

پاسخ گندم رقم بیم به اثرات متقابل شوری آب آبیاری و سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم

مهدی کریمی

استادیار پژوهش، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۲۱

چکیده

چگونگی تأثیر تنش شوری بر نیاز غذایی گیاهان یکی از چالش‌های تغذیه گیاهی است. در برخی از منابع، مصرف بیشتر کودهای شیمیایی از جمله کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی در شرایط شور نسبت به شرایط غیر شور توصیه شده است؛ اما، در برخی دیگر از منابع، مصرف کمتر و یا مصرف یکسان کود در شرایط شور و غیر شور پیشنهاد شده است. پژوهش اخیر در راستای بررسی نیاز کودی گندم (رقم بیم) در شرایط مختلف شوری آب آبیاری در مزرعه تحقیقاتی مرکز ملی تحقیقات شوری واقع در یزد اجرا شد. این تحقیق دارای سه سطح شوری آب آبیاری ۱/۸۸، ۷/۲۲ و ۱۴/۱۶ دسی زیمنس بر متر و چهار سطح کود سولفات پتاسیم شامل صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. آزمایش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی به صورت اسپلیت پلات با سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که با افزایش شوری آب آبیاری از ۱/۸۸ به ۷/۲۲ دسی زیمنس بر متر، عملکرد دانه و کاه گندم کاهش معنی‌داری نداشت. با افزایش شوری آب آبیاری به ۱۴/۱۶ دسی زیمنس بر متر، عملکرد دانه و کاه حدود ۵۰ درصد کاهش یافت. بررسی اثرات متقابل شوری و کود سولفات پتاسیم نشان داد که مصرف کود سولفات پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و کاه گندم در هیچ‌یک از سطوح شوری مورد مطالعه نداشت؛ بنابراین، فرضیه افزایش تحمل به شوری گندم با مصرف کود پتاسه در شرایط مزرعه‌ای این تحقیق مردود شد. به‌طور کلی، برای تولید حدود ۶ تن دانه و ۹ تن کاه گندم در شرایط گرم و خشک استان یزد و در خاک آهکی با پتاسیم قابل جذب معادل ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک که با آب با هدایت الکتریکی ۱/۸۸ تا ۱۴/۱۶ دسی زیمنس بر متر آبیاری شود مصرف کود سولفات پتاسیم ضرورتی ندارد.

واژه‌های کلیدی: آب آبیاری، خاک آهکی، یزد.

مقدمه

حداقل رساندن عواقب منفی این تنش، آگاهی از نحوه پاسخ گیاهان به تنش شوری ضرورت دارد. همچنین، توانایی ما در پیش‌بینی میزان کاهش عملکرد گیاه با افزایش شوری آب آبیاری ابزاری توانمند برای تصمیم‌گیری در انتخاب الگوی کشت تلقی می‌گردد (Butcher et al., 2016). به‌طور کلی با افزایش شوری آب‌و‌خاک، رشد گیاه کاهش یافته تا جایی که گیاه از بین می‌رود (Maas, 1977; Maas and Hoffman, 1977; Van Genuchten and Hoffman, 1984). وانگن اختن و هافمن (Van Genuchten and Hoffman, 1984) یک رابطه غیرخطی سیگموییدی برای نحوه تأثیر شوری آب آبیاری بر میزان عملکرد گیاه ارائه دادند و سپس توسط بسیاری از محققین مورد استفاده قرار گرفت

تنش شوری یکی از عوامل جهانی محدودکننده رشد گیاهان و تولید است به‌نحوی که پیش‌بینی‌ها حاکی از این واقعیت تلخ است که در سال ۲۰۵۰ حدود ۵۰ درصد از اراضی قابل کشت دنیا تحت تأثیر تنش شوری قرار خواهند گرفت (Qadir et al., 2014). در ایران، بیش از نیمی از زمین‌های قابل کشت که حدود ۲۷ میلیون هکتار را شامل می‌شود متأثر از تنش شوری و قلیابیت (سدیمی) است (Rezvani Moghaddam and Koocheki, 2001). به‌غیر از کاهش میزان تولیدات کشاورزی که سالانه معادل ۱۲ تا ۲۷/۳ میلیارد دلار است، افزایش شوری موجب مشکلات اجتماعی، اقتصادی و سیاسی نیز خواهد شد (Qadir et al., 2014)؛ بنابراین، به‌منظور به

به مصرف کمتر یا حداقل مصرف مشابه کودهای شیمیایی در خاک‌های شور نسبت به خاک‌های غیر شور اعتقاد دارند (Bernstein et al., 1974). برنشتاین و همکاران (Bar-Tal, 1991). بر این واقعیت تأکید دارند که شوری به‌دردت موجب افزایش یا تشدید کمبود عناصر غذایی می‌گردد؛ بنابراین، آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که کوددهی در شرایط شور شبیه کوددهی در شرایط غیر شور است. آن‌ها با تأکید بر این نکته که در انتخاب هرگونه عملیات اصلاح خاک (کاهش شوری یا افزایش حاصلخیزی) باید محدودکننده‌ترین عامل را شناسایی کرد و در درجه اول عامل محدودکننده‌تر را از بین برد. نتایج مشابهی توسط هانسون و همکاران (Hanson et al., 2006) گزارش شد. آن‌ها همچنین به این نکته تأکید کردند که این مسئله به معنای عدم مصرف کودهای شیمیایی در شرایط شور نیست بلکه به این معنی است که مصرف بیش‌ازحد توصیه شده عناصر غذایی (در شرایط غیر شور) موجب افزایش عملکرد نمی‌شود. عوامل مختلفی نظیر گلخانه‌ای یا مزرعه‌ای بودن تحقیق، استفاده از معیارهای مختلف برای بیان میزان تنش شوری وارد شده به گیاه، تفاوت بین ارقام گندم، مدیریت‌های مختلف مزرعه‌ای نظیر آبیاری و ترکیب متفاوت منابع آب‌شور مورد استفاده از جمله دلایل اصلی تضاد در تفسیر نتایج مربوط به اثرات متقابل شوری و تغذیه است (Karimi, 1999; Grattan and Grieve, 2015).

با بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه اثر متقابل شوری و حاصلخیزی خاک توسط محققین داخل و خارج از کشور ملاحظه می‌شود که نتایج محققین مختلف کاملاً هماهنگ نیست. به نظر می‌رسد تفاوت در شرایط تحقیق، از نظر گلخانه‌ای یا مزرعه‌ای و تفاوت آن‌ها با شرایط استان یزد، از نظر اقلیمی و منابع آب‌و خاک، ایجاب می‌کند تحقیقی مزرعه‌ای و با هدف پاسخ به این سؤال که با افزایش شوری آب آبیاری باید کود سولفات پتاسیم بیشتری مصرف کرد یا خیر انجام گیرد. با توجه به اینکه نیاز کودی رقم مورد مطالعه (رقم بم) نیز تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است انجام این تحقیق ضروری به نظر می‌رسد. عامل دیگری که تحقیق اخیر را نسبت به سایر تحقیقات متمایز می‌کند فراهم بودن سه کیفیت منبع آب در یک مزرعه (منبع خاک) است. بنابراین، تحقیق اخیر تلاش کرده است تا با بررسی اثر متقابل سطوح مختلف شوری (شوری‌های کمتر، نزدیک و بیشتر از حد آستانه تحمل به شوری) و عنصر غذایی پتاسیم نیاز رقم بم

(Castrignanò et al., 2002). علت اصلی کاهش عملکرد با افزایش تنش شوری، کاهش آب قابل‌دسترس گیاه، ناهنجاری‌های تغذیه‌ای و تخصیص انرژی تولید شده از فرایند فتوسنتز به تنظیم فشار اسمزی داخل گیاه به‌جای فرایندهای رشدی (رویشی و زایشی) گیاهان است. تولید هورمون‌های گیاهی نظیر آبسزیک اسید و سیتوکینین توسط ریشه‌ها که کنترل‌کننده میزان رشد می‌باشند نیز یکی دیگر از روش‌های کنترل رشد گیاهان در شرایط تحت تنش است (Bucher et al., 2016).

از آنجاکه قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک‌های ایران به نحوی است که قادر به تأمین همه نیازهای گیاهان نیست مصرف کودهای شیمیایی به‌عنوان تقویت‌کننده خاک و عامل افزایش رشد و عملکرد گیاهان نقش مهمی در افزایش عملکرد در واحد سطح دارد (Keshavarz et al., 2015; Karimi, 2015). این مهم به‌خوبی توسط کارشناسان و کشاورزان پذیرفته شده است به‌نحوی که در حال حاضر سالانه بیش از یک میلیون تن عنصر غذایی در ایران مصرف می‌شود و نسبت به دهه ۱۳۴۰ به میزان ۷۶ برابر افزایش یافته است (Keshavarz et al., 2015).

پتاسیم یکی از عناصر غذایی پرنیاز گیاهان بوده و مصرف آن برای تولید گندم در بسیاری از مزارع ضرورت دارد. به‌عنوان مثال، رمضانپور و همکاران (Ramazanpour et al., 2008) نشان دادند که مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گندم در منطقه داراب استان فارس شد، ولی مصرف بیشتر این کود تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت. جعفرزاده و همکاران (Jafarzade et al., 2013) نیز مصرف حاکی سولفات پتاسیم یا نانو کود پتاسیم همراه با یک مرحله محلول‌پاشی نانو کود پتاسیم در مرحله پنجه‌زنی گندم، برای تولید حداکثر عملکرد اقتصادی در سبزار توصیه نمودند. حد بحرانی پتاسیم خاک در شرایط غیر شور به عوامل متفاوتی نظیر میزان عملکرد و شرایط اقلیمی بستگی دارد و حدود ۲۴۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در مزارع گندم ایران است (Ramazanpour et al., 2008).

نکته‌ای که باید در مدیریت مصرف کودهای شیمیایی به آن توجه نمود، اثر شوری بر نیاز غذایی گیاهان است. برخی از محققان معتقدند که با شورتر شدن محیط ریشه گیاه باید مقدار بیشتری از کودهای شیمیایی را مصرف نمود (Balali et al., 2001). این در حالی است که برخی دیگر از محققان

تا شوری آب آبیاری ۱۲ دسی زیمنس بر متر حدود ۵ تن در هکتار است (Vahhabzadeh et al., 2009; Amini, 2016).

کود سولفات پتاسیم قبل از کاشت و بر اساس تیمارهای تعریف شده مصرف شد. سایر کودهای کم‌نیاز و پرنیاز با توجه به نتایج تجزیه خاک (جدول ۱) و توصیه‌های کودی موجود (Balali et al., 2000; Malakooti, 2000) مصرف شد. میزان سوپر فسفات تریپل، اوره، سولفات آهن، سولفات روی، سولفات منگنز و سولفات مس مصرفی به ترتیب معادل ۱۰۰، ۴۰۰، ۴۰، ۴۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار بود. کودهای کم‌مصرف و فسفوری پیش از کاشت و در یک مرحله مصرف شد. کود اوره در چهار مرحله و در تاریخ‌های چهاردهم آذرماه، دوازدهم دی‌ماه، هشتم اسفند و شانزدهم فروردین مصرف شد. خصوصیات خاک مانند قابلیت هدایت الکتریکی (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954)، بافت به روش هیدرومتر (Bouyoucos, 1962) اسیدیته در گل اشباع، کربن آلی به روش والکلی بلاک (Jackson, 1958)، فسفر قابل جذب به روش آبی آسکوربیک (Watanabe and Olsen, 1965) و پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر تعیین شد. ترکیب آنیونی و کاتیونی آب‌های مورد استفاده در مزرعه نیز به روش آزمایشگاه شوری ایالات متحده امریکا (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954) اندازه‌گیری شد. در پایان فصل رشد، سه مترمربع از هر کرت آزمایشی برداشت و عملکرد دانه و کاه اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین اجزای عملکرد دانه نیز تعداد ۱۰ بوته را به‌طور تصادفی انتخاب و تعداد دانه در سنبله، تعداد دانه در سنبلک، وزن هزار دانه، طول ساقه اصلی، ارتفاع کل ساقه اصلی و طول سنبله اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار سیگماپلات ترسیم شد.

