اثر پتاسیم در کاهش تنش خشکی در گندم در منطقه داراب فارس

محمود رضا رمضان پور،[۱*] منوچهر دستفال و محمد جعفر ملکوتی

مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران؛ **mrramezanpour@yahoo.com**

مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

استاد گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس؛ **mjmalakouti@hotmail.com**

چکیده

با توجه به این که وقوع پدیدهٔ خشکی در بسیاری از سالها، یکی از عوامل محدود کننده تولید در مناطق کم آب به شمار می رود، ارائه راهکارهای مناسب به زراعی در مقابله با خشکی حائز اهمیت می باشد. بدین منظور بررسی تأثیر مصرف سولفات پتاسیم در مقاومت به خشکی گندم رقم چمران (*Triticum aestivum* L.) در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی به صورت کرتهای خرد شده در سه تکرار در سه سال زراعی (۸۰-۱۳۷۷) در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی داراب اجراء گردید. فاکتور اصلی شامل چهار سطح آبیاری: ادامه آبیاری تا رسیدگی فیزیولوژیکی (به عنوان شاهد)؛ ۲۰٪ کاهش آب مصرفی نسبت به شاهد (به عنوان تنش خشکی ملایم)؛ ۴۰٪ کاهش آب مصرفی نسبت به شاهد (به عنوان تنش خشکی متوسط) و ۶۰٪ کاهش آب مصرفی نسبت به شاهد (به عنوان تنش خشکی شدید) و فاکتور فرعی شامل سه سطح صفر، ۱۰۰و ۲۰۰ کیلو گرم کود پتاسیم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم بود. نتایج سه سال تحقیق نشان داد که در محیطهای مواجه با تنش خشکی عملکرد کاهش می‌یابد، در حالیکه عملکرد در تیمار شاهد ۵۸۲۱ کیلوگرم در هکتار بود، در تنشهای ملایم، متوسط و شدید عملکرد به ترتیب به ۵۴۰۴، ۳۹۲۷ و ۱۹۶۷ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت ولی با مصرف سولفات پتاسیم از میزان افت عملکرد گندم در محیطهای با تنش خشکی به طور معنی‌داری کاسته شد. به عبارت دیگر در حضور سولفات پتاسیم از کاهش بیشتر عملکرد حتی در تنشهای خشکی شدید نیز تا حدی تخفیف یافت. همچنین نتایج نشان داد میزان کاهش عملکرد دانه با کاهش ۲۰٪ آب مصرفی نسبت به شاهد چندان قابل توجه نبود، در حالی که با افزایش شدت خشکی از ۲۰٪ به ۴۰٪ و ۶۰٪ عملکرد دانه به شدت کاهش یافت. مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم به طور معنی داری عملکرد دانه را نسبت به شاهد به ترتیب ۹/۵ و ۱۶/۳ درصد افزایش داد. افزایش عملکرد دانه در اثر مصرف پتاسیم در واقع نتیجه افزایش اجزای عملکرد دانه (وزن هزار دانه, تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله) بود. در مجموع چنین نتیجه گیری گردید که با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم میزان مقاومت به خشکی و عملکرد دانه در محیط‌های کم آب افزایش یافته و تأثیر منفی کمبود رطوبت در افت عملکرد دانه را تا حدی تعدیل نمود. بنابراین مصرف پتاسیم در محیط هایی با سطوح مختلفی از تنش خشکی می تواند به عنوان راهکار عملی به زراعی برای کاهش خسارات ناشی از خشکی و جلوگیری از کاهش عملکرد گندم مد نظر باشد.

واژه های کلیدی: تنش خشکی، نیاز آبی، سولفات پتاسیم، گندم.

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه خشک به علت کمبود آب، گرمای محیط و خشکی، عملکرد دانه گندم (*Triticum aestivum* L.) کاهش می یابد (رادمهر، ۱۳۷۶). استفاده از روشهای به نژادی (ارقام سازگار به خشکی)و

۱- نویسنده مسئول: آدرس: ساری، کیلومتر ۶ اتوبان ساری قائم‌شهر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران

* دریافت: ۸۳/۶/۷ و پذیرش: ۸۶/۶/۴

به زراعی (تاریخ کاشت مناسب، تراکم بوته مناسب، استفاده بهینه از کودهای شیمیایی و غیره) می تواند ازکاهش عملکرد دانه در مناطق خشک تا حدی اجتناب نماید. در میان عناصرغذایی، پتاسیم دارای مهمترین نقش در کاهش تنش خشکی می‌باشد (سالاردینی،۱۳۷۱). در منطقه داراب، خشکی هوا، دمای زیاد، نوسانات فصلی بارندگی از سالی به سال دیگر و توزیع نامناسب بارندگی که همگی در مراحل حساس رشد و نمو گندم (عمدتا در مرحله گرده افشانی و پر شدن دانه) به وقوع می پیوندند، سبب ایجاد شرایط تنش خشکی شده و در نتیجه از عملکرد دانه گندم کاسته می‌گردد.

