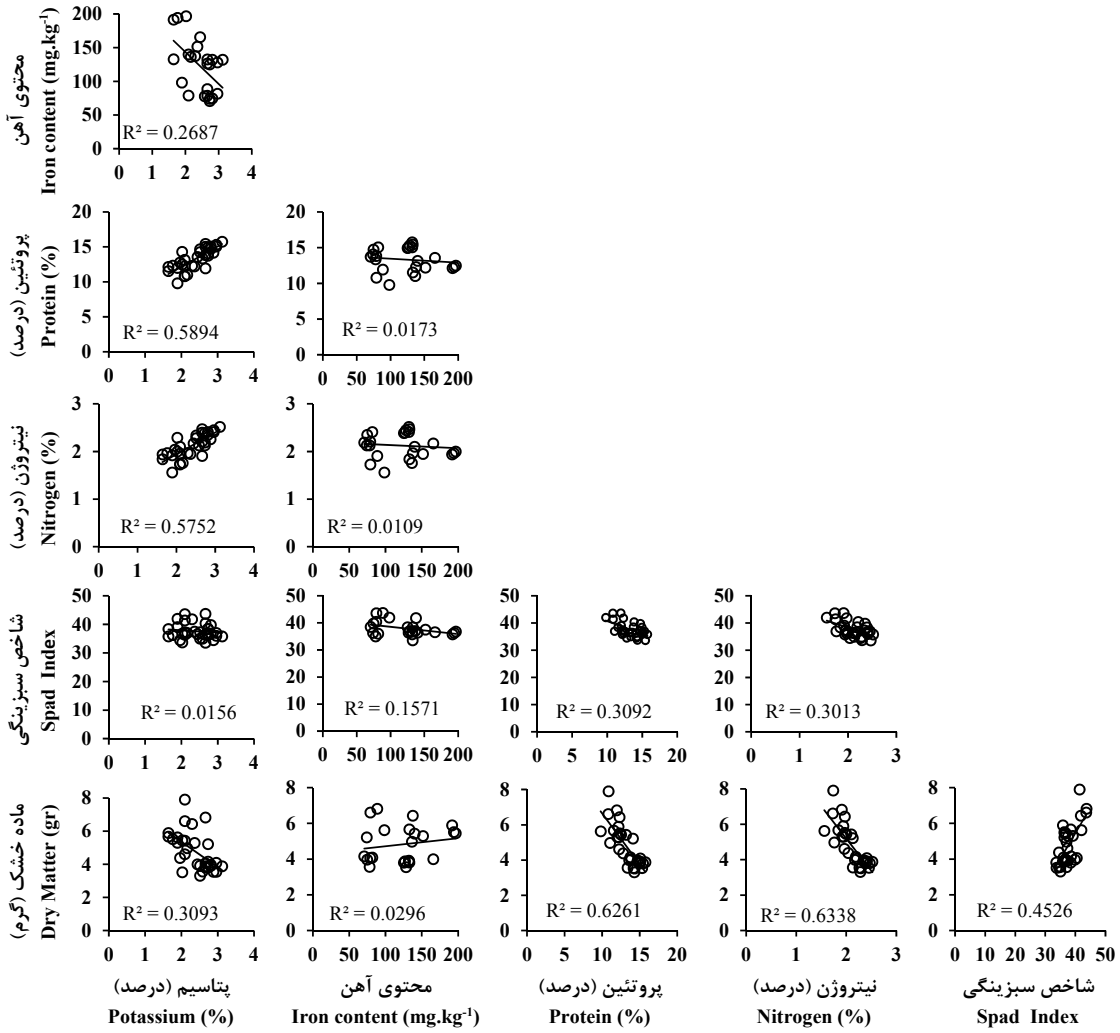
شکل ۳. مقایسه میانگین درصد نیتروژن برگ الف) میانگین غلظت آهن برگ (ب) در سطوح مختلف کاربرد سولفات آهن.

Fig. 3. Mean comparison of (a) leaf nitrogen (%) and (b) leaf iron concentration (mg.kg^{-1}) as affected by different levels of Iron sulfate soil application



شکل ۴. تغییرات غلظت آهن برگ گندم، رقم روشن رشد کرده در شرایط رطوبتی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (ستون‌های تیره) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (ستون‌های سفید)، در پاسخ به کاربرد مقادیر مختلف سولفات آهن.