گندم که رقمی متحمل به شوری است را به کود سولفات پتاسیم در شرایط مزرع‌ای استان یزد مشخص نماید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق مزرع‌ای به مدت سه سال در ایستگاه تحقیقاتی مرکز ملی تحقیقات شوری واقع در استان یزد انجام شد. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن اصلاح شده فراهشک سرد با میانگین بارندگی سالانه ۷۰ میلی‌متر و میانگین سالانه تبخیر از تشتک ۴۰۰۰ میلی‌متر است (Rad et al., 2009). تیمارهای این تحقیق شامل سه سطح شوری آب آبیاری (۱/۸۸، ۷/۲۲ و ۱۴/۱۶ دسی زیمنس بر متر) و چهار سطح کود سولفات پتاسیم (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. آزمایش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی و به‌صورت اسپلیت پلات با سه تکرار اجرا شد. به‌منظور تطابق حداکثری شرایط تحقیق با شرایط واقعی کشاورزی، دو منبع آب آبیاری طبیعی با هدایت‌های الکتریکی ۱/۸۸ و ۱۴/۱۶ دسی زیمنس بر متر (جدول ۲) در دو استخر جداگانه اما در یک مزرعه (ایستگاه تحقیقات شوری صدوق واقع در استان یزد) ذخیره گردید. آب آبیاری با شوری ۷/۲۲ دسی زیمنس بر متر از طریق اختلاط دو منبع آب آبیاری دیگر تهیه و از طریق سیستم لوله‌کشی به سطح مزرعه منتقل گردید. گندم رقم بم در تاریخ ۱۴ آذرماه، با تراکم کاشت ۵۰۰ عدد بذر در هر مترمربع در کرت‌هایی به مساحت ۱۲/۵ مترمربع کشت گردید. عملیات آبیاری به‌صورت آبیاری ثقلی و در ۶ مرحله، به ترتیب در چهاردهم آذر، بیست و نهم آذر، دوازدهم دی، نهم اسفند، بیست و هشتم اسفند و پانزدهم فروردین، صورت پذیرفت. به‌غیر از آبیاری دوم و سوم که با عمق حدود پنج سانتی‌متر انجام شد عمق آب آبیاری در سایر آبیاری‌ها حدود ۱۰ سانتی‌متر بود. لازم به ذکر است که گندم رقم بم یکی از ارقام متحمل به شوری است و عملکرد دانه آن

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش از عمق ۳۰ سانتیمتری

Table 1. Physico-chemical properties of the soil used in the experiment (0-30 cm).

بافت خاک	کربن آلی	نیتروژن	کربنات کلسیم	اسیدیته	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس
Soil texture	O.C	N	CaCO ₃	pH	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu
	%			mg kg ⁻¹						
S.L	0.22	0.02	30.92	8.06	8.2	150	3.8	3.18	0.34	0.62

نتایج و بحث

ویژگی‌های منابع آب و خاک مورد مطالعه

بر اساس جدول ۱، خاک مورد مطالعه حاوی بیش از ۳۰ درصد آهک است، بنابراین، یک خاک آهکی محسوب می‌شود. نظر به اینکه میزان کربن آلی خاک بسیار پایین است، خاک مورد مطالعه از نظر حاصلخیزی فقیر محسوب شده و مصرف کودهای شیمیایی نظیر کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی مطابق دستورالعمل‌های توصیه کودی موجود (Balali et al., 2000; Moshiri et al., 2014) و به منظور افزایش سطح حاصلخیزی خاک و حصول عملکرد مناسب ضرورت دارد.

منابع آب مورد استفاده در این تحقیق (جدول ۲) به نحوی انتخاب گردید که دامنه وسیعی از تنش شوری، شامل تنش

کمتر، نزدیک و بیشتر از حد آستانه، به گیاه وارد گردد. اولین منبع آب آبیاری با هدایت الکتریکی ۱/۸۸ دسی زیمنس بر متر، برای کشاورزی دارای محدودیت کم تا متوسط است (Ayers and Westcott, 1985) و انتظار می‌رود تیمارهایی که از این منبع آب آبیاری می‌شوند بیشترین عملکرد را داشته باشند. دومین و سومین منابع آب مورد استفاده از نظر کشاورزی آب شور محسوب می‌شوند ولی انتظار می‌رود مصرف آب آبیاری با هدایت الکتریکی ۷/۲۲ دسی زیمنس بر متر تأثیر منفی بر عملکرد گندم نداشته باشد. همچنین، پیش‌بینی می‌شود آبیاری با سومین منبع آب (هدایت الکتریکی ۱۴/۱۶ دسی زیمنس بر متر) با کاهش قابل توجه عملکرد همراه باشد (Grattan and Grieve, 1999).

جدول ۲. ویژگی‌های منابع آب مورد استفاده در طرح

Table 2. Properties of water sources used in the experiment.

هدایت الکتریکی آب آبیاری ECiw (dS/m)	نسبت کلسیم به منیزیم اسیدیته pH	نسبت جذب سدیم منیزیم Ca/Mg	نسبت جذب سدیم سدیم SAR	کلسیم منیزیم سدیم پتاسیم کربنات بی کربنات Ca ²⁺ Mg ²⁺ Na ⁺ K ⁺ CO ⁻² ₃ HCO ⁻³ ₃					
				meqL ⁻¹					
1.88	8.26	0.85	5.76	4.15	4.85	12.22	0.13	0.38	2.85
7.22	8.22	0.52	11.82	9	17.15	42.68	0.24	0.3	1.67
14.16	8.26	0.52	24.73	22.19	42.8	141	0.41	0.92	1.98

اثر شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که تنش شوری اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر عملکرد دانه، عملکرد کاه، تعداد کل سنبلک‌ها، تعداد دانه در خوشه، تعداد سنبلک بارور، طول سنبلک (در سطح پنج درصد) و طول ساقه داشت ولی تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه و شاخص برداشت نداشت. ارتباط بین تنش شوری و عملکرد دانه (رشد زایشی) و کاه گندم (رشد رویشی) به صورت غیرخطی و سیگموییدی بود (شکل ۱).