کراوس (۱۹۹۹) اظهار نمود که نیاز روزانه گندم به ازت، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۵، ۰/۵ و ۵ کیلوگرم در هکتار است و غلظت پتاسیم قابل استفاده در خاک های خشک در مقایسه با خاک های مرطوب باید بیشتر باشد. کملر (۱۹۸۳) نشان داد که نیاز گندم به پتاسیم برابر نیاز آن به ازت است و در بعضی مواقع حتی بیشتر هم است، بنابراین گندم برای رشد و عملکرد مناسب به مقدار پتاسیم کافی نیاز دارد. سخون و بیتون (۱۹۸۵) گزارش کردند جذب پتاسیم توسط گندم در شرایطی که آب محدود کننده باشد، فقط ۵۰ کیلوگرم در هکتار است، در صورتی که در شرایط بهینه رشد به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیز می رسد. الفتی و همکاران (۱۳۷۹) نشان دادند که حد بحرانی پتاسیم در خاکهای زیر کشت گندم ۲۴۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده و به طور متوسط ۳۵ درصد مزارع مورد مطالعه در کشور دارای پتاسیم کمتر از حد بحرانی بودند. گلچین و ملکوتی (۱۳۷۹) گزارش کردند که به ازاء هر تن دانه گندم ۴/۵ کیلوگرم پتاسیم و به ازاء هر تن کلش گندم حدود نه کیلوگرم پتاسیم از خاک خارج می شود. پتاسیم علاوه بر این که در افزایش مقاومت به خشکی گیاه از طریق باز شدن روزنه ها و کاهش تعریق، تنظیم فشار اسمزی سلولها و افزایش تولید پرولین نقش موثری دارد، در سوخت و ساز ازت، فعال کردن آنزیم ها، سوخت و ساز کربوهیدراتها، خنثی سازی اسیدهای آلی، تسریع رشد بافتهای سازنده، افزایش پروتئین و بهبود کیفیت محصول، تقویت استحکام بافتهای نگهدارنده و افزایش مقاومت در برابر ورس، در برابر بیماریها و آفات نیز موثر است (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). هافنر (۱۹۷۱) گزارش نمود علت تأثیر پتاسیم در صرفه جویی آب در درجه اول مربوط به تقلیل ضریب تعریق است، ولی در عین حال این عنصر مسئول تنظیم فشار اسمزی داخل سلول نیز می باشد. علاوه براین، پتاسیم می تواند شیب اسمزی مناسبی بین خاک و گیاه از یک طرف و بین قسمتهای مختلف بافت آوندی از طرف دیگر بوجود آورد تا جذب و هدایت آب به خوبی صورت گیرد. ساکسانا (۱۹۸۵) عنوان نمود که پتاسیم بازیافت مصرف آب را بهبود بخشیده و از کاهش محصول در شرایط نامساعد تا حد امکان جلوگیری و زمانی که تنش کمبود آب افزایش می یابد، پتاسیم فعالیت آنزیم نیترات ردکتاز را تسریع می‌نماید. کریشناساستری (۱۹۸۵) گزارش کرد که پتاسیم در فعالیت سنتز بیولوژیکی پرولین مشارکت دارد و ارقامی که پرولین بیشتری تولید می‌نمایند، در برابر تنش خشکی مقاومتر بوده و عملکرد بیشتری دارند. از این رو یکی از دلایل مقاومت به خشکی می تواند وجود ماده پرولین باشد. آکیتوف (۱۹۶۱) بیان داشت هرچه هیدراسیون پروتوپلاسم شدیدتر باشد، گیاه در مقابل خشکی بهتر مقاومت می‌کند. پتاسیم باعث افزایش هیدراسیون پروتوپلاسم می شود. سالاردینی (۱۳۷۱) گزارش کرد مصرف مقدار کافی پتاسیم باعث پایین آمدن میزان آب مصرفی به ازاء هر واحد ماده خشک گیاهی شده و هنگامی که گیاهان در معرض کم آبی قرارگیرند، شدت کربن گیری در گیاهان مبتلا به کمبود پتاسیم نزدیک به صفر می رسد. کاهش رطوبت خاک از طریق کاهش نسبت K/(Ca+Mg)، میزان جذب پتاسیم را کاهش می‌دهد. بنابراین مصرف بیشتر پتاسیم در خاکهای مناطق خشک می تواند مفیدتر باشد. بین غلظت پتاسیم محلول در اطراف ریشه و مقدار جذب پتاسیم بوسیله گیاه رابطه مستقیمی بر قرار است. امروزه عقیده بر این است که بیشترین مقدار جذب یون پتاسیم از طریق مکانیسم پخشیدگی صورت می گیرد و میزان پخشیدگی بستگی به مقدار رطوبت خاک و شیب غلظت یون دارد. اگر شیب غلظت کم باشد، پخش یون پتاسیم آهسته تر خواهد بود. بنابراین لازم است مقدارکافی پتاسیم در خاک موجود باشد تا عمل پخشیدگی به سرعت و به طور مداوم انجام گیرد (تیسدل و همکاران، ۱۹۹۳).