Fig. 4. Changes in leaf iron concentration (mg.kg^{-1}) of Roshan wheat cultivar, grown in 100% of field capacity moisture conditions (black columns) and 50% of field capacity (white columns), in response to different levels of Iron sulfate application



شکل ۵. روابط بین ماده خشک، درصد عناصر نیتروژن، درصد پتاسیم، درصد پروتئین، محتوای آهن برگ و شاخص سبزینگی

Fig. 5. The relations between dry matter, nitrogen (%), potassium (%), protein (%), iron content and SPADIndex

نتایج تجزیه واریانس ماده خشک تولیدی گندم نشان داد که اختلاف معنی‌داری ($P<0.01$) در بین سطوح رطوبتی برای ماده خشک تولیدی وجود دارد، این در حالی است که سطوح مختلف کاربرد کود آهن و اثرات متقابل آهن و خشکی اثر معنی‌داری روی این صفت نداشتند. کارایی مصرف آب نیز تحت تأثیر هیچ‌یک از تیمارهای آزمایش قرار نگرفت (جدول ۴). به‌طورکلی بیوماس تولیدی در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با ۳۱ درصد کاهش همراه بوده است (جدول ۵). اعمال تنش رطوبتی باعث کاهش ۵/۸ درصدی ارتفاع بوته، ۳۷ درصدی تعداد ساقه در بوته و ۳۳ درصدی سطح برگ در گندم شد که نتیجه آن کاهش تولید و ذخیره مواد فتوسنتزی است که نتیجه قابل‌مشاهده این تغییرات، کاهش ماده خشک تولیدی است. عبدُلی و سعیدی (Abdoli and Saeidi, 2012) در مطالعه اثر تنش خشکی بعد از مرحله گلدهی روی لاین‌های مختلف گندم کاهش ۳۴ درصدی بیوماس و ۲۴ درصدی دانه در شرایط تنش را نسبت به شاهد گزارش دادند. کاهش ماده خشک تولیدی تحت تأثیر تنش خشکی برای اکثر گیاهان همچون علف‌های هرز (Chauhan Johnson, 2010)، گیاهان داروئی (Abbotte et al., 2008) و گیاهان زراعی (Singh, 2007) گزارش شده است. کاهش وزن خشک گیاه در اثر تنش خشکی عمدتاً ناشی از کاهش تشعشع جذب‌شده توسط بخش‌های سبز گیاه، یا کاهش بازده استفاده از تابش و یا

ترکیبی از این دو است. کاهش ظرفیت فتوسنتزی برآیند کاهش استفاده از نور بوده و چیزی جز کاهش ماده خشک تولیدی برای گیاه را به همراه نخواهد داشت

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش تنش خشکی، کاهش در کمیت ماده خشک تولیدی اتفاق می‌افتد. غلظت‌های مختلف آهن هیچ تأثیر معنی‌داری روی صفات مورد ارزیابی نداشتند فقط منجر به افزایش درصد نیتروژن برگ و هم‌چنین افزایش ۱۰۰ درصد محتوای آهن برگ شد که خود می‌تواند در جهت بهبود مقاومت به خشکی نقش داشته باشد. کاربرد غلظت‌های مختلف آهن و همچنین تغییر منبع آهن در خاک‌هایی با اسیدیته مختلف یکی از پیشنهادهای مهم و کاربردی در جهت تحقیقات در این راستا است.

تشکر و قدردانی

بخشی از هزینه‌های این آزمایش از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند تأمین شده است بدین‌وسیله مراتب قدردانی اعلام می‌گردد.

منابع

Abbas, G., Hussain, F., Anwar, Z., Zaman, J., Khattak, K., Ishaque, M., Ullah, A., 2012. Effects of iron on the wheat crop (*Triticum aestivum* L.) by uptake of nitrogen, phosphorus and potassium. Asian Journal of Agricultural Sciences. 4, 229-235.

Abbott, L.B., Bettmann, G.T., Sterling, T.M., 2008. Physiology and recovery of African rue (*Peganum harmala*) seedlings under water-deficit stress. Weed Science. 5, 52-57.

Abdoli, M., Saeidi, M., 2012. Effects of water deficiency stress during seed growth on yield and its components, germination and seedling growth parameters of some wheat cultivars. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 4, 110-1118.

Babaeian, M., Heidari, M., Ghanbari, A., 2010. Effect of water stress and foliar micronutrient application on physiological characteristics and nutrient uptake in sunflower (*Helianthus annus* L.). Iranian Journal of Crop Sciences. 12, 377-391. [In Persian with English summary].