این نوع الگوی کاهش عملکرد با افزایش شوری اولین بار توسط وانگن اوختن (Van Genuchten et al., 1983) ارائه و سپس توسط سایر محققین (Castrignanò et al., 2002) گزارش گردید. بر اساس این معادله (شکل ۱)، میزان عملکرد کاه و دانه در شوری آب آبیاری ۱۴/۵ و ۱۴/۱۴ دسی زیمنس

بر متر به میزان ۵۰ درصد کاهش یافت. همچنین این معادله به این نکته اشاره دارد که با افزایش شوری آب آبیاری از دو به ۱۰ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب عملکرد کاه و دانه گندم مورد مطالعه (رقم بم) تغییری نکرد؛ به عبارت دیگر نتایج این تحقیق نشان داد که امکان کاربرد آب‌های با شوری ۱۲ دسی زیمنس بدون کاهش معنی‌دار عملکرد دانه وجود دارد. بررسی منابع موجود (Ayers and Westcott, 1985) نشان می‌دهد که گیاه گندم یک گیاه نسبتاً متحمل به تنش شوری است و میزان تحمل به شوری در بین ارقام مختلف متفاوت است. رقم بم یکی از ارقام متحمل به شوری است و میزان عملکرد آن در شوری آب آبیاری ۸ تا ۱۲ دسی زیمنس بر متر، ۴/۹۶ تن در هکتار گزارش شده است (Vahhabzadeh, et al., 2009; Amini, 2016).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثرات سه سطح شوری آب آبیاری (پلات اصلی)، چهار سطح کود سولفات پتاسیم (پلات فرعی) و برهمکنش آن‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

Table 3. Analysis of variance for wheat yield and yield components in a split plot experimental design with four potassium sulphate application rates (K) (sub plot) and three irrigation water salinity levels (S) (main plot)

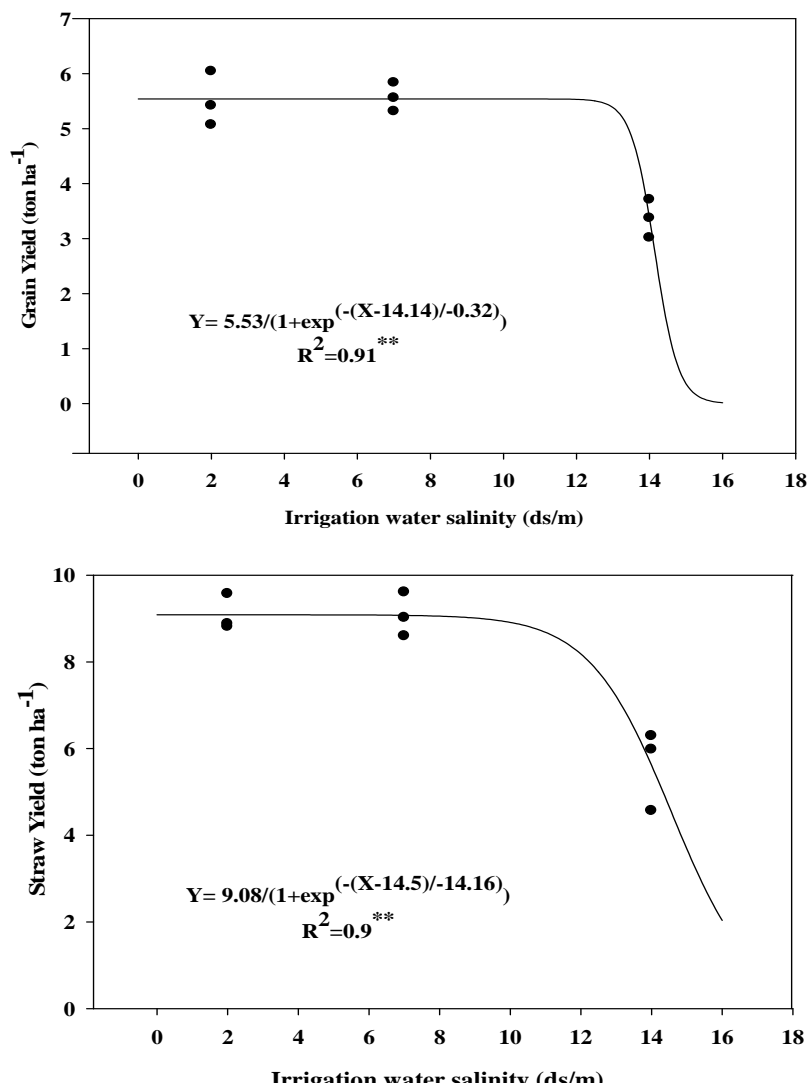
Sources of variation	df	Mean square of plant traits					میانگین مربعات خصوصیات گیاه				
		عملکرد دانه	عملکرد کاه	وزن هزار دانه	شاخص برداشت	تعداد کل گلچه	تعداد دانه در خوشه	تعداد گلچه‌های بارور	طول خوشه	طول ساقه	
		Grain yield	Straw yield	1000 seeds weight	Harvest index	Total spikelet No.	Seeds per spike	Fertile spikelet No.	Spike lenght	Stem lenght	
تکرار	2	0.41 ^{ns}	0.32 ^{ns}	14.31 ^{ns}	16.59 ^{ns}	0.05 ^{ns}	37.55 ^{ns}	3.15 ^{ns}	5.10 ^{ns}	26.13 ^{ns}	
شوری	2	18.89 ^{**}	48.09 ^{**}	4.11 ^{ns}	0.44 ^{ns}	11.4 ^{**}	183.25 ^{**}	10.08 ^{**}	12.29 [*]	279.9 ^{**}	
تکرار	4	0.65 ^{ns}	0.93 ^{ns}	20.73 ^{ns}	4.49 ^{ns}	3.61 ^{**}	39.23 ^{ns}	6.69 ^{**}	1.1 ^{ns}	18.76 ^{ns}	
کود پتاسیم	3	0.58 ^{ns}	2.30 ^{ns}	4.21 ^{ns}	0.83 ^{ns}	2.66 ^{**}	45.15 ^{ns}	1.66 ^{**}	5.9 ^{ns}	6.09 ^{ns}	
کود پتاسیم	6	0.26 ^{ns}	0.56 ^{ns}	9.8 ^{ns}	8.14 ^{ns}	0.52 ^{ns}	12.59 ^{ns}	0.48 ^{ns}	2.66 ^{ns}	15.84 ^{ns}	
ضریب تغییرات (%)		10.29	12.13	7.54	7.3	4.55	15.18	7.32	22.8	5.25	

مقادیر میانگین مربعات دارای * و ** به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار هستند. مقادیر میانگین مربعات دارای ns از نظر آماری غیر معنی‌دارند. Values of mean squares followed by ** or * are significant at $\alpha=0.01$ and $\alpha=0.05$, respectively. ns= non-significant

کل سنبلک‌ها افزایش یافت؛ به عبارت دیگر افزایش این شاخص‌ها از کاهش عملکرد دانه و کاه با افزایش شوری آب آبیاری از دو به ۱۰ دسی زیمنس بر متر جلوگیری نمود.