ثواقبی و ملکوتی (۱۳۷۹) گزارش کردند که مصرف ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار، عملکرد دانه گندم را نسبت به شاهد ۱۰ درصد و درصد انتقال روی (Zn) به دانه گندم را افزایش داد. در این آزمایش گر چه مصرف پتاسیم تأثیر معنی داری بر تعداد سنبله در متر مربع نداشت، اما تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه به طور معنی داری (۱۲ درصد) افزایش یافت. واکنش مثبت عملکرد دانه گندم به مصرف پتاسیم عمدتاً ناشی از اثر مفید پتاسیم در افزایش دانه بود. کملر (۱۹۸۳) نشان داد که کمبود پتاسیم در مرحله ۳-۲ برگی، تعداد سنبله و در مراحل بعدی وزن دانه را کاهش می‌دهد. نتایج مطالعات اخیر انجام شده در ایران نشان داد مقدار پتاسیم قابل جذب اغلب خاک های زراعی کشور رو به کاهش بوده و توازن پتاسیم در

بسیاری از مزارع گندم منفی می باشد. به علت انجام کشت های متراکم تر و مصرف ناچیز کودهای پتاسیمی، مقدار زیادی از پتاسیم خاک تخلیه و با حذف تدریجی آیش در اراضی فاریاب، روند کاهش پتاسیم خاک در اکثر موارد با سرعت بیشتری ادامه می یابد (الفتی و همکاران، ۱۳۷۹). نظر به اینکه در مناطق خشک قابلیت جذب پتاسیم در اثر کمبود رطوبت کمتر شده و از طرف دیگر مصرف کودهای پتاسیمی در بسیاری ازکشت های متراکم به اندازه کافی نمی باشد و نیز پتاسیم باعث تعدیل اثرات تنش خشکی می شود، لذا به لحاظ وقوع تنش خشکی آخر فصل که در منطقه داراب حادث می گردد، مطالعه حاضر در سه سال زراعی انجام شد. شهرستان داراب به فاصله ۲۵۰ کیلومتر در جنوب شرقی شیراز در طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۲۹ دقیقه واقع شده است و ارتفاع از سطح دریا حدود ۱۰۸۰ متر می باشد میانگین بارندگی سالیانه در طول سه سال مطالعه ۱۸۸میلی متر و ماکزیمم دمای آن ۴۸ درجه و مینیمم دمای آن تا منهای۳ درجه می‌رسد.

روش اجرای تحقیق

آزمایش مزرعه ای حاضر در سه سال زراعی ۸۰-۱۳۷۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی داراب اجرا گردید. آزمایش حاضر به صورت کرتهای خرد شده و در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اصلی شامل چهار سطح آبیاری به صورت انجام آبیاری تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی (به عنوان شاهد)، ۲۰٪ کاهش میزان آب مصرفی نسبت به نیاز آبی (به عنوان تنش خشکی ملایم)، ۴۰٪ کاهش آب مصرفی نسبت به نیاز آبی (به عنوان تنش خشکی متوسط) و ۶۰٪ کاهش آب مصرفی نسبت به نیاز آبی (به عنوان تنش شدید خشکی) و فاکتور فرعی شامل مصرف سولفات پتاسیم در ۳ سطح ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. قبل از عملیات کاشت از عمق ۳۰-۰ سانتی متری خاک نمونه برداری و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل شوری، TNV، pH، کربن آلی، فسفر، پتاسیم، بافت خاک، ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی و وزن مخصوص ظاهری خاک با استفاده از روشهای متداول اندازه‌گیری گردید. آبیاری تا قبل از شروع تنش خشکی برای کلیه تیمارها به طور یکسان انجام شد. از اول فروردین ماه که شروع دوره خشکی در منطقه است، تیمارهای آبیاری اعمال شد. به منظور تعیین مقدار آب مصرفی در تیمار شاهد (بدون تنش خشکی) در زمانی که رطوبت خاک به حدود۵۰ ٪ اختلاف میانگین مقدار کسر رطوبتی بین نقطه پژمردگی و ظرفیت مزرعه (PWP-FC) رسید، نمونه رطوبتی از اعماق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۱ سانتیمتری خاک به صورت مرکب از تمام تیمارهای بدون تنش در هر سه تکرار تهیه گردید و با میانگین گیری درصد رطوبت وزنی محاسبه شد. میزان آب مصرفی در هر پلات شاهد از طریق فرمول زیر تعیین گردید:

مقدار آب مصرفی در هر پلات (متر مکعب)

$$A/10000 \times D \times Bd \times (FC-\phi_m) =$$

در این رابطه FC = در صد رطوبت در وضعیت ظرفیت مزرعه؛ ϕ_m = در صد رطوبت وزنی در زمان آبیاری؛ Bd = وزن مخصوص ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتیمتر مکعب و D عمق ریشه بر حسب سانتیمتر می‌باشد. میزان آب مصرفی تیمارهای تنش خشکی ملایم، متوسط، و شدید به ترتیب ۲۰٪، ۴۰٪ و ۶۰٪ کمتر از میزان آب مصرفی شاهد در نظر گرفته شد و به طور همزمان با تیمار شاهد آبیاری انجام شد. مساحت هر کرت فرعی ۱۴/۴ متر مربع و شامل ۸ خط کاشت به طول ۶ متر و فاصله خطوط ۳۰ سانتی متر از یکدیگر بود. خطوط طرفین و یک متر از ابتدا و انتهای هر خط بعنوان مرزهای حاشیه در نظر گرفته شد. در هر سال مصرف کودهای ازتی بر حسب عرف منطقه و سایر کودها براساس آزمون خاک تأمین شد. نصف کود ازتی قبل از کاشت و نصف دیگر در پایان مرحله پنجه زنی و شروع گلدهی به صورت سرک، تمام سولفات پتاسیم و سایر کودها قبل از کاشت در خاک مصرف شد. برای تعیین اجزای عملکرد (وزن دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله بارور در واحد سطح و وزن اندام هوایی) و شاخص برداشت (وزن دانه به عملکرد بیولوژیکی) از هرکرت فرعی یک زیر نمونه از دو خط وسط به مساحت یک متر مربع انتخاب و مابقی هر کرت فرعی برای تعیین عملکرد نهایی اختصاص یافت. نتایج با استفاده از نرم‌افزارهای MSTATC و SAS تجزیه واریانس و میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک

نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش و آب مصرفی (جدول‌های ۱ و۲) نشان داد که خاک تحت بررسی شور نبود. PH خاک، آهکی و مقدار کربنات کلسیم معادل ۴۴ درصد بود که مقدار آن بالا است. بالا بودن مقدار کربنات کلسیم و اسیدیته گل اشباع خاک عامل مهمی در پایین بودن فراهمی عناصر کم مصرف می‌باشد. میزان فسفر قابل استفاده خاک در سال اول، دوم و سوم آزمایش به ترتیب ۴/۶، ۸/۶ و ۶/۰ میلی گرم در کیلو گرم بود که بر اساس حد بحرانی فسفر برای گندم در منطقه داراب که ۱۲ میلی گرم در کیلوگرم است، این خاک به

فسفر احتیاج داشت که براساس آزمون خاک مصرف گردید. میزان پتاسیم موجود در خاک در سه سال آزمایش به ترتیب ۲۲۴، ۱۶۸ و ۱۷۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود و با توجه به حد بحرانی آن که ۲۵۰ میلی گرم در کیلوگرم است، خاک از نظر میزان پتاسیم در سال اول کمبود آنچنانی نداشت ولی در دو سال بعدی میزان پتاسیم خاک پایین بود که تیمارهای پتاسیمی بر اساس مقادیر تعیین شده در پروپوزال طرح مصرف گردید.

اثر آبیاری بر میانگین عملکرد و اجزاء عملکرد دانه، شاخص برداشت، بیوماس و ارتفاع بوته

میانگین سه ساله نتایج نشان داد (شکل ۱ و جدول ۳) که کلیه پارامتر های مورد اندازه گیری شامل وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح، عملکرد دانه، شاخص برداشت، بیوماس (عملکرد بیولوژیکی) و ارتفاع بوته در تنش شدید نسبت به تنش ملایم و شاهد به طور معنی داری کاهش یافت. عوامل مورد اندازه گیری به جز تعداد دانه در سنبله و ارتفاع بوته در تنش شدید نسبت به تنش متوسط به طور معنی داری کاهش یافت. تنش متوسط نسبت به تنش ملایم کلیه پارامترهای مورد اندازه گیری را به طور معنی داری در سطح ۵ درصد کاهش داد. در تنش ملایم تعداد سنبله در متر مربع، عملکرد دانه و ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد آبیاری به طور معنی داری کاهش یافت.

وزن هزار دانه (۴ درصد)؛ تعداد دانه در سنبله (۱۵/۱ درصد)؛ تعداد سنبله در واحد سطح (۲۸/۷ درصد)؛ عملکرد دانه (۶۰/۳ درصد)؛ شاخص برداشت (۲۳/۵ درصد)، بیوماس (عملکرد بیولوژیکی) (۴۹/۹ درصد) و ارتفاع بوته (۹/۸ درصد) در تنش شدید نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد. میزان کاهش عملکرد دانه با کاهش۲۰٪ آب مصرفی (تنش ملایم) چندان قابل ملاحظه نبود (۸/۷٪)، در حالی که با افزایش شدت خشکی از ۲۰ به ۴۰ درصد (تنش متوسط)، در واقع با دو برابر شدن شدت تنش خشکی، عملکرد دانه حدود ۳/۵ برابر کاهش یافت. با کاهش میزان آب مصرفی تا۶۰٪، در واقع با سه برابر شدن شدت تنش خشکی، عملکر دانه حدود هفت برابر کاهش یافت. کاهش عملکرد دانه با میزان کاهش آب مصرفی خطی نبوده و با کاهش میزان آب مصرفی، عملکرد دانه با سرعت بیشتری کاهش می یافت. در واقع کاهش عملکرد دانه در محیط های دارای تنش رطوبتی، ناشی از کاهش اجزای عملکرد دانه شامل وزن دانه، تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله بود. بر اساس نتایج حاصله از این آزمایش در بین اجزاء عملکرد دانه (وزن دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح) کم ترین و بیشترین درصد کاهش در تنش خشکی ملایم نسبت به تیمار آبیاری شاهد به ترتیب مربوط به وزن دانه و تعداد سنبله در واحد سطح بود. در حالی که در تنش خشکی متوسط و شدید، کم ترین و بیشترین درصد کاهش به ترتیب مربوط به تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه بود. این نتایج حاکی از آن است که واکنش و تغییر پذیری اجزاء عملکرد دانه نسبت به تنش های مختلف خشکی متفاوت است. کاهش قابل ملاحظه وزن دانه در تنش های شدید خشکی به دلیل چروکیدکی دانه در سال‌های کم باران بود.