Bhatt, R.M., Srinivasarao, N.K., 2005. Influence of pod load on response of okra towater stress. Indian Journal of Plant Physiology. 10, 54–59.

Bremner, J.M., Mulvaney, C.S., 1982. Nitrogen-total. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd Ed. pp. 595-624. Agronomy No 9. ASA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

Cakmak, I., 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? Plant and Soil. 302, 1-17.

Cakmak, I., Pfeiffer, W.H., McClafferty, B., 2010. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. Cereal Chemistry. 87, 10–20.

Chaitania, K.V., Sundar, D., Jutur, P.P., Ramachandra Reddy, A., 2003. Water stress effects onphotosynthesis in different mulbery cultivars. Plant Growth Regulation. 40, 75–80.

Chatterjee, C., Gopal, R., Dube, B.K., 2006. Impact of iron stress on biomass, yield, metabolism and quality of potato (*Solanum tubersum* L.). Scientia Horticulturae. 108, 1-6.

Chauhan, B.S., Johnson, D.E., 2010. Growth and reproduction of junglerice (*Echinochloa colona*) in response to water stress. Weed Science. 58, 132-135.

Chen, Y., Shi, J., Tian, G., Zheng, Sh., Lin. Q., 2004. Fedeficiency induces Cu uptake and accumulation in *Commelina communis*. Plant Science. 166, 1371-1377.

Delgado, I.C., Sanchez-Raya, A.J., 2007. Effects of sodium chloride and mineral nutrients on initial stages of development of sunflower life. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 38, 15-16.

Dewal, G.S., Pareek, R.G., 2004. Effect of phosphorus, sulphur and zinc on growth, yield and nutrient uptake of wheat (*Triticum aestivum*). Indian Journal of Agronomy. 49, 160-162.

El-Fouly, M.M., Mobarak, Z.M., Salama, Z.A., 2011. Micronutrients (Fe, Mn, Zn) foliar spray for increasing salinity tolerance in wheat *Triticum aestivum* L. African Journal of Plant Science. 5, 314-322.

Gholizade, H., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Hossienpoor, R., Mohiti, Z., Fazli Estabregh, M., Rezaee, M.R., Arab, H., Kazami Fard, R., Fazli, B., Abdshahi, H., Sefidi, H., Rafiee Kazamiyan, A., 2014. Crop Statistics of 2013-2012, Ministry of Agriculture, Assistance of Programing and Economy, the Center of Information Technology and Communication. p.134.

Gorji, M., Eshghizadeh, H., Khosh Goftarmanesh, A., Ashrafi, A., Moalem, A., Poursakhi, N., 2009. Iron efficiency of some crops grown in solution culture. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 12, 655-664. [In Persian with English summary].

Gratani, L., Varone, L. 2004. Leaf key traits of *Erica arborea* L., *Erica multiflora* L. and *Rosmarinus officinalis* L. co-occurring in the Mediterranean maquis. Flora. 199, 58–69.

Keshavarz, L., Farahbakhsh, H., Golkar, P., 2013. Effect of hydrogel and irrigation regimes on chlorophyll content, nitrogen and some growth indices and yield of forage millet (*Pennisetum glaucum* L.). Journal of Crop Production and Processing. 3, 147-161. [In Persian with English summary].

Khan, H.R., McDonald, G.K., Rangel, Z., 2003. Zn fertilization improves water use efficiency, grain yield and seed Zn content in chickpea. Plant and Soil. 249, 389-400.

Khazaie, H.R., Mohammadabadi, A.A., Borzooei, A., 2005. The effect of drought stress on morphological and physiological characteristics of millets. Journal of Iranian Field Crop Research. 3, 35-44. [In Persian with English summary].

Koleli, N., Eker, S., Cakmak, I., 2004. Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc-deficient soil. Environmental Pollution. 131, 453-459.

Mafakheri1, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C., Sohrabi, Y., 2010. Effect of drought stress and subsequent recovery on protein, carbohydrate contents, catalase and peroxidase activities in three chickpea (*Cicer arietinum*) cultivars. Australian Journal of Crop Science. 5, 1255-1260.

Mahmoudi, H., Labidi, N., Ksouri, R., Gharaslli, M., Abdelly, C., 2007. Differential tolerance to iron deficiency of chickpea varieties and Fe resupply effects. Comptes Rendus Biologies. 330, 237- 246.

Malakooti, M.J., 2000. Balanced Nutrition of Wheat is a Way towards the Self–sufficiency in the Country and Society Security. Publication of Agriculture Education, Iranian ministry of Agriculture, Karaj, Iran. [In Persian].

Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second ed. Academic Press, London.

Mirzapour, M.H., Khoshgoftarmanesh, A.H., 2008. Iron fertilization effects on growth, yield and oil seed content of sunflower grown on a saline-sodic calcareous soil. Agricultural Research. 8, 61-74. [In Persian with English Summary].

Mitra, J., 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. Current Science. 80, 758-763.

Molassiotis, A., Tanou, G., Diamantidis, G., Patakas, A., Therios, I., 2006. Effects of 4-month Fe deficiency exposure on Fe reduction, mechanism, photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and antioxidant defence in two peach rootstocks differing in Fe deficiency tolerance. Plant Physiology. 163, 176-185.

Mosavi, S.A.A., Ronaghi, A.M., 2011. Influence of foliar and soil applications of iron and manganese on soybean dry matter yieldand iron-manganese relationship in a Calcareous soil. Australian Journal of Crop Science. 5(12), 1550-1556

Nazarli, H., Faraji, F., Zardashti, M.R., 2011. Effect of drought stress and polymer on osmotic adjustment and photosynthetic pigments of sunflower. Cercetari Agronomice in Moldova. 44, 35-41.

Rascio, A., Russo, M., Platani, C., Difonzo, N., 1998. Drought intensity effects on genotypic differences in tissue affinity for strongly bound water. Plant Science. 132, 121-126.

Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., Vivekanandan, M., 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology. 161, 1189-1202.

Sairam, R.K., Srivastava, G.C., 2001. Water stress tolerance of wheat *Triticum aestivum* L.: Variation in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activiy in tolerant and

susceptible genotype. Journal of Agronomy and Crop Science. 186, 63-70.

Salehi, M., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A. 2002. Leaf nitrogen and chlorophyll as indicators for salt stress. Journal of Iranian Field Crop Research. 1, 199-205. [In Persian with English summary].

Sanjari, P.A., Yazdansepas, A., 2008. Mobilization of dry matter and its relation with drought stress in wheat genotypes. Journal of Agricultural Science and Technology. 11, 121-129. [In Persian with English summary].

Shao, H.B., Chu, L.Y., Jaleel, C.A., Manivannan, P., Panneerselvam, R., Shao, M.A., 2009. Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants-biotechnologically and sustainably improving agriculture and the ecoenvironment in arid regions of the globe. Critical Reviews in Biotechnology. 29, 131-151.

Singh, S.P., 2007. Drought resistance in the race Durango dry bean landraces and cultivars. Agronomy Journal. 99, 1219-1225.

Siosemardeh, A., Khalvandi, M., Bahram-nejad, B., Roohi, A., 2013. Effect of water stress on gas exchanges, leaf soluble protein and chlorophyll content of Sardari wheat ecotypes. Iranian Journal of Filed Crop Science. 43, 573-588. [In Persian with English Summary].

Taiz, L., Zeiger, E., 1998. Plant Physiology (2nd ed.). Sinaye Associates Inc. Publisher. Sonderland, Massachusetts. 757p.

Wang, S.H., Yang, Z.M., Yang, H., Lu, B., Li, S.Q., Lu, Y.P., 2004. Copper-induced stress and antioxidative responses in roots of *Brassica juncea*. Botanical Bulletin of Academia Sinica. 45, 203-212.

White, P.J., Broadley, M.R., 2009. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets—iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. New Phytologist. 182, 49–84.

Wiersma, J.V., 2005. High rates of Fe-EDDHA and seed Iron concentration suggest partial solutions to iron deficiency in soybean. Agronomy Journal. 97, 924-934.

Wu, F.B., Zhang, G.P., 2002. Alleviation of cadmium-toxicity by application of zinc and ascorbic acid in barley. Journal of Plant Nutrition. 25, 2745-2761.

Xiao, X., Xu, X., Yang, F., 2008. Adaptive responses to progressive drought stress in two Populus cathayana populations. Silva Fennica. 42, 705–719.

Yousfi, S., Rabhi, M., Abdelly, C., Gharsalli, M., 2009. Iron deficiency tolerance traits in wild (*Hordeum maritimum*) and cultivated barley (*Hordeum vulgare*). Comptes Rendus Biologies. 332, 523-533.

Ziaeyana, A.H., Rajaiea, M., 2009.Combined effect of Zinc and Boron on yield and nutrients accumulation in corn. International Journal of Plant Production. 3, 35-44.