اثر متقابل شوری و کود پتاسیمی بر عملکرد دانه گندم
 نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثرات متقابل شوری و کود سولفات پتاسیم (جدول ۳) نشان داد که اثر متقابل بین شوری و کود پتاسیمی معنی‌دار نبود؛ به عبارت دیگر تأثیر کود پتاسیمی بر عملکرد و اجزا عملکرد گندم در سطوح مختلف شوری در شرایط این تحقیق مشابه بود. نتایج مربوط به مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری و کود پتاسیمی بر عملکرد دانه نیز مؤید این موضوع است (جدول ۵). همان‌طور که از جدول ۵ مشخص است در کلیه سطوح شوری با مصرف کود سولفات پتاسیم میزان عملکرد دانه از روند نسبتاً مشابه و کاهشی برخوردار بود.

تفاوت زیاد بین ارقام مختلف گندم از نظر تحمل به شوری توسط سایر محققین (Karimi, 2015) نیز گزارش شده است. همچنین، استفان و همکاران (Steppuhn et al., 2005) به این نکته اشاره کرده‌اند که شوری عصاره اشباع خاک که ۵۰ درصد از عملکرد پتانسیل گندم تولید می‌شود برای رقم‌های مختلف گندم متفاوت بوده و بین ۲/۷۶ تا ۲۴/۷۱ دسی زیمنس بر متر متغیر است. یکی دیگر از علل عدم تأثیر تنش شوری حدود ۱۰ دسی زیمنس بر متر بر میزان عملکرد دانه و کاه گندم مورد مطالعه عدم تأثیر آن بر شاخص‌هایی نظیر وزن هزار دانه، شاخص برداشت و تعداد سنبلک عقیم (جدول ۴) و تأثیر مثبت شوری آب آبیاری ۷/۲۲ دسی زیمنس بر متر بر شاخص‌هایی نظیر افزایش طول سنبله، تعداد سنبلک بارور، تعداد دانه در سنبله و تعداد کل سنبلک‌ها بود (شکل ۲). این روابط غیرخطی نشان می‌دهند که با افزایش شوری از ۱/۸۸ به ۷/۲۲ دسی زیمنس بر متر طول سنبله، تعداد سنبلک بارور، تعداد دانه در سنبله و تعداد



شکل ۱. اثر شوری آب آبیاری بر عملکرد دانه و گاه گندم در شرایط مزرعه‌ای استان یزد.

Fig. 1. Effect of irrigation water salinity on wheat straw and seed yield under field conditions of Yazd province.

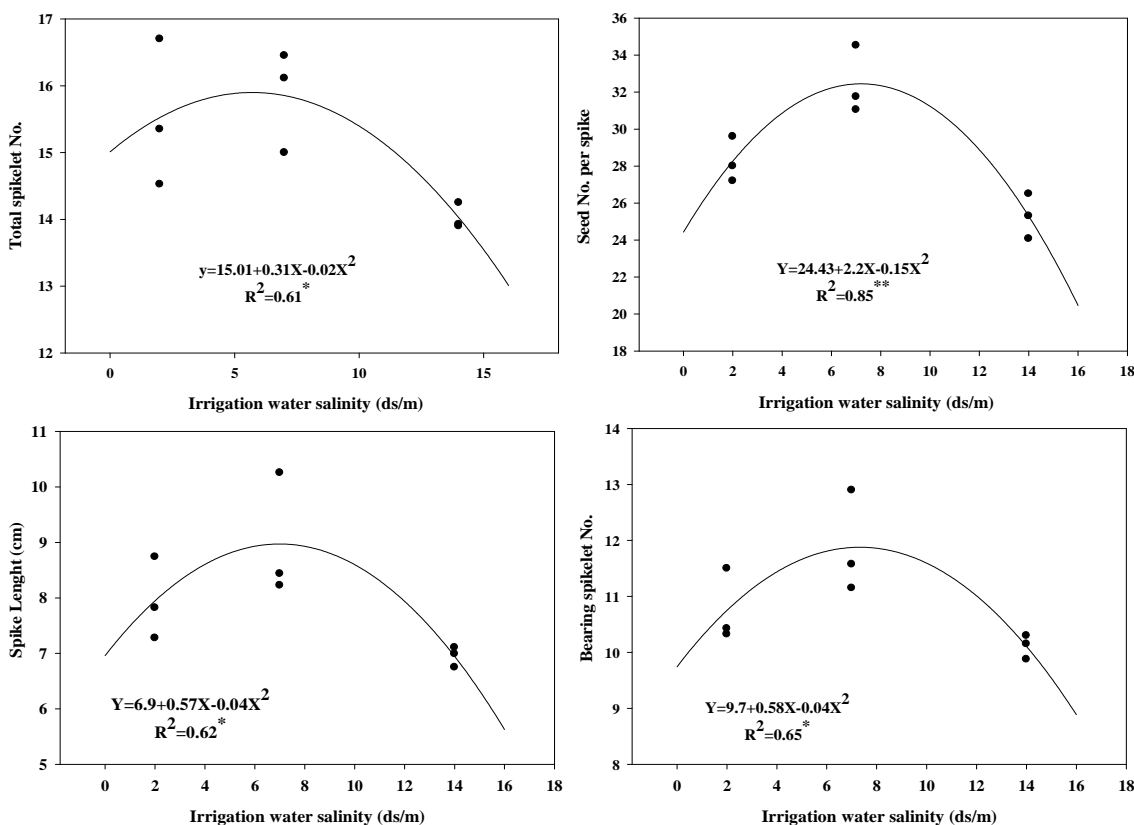
جدول ۴. اثر شوری آب آبیاری بر وزن هزار دانه، شاخص برداشت و تعداد سنبلک عقیم گندم

Table 4. Effect of irrigation water salinity on 1000- seed mass, harvest index and non-bearing spikelets of wheat.

هدایت الکتریکی آب آبیاری (dS/m)	وزن هزاردانه (گرم)	شاخص برداشت (%)	تعداد گلچه‌های عقیم
EC _{iw} (dS/m)	1000- seed weight (g)	Harvest index (%)	Non-fertile spikelets
1.88	42.37 ^a	37.67 ^a	1.73 ^a
7.22	42.75 ^a	38.05 ^a	1.89 ^a
14.16	43.53 ^a	37.89 ^a	2.01 ^a
CV	7.45	7.33	18.95

در داخل هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means within each column followed by the same small letters are not significantly different at the 0.05 level, according to Duncan test.