اثر پتاسیم بر میانگین عملکرد و اجزاء عملکرد دانه، شاخص برداشت، بیوماس و ارتفاع بوته

میانگین سه ساله نتایج نشان داد که مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم نسبت به شاهد (شکل ۲ و جدول ۴) موجب افزایش معنی دار کلیه پارامترهای مورد اندازه گیری و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم نسبت به شاهد موجب افزایش معنی دار وزن دانه، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه، تعداد سنبله در متر مربع و ارتفاع بوته در سطح ۵ درصد شد. مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم نسبت به۱۰۰ کیلوگرم (جدول ۴) موجب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح، عملکرد دانه و شاخص برداشت در سطح ۵ درصد شد. با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار بیشترین درصد افزایش در بین اجزاء عملکرد دانه مربوط به تعداد سنبله در واحد سطح و کمترین درصد افزایش مربوط به وزن دانه بود (۸/۹٪). افزایش شاخص برداشت در اثر مصرف پتاسیم عمدتاً مربوط به سهم دانه بود. براساس نتایج سه ساله آزمایش مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار نسبت به شاهد عملکرد دانه را به ترتیب ۹/۵ و ۱۶/۳ درصد افزایش داد. افزایش عملکرد دانهٔ ناشی از مصرف سولفات پتاسیم نتیجه افزایش اجزاء عملکرد دانه شامل وزن دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح بود. بر اساس نتایج حاصله از این آزمایش، مصرف ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در اراضی گندم کاری در شرایط مشابه این مطالعه به عنوان یک روش به‌زراعی می تواند عملکرد دانه را تا حدود قابل ملاحظه ای افزایش دهد. افزایش عملکرد دانه گندم و اجزاء آن از طریق مصرف پتاسیم توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است (بی نام، ۱۳۷۶؛کملر، ۱۹۸۳؛ ثواقبی و ملکوتی، ۱۳۷۹).

اثر متقابل آبیاری پتاسیم بر میانگین عملکرد و اجزاء عملکرد دانه، شاخص برداشت، بیوماس و ارتفاع بوته

نتایج میانگین سه ساله نشان داد (شکل ۳ و جدول ۵) در کلیه سطوح آبیاری به جز تنش خشکی ملایم مصرف پتاسیم تأثیر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر وزن دانه داشت. در تنش خشکی متوسط و شدید و تیمار آبیاری بدون تنش، مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار نسبت تیمار شاهد کودی وزن دانه را به طور معنی داری افزایش داد. همچنین در تنش خشکی شدید، مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار نسبت به مصرف ۱۰۰ کیلوگرم آن وزن دانه را به طور معنی داری افزایش داد. در تنش خشکی متوسط، سولفات پتاسیم تأثیر معنی داری بر وزن دانه نگذاشت، در حالی که در تنش خشکی ملایم، شدید و تیمار بدون تنش خشکی، مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار نسبت به تیمار شاهد، وزن دانه را به طور معنی داری افزایش داد. در تیمار بدون تنش خشکی و تنش خشکی متوسط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم نسبت به تیمار شاهد عملکرد دانه را به طور معنی داری افزایش داد. در تنش خشکی شدید مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم گرم سولفات پتاسیم نسبت به تیمار شاهد و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم نسبت به مصرف ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار عملکرد دانه را به معنی داری در سطح ۵ درصد افزایش داد. در تنش خشکی ملایم مصرف سولفات پتاسیم تأثیر معنی داری بر شاخص برداشت نگذاشت در حالیکه در تنش خشکی شدید، متوسط و تیمار آبیاری بدون تنش خشکی، مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار نسبت به تیمار شاهد عملکرد دانه را به طور معنی داری افزایش داد. در تیمار آبیاری بدون تنش خشکی، تنش خشکی ملایم و تنش خشکی متوسط تیمار کودی تأثیر معنی داری بر عملکرد بیولوژیکی نگذاشت در حالیکه در تنش خشکی شدید، مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم نسبت به تیمار شاهد عملکرد بیولوژیکی را به طور معنی داری افزایش داد. در کلیه سطوح آبیاری، مصرف سولفات پتاسیم بر ارتفاع بوته بی تأثیر بود. از اینرو در محیطهای مواجه با تنش خشکی عملکرد کاهش می‌یافت. در حالیکه عملکرد در تیمار شاهد ۵۸۲۱ کیلوگرم در هکتار بود، در تنشهای ملایم، متوسط و شدید عملکرد به ترتیب به ۵۴۰۴، ۳۹۲۷ و ۱۹۶۷ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت ولی با مصرف سولفات پتاسیم از میزان افت عملکرد گندم در محیطهای با تنش خشکی به طور معنی‌داری کاسته شد. به عبارت دیگر در حضور سولفات پتاسیم از کاهش بیشتر عملکرد حتی در تنشهای خشکی شدید نیز تا حدی ممانعت به عمل آمد.

با افزایش تنش خشکی، اثرات مثبت سولفات پتاسیم در بهبود عملکرد دانه مشهود گردید. با توجه به نتایج بدست آمده از اثر متقابل آبیاری و پتاسیم در طول سه سال آزمایش، می توان چنین استنباط که عکس‌العمل عملکرد دانه گندم رقم چمران به مقادیر مختلف سولفات پتاسیم بستگی به میزان آب مصرفی داشت. مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار در تیمارهای آبیاری بدون تنش، تنش ملایم، متوسط و شدید نسبت به شاهد (عدم مصرف پتاسیم) در هر تنش به ترتیب عملکرد دانه را به میزان ۱۱/۳، ۸/۶، ۱۳/۶ و ۳۲/۱ درصد افزایش داد. نتایج اثرات متقابل آبیاری و پتاسیم نشان داد که در شرایط تنش خشکی ملایم، با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار می توان عملکردی معادل شرایط بدون تنش خشکی، بدست آورد.

نتیجه گیری

کاهش قابل ملاحظه عملکرد دانه در تنش خشکی متوسط و شدید نشان داد که کمبود رطوبت در گندم آبی یک عامل بسیار مهم در کاهش عملکرد دانه می‌باشد. یکی از دلایل عمده کاهش عملکرد دانه گندم در شهرستان داراب در سالهای خشک و نیمه خشک که از نظر وضعیت رطوبتی به ترتیب تقریباً مشابه تیمار تنش خشکی متوسط و شدید در این تحقیق می‌باشد، به احتمال زیاد تنش خشکی ناشی از کاهش میزان آب مصرفی قابل دسترس گندم باشد. علاوه براین، نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار به طور معنی داری عملکرد دانه را نسبت به شاهد به ترتیب ۹/۵ و ۱۶/۳ درصد افزایش داد. همچنین مصرف ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار نسبت به مصرف ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار عملکرد دانه را به میزان ۵/۸ درصد افزایش داد. افزایش عملکرد دانه در اثر مصرف پتاسیم در واقع نتیجه افزایش اجزای عملکرد دانه شامل وزن دانه، تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله بود. در مجموع چنین نتیجه گیری می‌شود که مصرف پتاسیم موجب افزایش تحمل به خشکی گندم چمران در طیف وسیعی از محیط های کم آب شده و عملاً تأثیر منفی کمبود رطوبت را در افت عملکرد دانه تعدیل می نماید. مصرف پتاسیم در محیط هایی که با سطوح مختلفی از تنش خشکی (۴۰ الی ۶۰ درصد کمبود نیاز آبی) مواجه هستند، می تواند به عنوان یک راهکار عملی به زراعی برای مقابله با خشکی مد نظر قرار گیرد. از نظر تأثیر پتاسیم بر عملکرد دانه، در خاکهایی که میزان پتاسیم آنها در حد بحرانی بود، برای تولید شش تن دانه گندم رقم چمران، اثر پتاسیم بر افزایش عملکرد دانه معنی‌دار نگردید.

نتایج سه سال تحقیق نشان داد که در محیطهای مواجه با تنش خشکی عملکرد کاهش می‌یافت. در حالیکه

میانگین عملکرد در تیمار شـاهد ۵۸۲۱ کیلـوگرم در هکتـار بود، در تنشهای ملایم، متوسط و شدید میانگین عملکرد بـه ترتیب به ۵۴۰۴، ۳۹۲۷ و ۱۹۶۷ کیلوگرم در هکتـار کـاهش یافت. ولی با مصرف سولفات پتاسیم از میزان افت عملکـرد گندم در محیطهای با تنش خشکی به طور معنی‌داری کاسته شد. به عبارت دیگر در حضور سـولفات پتاسـیم از کـاهش بیشتر عملکرد حتی در تنشهای خشکی شدید نیز تـا حـدی جلوگیری به عمل آمد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش در سه سال آزمایش

سال اول	عمق (Cm)	EC (dS/m)	T.N.V %	pH	O.C %	P (mg/Kg)	K (mg/Kg)	بافت خاک	F.C. درصد وزنی	P.W.P. درصد وزنی	جرم مخصوص ظاهری
	۰-۳۰	۰/۶۸	۴۴	۸/۲	۰/۷۷	۴/۶	۲۲۴	CL	۲۲/۵	۱۲/۵	۱/۴۲
سال دوم	۰-۳۰	۰/۶۸	۴۴	۸/۴	۰/۵۱	۸/۶	۱۶۸	CL	۲۲/۵	۱۲/۵	۱/۴۲
سال سوم	۰-۳۰	۰/۶۳	۴۴	۸/۱	۰/۵۱	۶/۰	۱۷۲	CL	۲۲/۵	۱۲/۵	۱/۴۲

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

EC (dS/m)	pH	میلی اکی والان در لیتر				میلی گرم در لیتر	
		بی کربنات	سولفات	سدیم	کلر	کلسیم	منیزیم
/۴۴	۷/۶۰	۴/۰۰	۰/۱۱	۰/۶۱	/۵۰	۶۰	۳۲۰

جدول ۳- اثر آبیاری بر عملکرد و اجزاء عملکرد دانه، شاخص برداشت، بیوماس و ارتفاع بوته در هر سال آزمایش و میانگین سه سال

سال زراعی ۷۸-۱۳۷۷

تیمارهای آبیاری	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد دانه درسنبله	تعداد سنبله در متر مربع	عملکرد دانه (تن در هکتار)	شاخص برداشت	بیوماس (تن درهکتار)	ارتفاع بوته (سانتیمتر)
تیمار شاهد	۴۰/۳۷ A*	۳۴/۸ A	۵۲۱/۲ A	۶/۸۸۷ A	۴۲/۷ A	۱۶/۴۷۶ A	۸۳/۱ A
تنش خشکی ملایم	۳۸/۴۳ A	۳۴/۳ A	۴۸۸/۵ B	۶/۴۶۲ A	۴۰ A	۱۶/۱۷۹ A	۷۹/۸ B
تنش خشکی متوسط	۳۴/۷۱ B	۳۰/۵ B	۴۳۷/۹ C	۴/۴۹۸ B	۳۷/۲ AB	۱۲/۱۶۶ B	۷۸/۴ BC
تنش خشکی شدید	۲۳/۵۰ C	۲۸/۷ C	۴۰۶ D	۲/۹۸۰ C	۳۲/۲ B	۹/۲۵۵ B	۷۶/۴ C