شکل ۲. اثر شوری آب آبیاری بر برخی از اجزای عملکرد گندم در شرایط مزرعه‌ای استان یزد.

Fig. 2. Effect of irrigation water salinity on some wheat yield components under field conditions of Yazd province.

(et al., 2014). با توجه به اینکه میزان پتاسیم قابل جذب خاک ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (جدول ۱) و کمتر از میزان بهینه است، برای تولید پنج تن در هکتار دانه مصرف حداقل ۸۰ و حداکثر ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم توصیه می‌شود (Moshiri et al., 2014). یکی از دلایل عدم پاسخ گندم به مصرف کود سولفات پتاسیم در شرایط این تحقیق، اضافه شدن حدود ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم از طریق آب آبیاری است. همان‌طور که از جدول ۲ مشخص است غلظت یون پتاسیم در آب آبیاری معادل ۰/۱۳ میلی‌اکی‌والان در لیتر است و با توجه به حجم آب مصرفی (۵۰۰۰ مترمکعب) در طول فصل رشد، حدود ۲۵ کیلوگرم یون پتاسیم (معادل ۶۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم) به خاک اضافه شده است. متأسفانه در دستورالعمل‌های توصیه‌کودی، این عامل لحاظ نمی‌شود؛ بنابراین، این مشاهده لزوم انجام تحقیقات بیشتر در راستای

نکته دیگری که باید به آن اشاره کرد عدم افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گندم با مصرف کود سولفات پتاسیم (در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود سولفات پتاسیم) و در کلیه سطوح شوری این تحقیق بود. به‌عنوان مثال، مصرف کود سولفات پتاسیم در شوری آب آبیاری ۱/۸۸ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه گردید (جدول ۵). همان‌طور که از جدول ۵ مشخص است مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم میزان عملکرد دانه را از ۶/۰۱ به ۵/۱۱ تن در هکتار (معادل ۱۵ درصد) کاهش داد. ضمناً مصرف بیشتر کود پتاسیمی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت و نتوانست عملکردی معادل یا بیشتر از تیمار عدم مصرف کود پتاسیمی را حاصل نماید. عدم پاسخ گیاه به مصرف کود پتاسیمی در شوری آب آبیاری ۱/۸۸ دسی‌زیمنس بر متر بیانگر عدم نیاز گندم به این کود است. این مشاهده مخالف فرض اولیه نیاز گندم به کود پتاسیمی با توجه به نتایج آزمون خاک است (Moshiri, 2000; Balali et al.,

در هکتار سولفات پتاسیم میزان عملکرد را از ۵/۸۱ تن در هکتار در تیمار عدم مصرف کود پتاسیمی به ۵/۱۴ تن در هکتار (معادل ۱۱/۵ درصد) کاهش داد. عملکرد دانه در کرت‌هایی که با ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم تیمار شده بودند به ترتیب معادل ۵/۵۱ و ۵/۸۱ تن در هکتار بود.

تکمیل و اصلاح دستورالعمل‌های توصیه کودی موجود را گوشزد می‌کند. روند نسبتاً مشابهی از تأثیر منفی کود پتاسیمی بر عملکرد دانه در شوری آب آبیاری ۷/۲۲ دسی زیمنس بر متر نیز مشاهده شد (جدول ۵). در دومین سطح شوری نیز مصرف کود سولفات پتاسیم موجب کاهش عملکرد دانه گردید اما این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود. مصرف ۱۰۰ کیلوگرم

جدول ۵. اثر متقابل شوری آب آبیاری و سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم بر عملکرد دانه گندم (تن در هکتار).

Table 5. Interactive effects of irrigation water salinity and potassium fertilizer application rates on wheat grain yield (t ha⁻¹).

هدایت الکتریکی آب آبیاری (dS/m)	مقدار کود سولفات پتاسیم مصرفی (کیلوگرم در هکتار) Potassium sulphate rate (kg ha ⁻¹)			
	0	100	200	300
Irrigation water salinity (dS/m)				
1.88	6.01 ^{Aa}	5.11 ^{Ab}	5.55 ^{Aab}	5.35 ^{Aab}
7.22	5.81 ^{Ba}	5.14 ^{Aa}	5.51 ^{Aa}	5.81 ^{Aa}
14.16	3.42 ^{Bab}	3.37 ^{Bab}	2.9 ^{Bb}	3.75 ^{Ba}

در داخل هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک بزرگ هستند و در هر ردیف میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک کوچک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means within each column followed by the same capital letters and within rows followed by the same small letters are not significantly different at the 0.05 level, according to Duncan test.

توسط متشرع زاده و همکاران نیز گزارش گردید (Motesharezadeh et al., 2015). این محققین نشان دادند که مصرف پتاسیم و روی موجب کاهش نسبت سدیم به پتاسیم در گندم گردید.

گرچه افزایش تحمل به خشکی و شوری با مصرف کودهای پتاسه در برخی منابع که عمدتاً در شرایط آزمایشگاهی انجام شده است (Heakal, et al., 1990) گزارش شده است لیکن داده‌های کمی دال بر بهبود رشد یا عملکرد گیاهان با افزودن پتاسیم به خاک‌های حاوی سدیم وجود دارد (Grattan and Grieve 1999). به‌عنوان مثال نتایج تحقیقات گلخانه‌ای متشرع زاده و همکاران (Motesharezadeh et al., 2015) نشان داد که در شرایط کمبود روی مصرف پتاسیم موجب افزایش رشد بخش هوایی گندم در شرایط شور (شوری خاک ۱۰ دسی زیمنس بر متر) گردید. لیکن در شرایط تأمین روی مصرف کود پتاسیمی نتوانست تأثیر مثبتی بر رشد گندم داشته باشد. تحقیقات درودی و سیادت (Doroodi and Siadat, 2000) نیز نشان

اثر منفی مصرف کود پتاسه بر عملکرد دانه گندم در سومین سطح شوری نیز مشاهده شد (جدول ۵). مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم موجب کاهش عملکرد دانه از ۳/۴۲ تن در هکتار در تیمار شاهد به ۳/۳۷ و ۲/۹۰ تن در هکتار گردید. این کاهش به ترتیب معادل یک و ۱۵ درصد از عملکرد در تیمار شاهد بود. کاهش عملکرد دانه گندم با مصرف کود پتاسه توسط سایر محققین (Motesharezadeh et al., 2015) نیز گزارش گردید. لازم به ذکر است که مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم با افزایش غیر معنی‌دار عملکرد دانه که معادل ۹/۶ درصد است همراه بود. اثر مثبت مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم بر عملکرد دانه می‌تواند به دلیل اثر یون پتاسیم در کاهش جذب عناصر غیرضروری نظیر سدیم و کاهش اثرات منفی سدیم بر رشد و نمو گیاه باشد (Marschner, 2012). در راستای تأیید این موضوع، اثر مثبت اما غیر معنی‌دار سطوح بالای سولفات پتاسیم (۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بر رشد گندم در شرایط گلخانه‌ای

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که شوری آب آبیاری ۷/۲۲ دسی زیمنس بر متر نتوانست تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و کاه گندم رقم بم داشته باشد. این مشاهده به دلیل عدم تأثیر شوری آب آبیاری ۷/۲۲ دسی زیمنس بر متر بر شاخص‌هایی نظیر وزن هزار دانه، شاخص برداشت و تعداد سنبلک عقیم و تأثیر مثبت آن بر شاخص‌هایی نظیر افزایش طول سنبله، تعداد سنبلک بارور، تعداد دانه در سنبله و تعداد کل سنبلک‌ها بود. آستانه تحمل به شوری این رقم گندم در شرایط این تحقیق برای عملکرد دانه و کاه به ترتیب ۱۲ و ۹ دسی زیمنس بر متر بود. لیکن شوری آب آبیاری ۱۴/۱۶ دسی زیمنس بر متر موجب کاهش عملکرد دانه و کاه گندم به میزان ۵۰ درصد گردید. در این شرایط جبران کاهش عملکرد به دلیل تنش شوری با مصرف کود پتاسیمی در شرایط مزرعه‌ای امکان‌پذیر نبود؛ به عبارت دیگر در صورتی که عامل اصلی محدودکنندگی رشد گیاه شوری باشد باید نسبت به رفع تنش شوری اقدام نمود و بهبود حاصلخیزی خاک از طریق مصرف کودهای شیمیایی و به میزانی بیشتر از میزان توصیه شده در شرایط غیر شور نمی‌تواند منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد گردد.

قدردانی

بدین‌وسیله از همکاران مرکز ملی تحقیقات شوری و بخش خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد که در اجرای این تحقیق (بخشی از طرح تحقیقاتی به شماره ثبت ۱۱۳-۸۲-۳۲-۱۲۴) کمک نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از جناب آقای دکتر بابک خیام باشی و دکتر انور بن ابراهیم استاد دانشگاه پوترای مالزی که نرم‌افزار سیگماپلات را به این جانب معرفی نمودند سپاسگزارم.

داد که اگرچه مصرف کود پتاسیمی در شرایط مزرعه‌ای موجب افزایش غلظت پتاسیم در برگ پرچم گردید ولی نتوانست اثر منفی ناشی از تنش شوری بر عملکرد گندم را کاهش دهد.

برخلاف تأمین حداقل بخشی از نیاز گندم به عنصر پتاسیم از طریق پتاسیم بومی خاک محل آزمایش که معادل ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است، عدم تأثیر کود پتاسیمی مصرفی بر عملکرد دانه گندم در شرایط این تحقیق می‌تواند به دلیل تأمین بخشی از پتاسیم موردنیاز از طریق آب آبیاری و نیاز کم گندم به عنصر پتاسیم جهت تولید دانه (Hocking, 1994 and Tayler, 2017) باشد. با توجه به اینکه غلظت یون پتاسیم در آب‌های آبیاری با هدایت الکتریکی ۱/۸۸، ۷/۲۲ و ۱۴/۱۶ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۰/۱۳، ۰/۲۴ و ۰/۴۱ میلی‌اکی والان در لیتر و حجم آب مصرفی در طول دوره رشد گندم ۵۰۰۰ مترمکعب بود، سالانه به ترتیب حدود ۲۵، ۴۶/۸ و ۷۹/۹۵ کیلوگرم یون پتاسیم که معادل ۵۵/۷۷، ۱۰۴/۴ و ۱۷۸/۳۵ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم در هکتار است به خاک اضافه شد.

از دیگر عوامل عدم تأثیر معنی‌دار کودهای پتاسیمی بر عملکرد دانه گندم و کاهش نیاز گندم به کود پتاسیمی با افزایش شوری آب‌و‌خاک در شرایط این تحقیق می‌تواند با امکان جایگزینی پتاسیم به‌وسیله سدیم یا تحریک رشد به‌وسیله سدیم که توسط مارشنر (Marschner, 2012) گزارش شده است ارتباط داشته باشد. به‌طوری کلی گندم از جمله گیاهانی است که امکان جایگزینی بخشی از پتاسیم موردنیاز آن با سدیم وجود داشته و همچنین حضور سدیم می‌تواند منجر به افزایش رشدی شود که با مصرف مقادیر زیادی از پتاسیم امکان‌پذیر نیست. ولی ضروری بودن سدیم برای گندم گزارش نشده است (Marschner, 2012).

منابع

- Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1985. Water quality for agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29, Rev. 1, U.N. Food and Agriculture Organization, Rome
- Balali, M., Mohajeremilani, P., Khademi, Z., Doroodi, M.S., Mashayekhi, H.H., Malakooti, M.J., 2000. A comprehensive computer model for fertilizer recommendation towards sustainable agriculture. Ammoshe Keshavarzi Press, Karaj. [In Persian].
- Bar-Tal, A., Feigenbaum, S., Sparks D.L., 1991. Potassium-salinity interactions in irrigated corn. Irrigation Science. 12, 27-35.
- Bernstein, L., Francois, L.E. Clark, R.A., 1974. Interactive effects of salinity and fertility on yields of grains and vegetables. Agronomy Journal. 66, 412-421.