سال زراعی ۷۹-۱۳۷۸

تیمارهای آبیاری	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد دانه درسنبله	تعداد سنبله در متر مربع	عملکرد دانه (تن در هکتار)	شاخص برداشت	بیوماس (تن درهکتار)	ارتفاع بوته (سانتیمتر)
تیمار شاهد	۳۸/۳۸ A*	۳۳/۱۳ A	۴۷۳/۵ A	۵/۹۲۷ A	۳۸/۴۹ A	۱۵/۴۰ A	۸۲/۳ A
تنش خشکی ملایم	۳۷/۴۰ AB	۳۱/۵۰ A	۴۵۴/۷ A	۵/۳۵۳ AB	۳۷/۱۳ AB	۱۴/۴۴ A	۷۵/۸ AB
تنش خشکی متوسط	۳۴/۰۷ B	۲۹/۹۱ A	۴۳۲/۴ A	۴/۳۵۳ B	۳۴/۷۰ B	۱۲/۵۴ A	۷۴/۱ B
تنش خشکی شدید	۲۳/۵۳ C	۲۸/۲۸ A	۳۲۷/۴ B	۲/۳۱۵ C	۳۰/۱۷ C	۷/۳۷ B	۷۳/۷ B

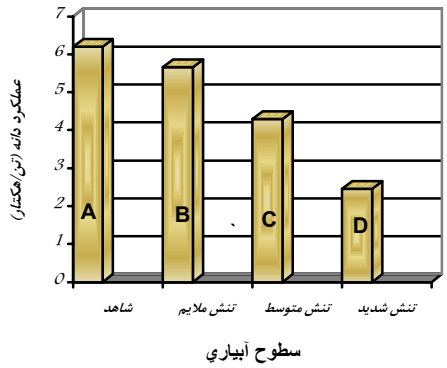
سال زراعی ۸۰-۱۳۷۹

تیمارهای آبیاری	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در متر مربع	عملکرد دانه (تن در هکتار)	شاخص برداشت	بیوماس (تن درهکتار)	ارتفاع بوته (سانتیمتر)
تیمار شاهد	۳۶/۷۷ A*	۳۱/۵۱ A	۴۷۴/۵ A	۵/۷۳۴ A	۳۷/۷ A	۱۵/۲ A	۸۲/۶ A
تنش خشکی ملایم	۳۶/۱۸ A	۳۰/۴۳ B	۴۷۷/۹ B	۵/۱۴ B	۳۶/۶۵ A	۱۴/۰۱ B	۷۸/۲ B
تنش خشکی متوسط	۳۲/۳۸ B	۲۸/۸۲ C	۴۱۸/۲ C	۴/۰۱۰ C	۳۳/۶۹ B	۱۱/۳۸ C	۷۵/۵ C
تنش خشکی شدید	۲۲/۱۷ C	۲۷/۲۷ D	۳۱۳/۹ D	۲/۰۸۳ D	۲۸/۴۶ C	۷/۰۵۶ D	۷۳/۸ D

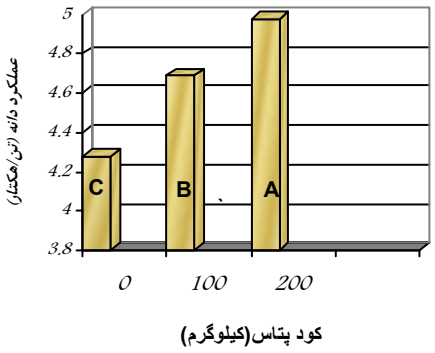
میانگین سه سال آزمایش

تیمارهای آبیاری	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در متر مربع	عملکرد دانه (تن در هکتار)	شاخص برداشت	بیوماس (تن درهکتار)	ارتفاع بوته (سانتیمتر)
تیمار شاهد	۳۸/۵A	۳۳/۱ A	۴۸۹/۷ A	۶/۱۹۳ A	۳۹/۶ A	۱۵/۶۹ A	۸۲/۷ A
تنش خشکی ملایم	۳۷/۳A	۳۱/۸ A	۴۶۵/۲ B	۵/۶۵۲ B	۳۸/۱ A	۱۵/۱۰ A	۷۸/۶ B
تنش خشکی متوسط	۳۳/۷B	۲۹/۷ B	۴۲۹/۵ C	۴/۲۸۷ C	۳۵/۲ B	۱۲/۱۸ B	۷۶ C
تنش خشکی شدید	۲۳/۱C	۲۸/۱ B	۳۴۹/۱ D	۲/۴۶۰ D	۳۰/۳ C	۷/۸۹۲ C	۷۴/۶ C

*** میانگین‌های باحروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی دار نمی باشند.**



شکل ۱- میانگین سه ساله عملکرد دانه در سطوح مختلف آبیاری



شکل ۲- میانگین سه ساله عملکرد دانه در سطوح مختلف سولفات پتاسیم

جدول ۴- اثر پتاسیم بر عملکرد و اجزاء عملکرد دانه، شاخص برداشت، بیوماس و ارتفاع بوته در هر سال آزمایش و میانگین سه سال