- Bouyoucos, C.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soil. *Agronomy Journal*. 54, 406-465.
- Butcher, K., Wick, A.F., Desutter, T., Chatterjee, A., Harmon, J., 2016. Soil Salinity: A Threat to Global Food Security. *Agronomy Journal*. 108, 2189–2200.
- Castrignanò A., Katerji N., Mastrorilli M. 2002. Modeling crop response to soils salinity: review and proposal of a new approach. In: Katerji, N., Hamdy A., van Hoorn, I.W., Mastrorilli, M., (eds.), *Mediterranean Crop Responses to Water and Soil Salinity: Ecophysiological and Agronomic Analyses*. Bari: CIHEAM, 2002. p. 251 -280 (Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches; n. 36).
- Doroodi, M.S., Siadat, H., 2000. Effect of irrigation water salinity, potassium sulphate and urea on wheat yield and nutrient concentration. In: Malakooti, M.J., (eds.), *Balanced Nutrition of Wheat*. Amoozeshe Keshavarzi Press, Karaj, Iran, pp. 445-469. [In Persian].
- Grattan S.R., Grieve C.M., 1999. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: Pessaraki, M., (ed.), *Handbook of Plant and Crop Stress*. CRC Press, New York, USA, pp. 275-300.
- Hanson B.R., Grattan, S.R., Fulton, A., 2006. *Agricultural salinity and drainage*, United States of America. Department of Land, Air and Water Resources, University of California.
- Heakal, M.S., Modahish, A.S., Mashady, A.S., Metwally, A.I. 1990. Combined effects of leaching fraction salinity and potassium content of waters on growth and water-use efficiency of wheat and barely. *Plant and Soil*. 125(2), 177-184.
- Hocking, P. J., 1994. Dry-matter production, mineral nutrient concentrations, and nutrient distribution and redistribution in irrigated spring wheat. *Journal of Plant Nutrition*. 17.8, 1289-1308.
- Jackson, M.L., 1958. *Soil Chemical Analysis*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Jafarzadeh, R., Jami Moeini, M., Hokmabadi, M., 2013. Response of yield and yield components in wheat to soil and foliar application of nano potassium fertilizer. *Journal of Crop Production Research*. 5, 189-198. [In Persian with English summary].
- Karimi M., 2015. *A Guideline for Wheat Nitrogen Fertilization*. Sahrasharq Press, Mashhad. [In Persian].
- Keshavarz, P., Moshiri, F., Tehrani, M.M., Balali, M.R., 2015. The Necessity of Integrated Soil Fertility Management for Wheat Production in Iran. *Journal of Land Management*. 3, 61-72. [In Persian with English summary].
- Kholdebarin, B., Eslamzadeh, T., 2001. *Mineral Nutrition of Plants*. Shiraz University Press. Shiraz. [In Persian].
- Maas, E.V., 1990. Crop salt tolerance. In: Tanji, K.K., (ed.), *Agricultural Salinity Assessment and Management*. (pp. 262-303). ASCE. *Manuals and Reports on Engineering Practice No.71*. Am.Soc.Civil Engineers, New York.
- Maas, E.V., Hoffman, G.J., 1977. Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineers*. 103, 115-134.
- Malakooti, M.J., 2010. *Balanced Nutrition of Wheat*. Amoozeshe Keshavarzi Press. Karaj. [In Persian].
- Marschner P., 2012. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press. San Diego.
- Miller, E.C., 1939. A physiological study of the winter wheat plant at different stages of its development. *Kansas State University Agricultural Experiment Station. Rep.* 47.
- Moshiri, F., Shahabi, A.A., Keshavarz, P., Khoogar, Z., Feiziasl, V., Tehrani, M.M., Asadirahmani, H., Samavat, S., Qeibi, M.N., Sadri, M.H., Rashidi, N., Khademi, Z., 2014. *Guidelines for Integrated Soil Fertility and Plant Nutrition Management of Wheat*. Sana Press, Tehran. [In Persian].
- Motesharezadeh, B., Vatanara; F., Savaghebi, G.R., 2015. Effect of Potassium and Zinc on Some Responses of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Salinity Stress. *Iranian Journal of Soil Research*. 29, 243-381. [In Persian with English summary].
- Qadir, M., Quillerou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R.J., Dreschel, P., Noble, A.D., 2014. Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Nat. Resour. Forum*. 38, 282–295.
- Rad, M.H., Meshkat, M.A., Soltani M., 2009. The Effects of Drought Stress on some Saxual's (*Haloxylon aphyllum*) Morphological Characteristics. *Iranian*

- Journal of Range and Desert Reseach. 16, 34-43. [In Persian with English summary].
- Ramazanpur, M.R., Dastfal, M., Malakouti M.J., 2008. The Effect of Potassium in Reducing Drought Stress in Wheat in Darab. Iranian Journal of Soil Research. 22, 127-135. [In Persian with English summary].
- Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., 2001. Research history on salt affected lands of Iran: Present and future prospects–Halophytic ecosystem. International Symposium on Prospects of Saline Agriculture in the GCC countries, Dubai, UAE.
- Rose, T.J., Rengel, Z., Ma, Q., Bowden, J.W., 2007. Differential accumulation patterns of phosphorus and potassium by canola cultivars compared to wheat. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 170, 404-411.
- Steppuhn H., Van Genuchten, M.Th., Grieve, C.M., 2005. Root zone salinity; II. Indices for tolerance in agricultural crops. Crop Science, 45, 221-232.
- Taylor, G.R., 2017. Evaluation of in-season wheat nutrient uptake changes and nitrogen management for grain and dual purpose winter wheat. MSc dissertation, College of Agriculture, Kansas State University, USA.
- U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Washington. DC. USDA Handbook No. 60.
- Vahhabzadeh, M., Majidiheravan, E., Hajakhoondimeibodi, H., Tabatabaee, M.T., Bozorgipoor, R., Bakhtiar, F., Akbari, A., Pakder, A., Sharifolhoseini, M., Afyouni, D., Rostami, H., Azarmjoo, H., Koocheki, S.H., Amirjebalbarez, Q., Saberi, M.H., Binab, H., Qandi, A., Bahraee, S., Torabi, M., Nazari, K., Pirayeshfar, B., 2009. Bam, A new bread wheat cultivar for moderate climate zones with salinity of soil and water. Seed and Plant Improvement Journal. 25, 223-226. [In Persian with English summary].
- Van Genuchten, M.Th., Hoffman, G.J., 1984. Analysis of crop salt tolerance data. In: Shainberg, I., Shalhevet, J. (eds), Soil salinity under irrigation-process and dmanagement ecological studies 51. Springer, New York, USA, pp. 258-271.
- Watanabe, F.S., Olsen, S.R., 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorous in water and NaHCO₃ extract from soil. Soil Science of American Procedure. 29, 677-678.