سال زراعی ۷۸-۱۳۷۷

سولفات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در متر مربع	عملکرد دانه (تن در هکتار)	شاخص برداشت	بیوماس (تن درهکتار)	ارتفاع بوته (سانتیمتر)
صفر	۳۳/۷ A*	۳۰/۲ C	۴۹۹ C	۴/۹۷ A	۳۶/۲ B	۱۳/۵۳۲ A	۷۷/۸۰ A
۱۰۰	۳۴/۱ A	۳۱/۷ B	۴۶۱/۹ B	۵/۱۶۷ A	۳۷/۶ AB	۱۳/۵۶۴ A	۸۰ A
۲۰۰	۳۴/۹ A	۳۳/۵ A	۴۷۹/۲ A	۵/۵۰۷ A	۴۰/۲ A	۱۳/۴۷۳ A	۸۰/۴ A

سال زراعی ۷۹-۱۳۷۸

سولفات پتاسیم (کیلوگرم درهکتار)	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در متر مربع	عملکرد دانه (تن/ هکتار)	شاخص برداشت	بیوماس (تن/ هکتار)	ارتفاع بوته (سانتیمتر)
صفر	۳۱/۸ B*	۲۹/۶ A	۴۰۱/۰ B	۴/۰۴۳ B	۳۳/۹ B	۱۱/۵ B	۷۴/۱ A
۱۰۰	۳۳/۶ AB	۳۰/۸ A	۴۱۸/۱ B	۴/۵۹۱ A	۳۴/۸ AB	۱۲/۹ A	۷۷/۲ A
۲۰۰	۳۴/۶ A	۳۱/۷ A	۴۴۶/۹ A	۴/۸۲۸ A	۳۶/۸ A	۱۲/۹ A	۷۸/۳ A

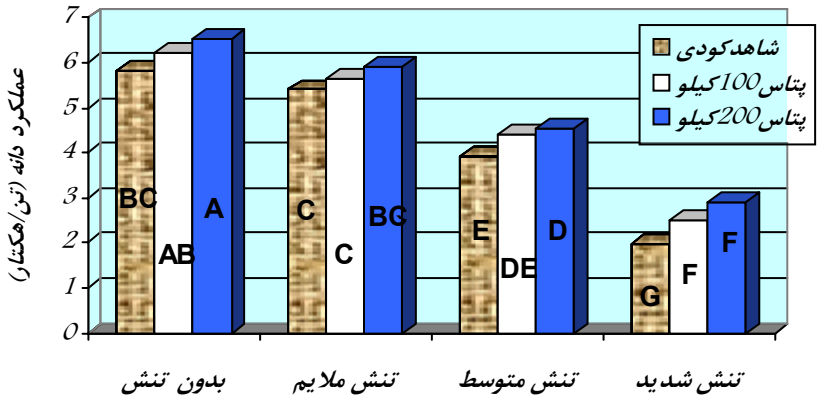
سال زراعی ۸۰-۱۳۷۹

سولفات پتاسیم (کیلوگرم درهکتار)	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در متر مربع	عملکرد دانه (تن/ هکتار)	شاخص برداشت	بیوماس (تن/ هکتار)	ارتفاع بوته (سانتیمتر)
صفر	۳۰/۷ C*	۲۸/۴ C	۳۹۰/۳ C	۳/۸۲۷ C	۳۳/۲ B	۱۱/۱۶ C	۷۵/۳ C
۱۰۰	۳۱/۷ B	۲۹/۶ B	۴۱۱/۸ B	۴/۳۰۶ B	۳۴/۳ AB	۱۲/۲۲ B	۷۷/۴ B
۲۰۰	۳۳/۳ A	۳۰/۵ A	۴۳۸/۸ A	۴/۵۹۳ A	۳۴/۹ A	۱۲/۶۹ A	۷۹/۹ A

میانگین سه سال

سولفات پتاسیم (کیلوگرم درهکتار)	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در متر مربع	عملکرد دانه (تن/ هکتار)	شاخص برداشت	بیوماس (تن/ هکتار)	ارتفاع بوته (سانتیمتر)
صفر	۳۲/۱ C*	۲۹/۴ C	۴۱۴/۵ C	۴/۲۸۰ C	۳۴/۵ B	۱۲/۲ B	۷۶/۲ B
۱۰۰	۳۳/۱ B	۳۰/۷ B	۴۳۰/۶ B	۴/۶۸۸ B	۳۵/۶ B	۱۲/۹ AB	۷۸/۲ A
۲۰۰	۳۴/۳ A	۳۱/۹ A	۴۵۵ A	۴/۹۷۶ A	۳۷/۳ A	۱۳ A	۷۹/۵ A

* میانگین‌های باحروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی دار نمی باشند.



شکل ۳- میانگین سه ساله عملکرد دانه گندم در تیمار های آبیاری و سولفات پتاسیم

جدول ۵- میانگین سه ساله اثر متقابل تیمار آبیاری و سولفات پتاسیم بر پارامتر های وزن دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در متر مربع، عملکرد دانه، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیکی (بیوماس) و ارتفاع بوته در گندم رقم چمران

اثر متقابل		وزن هزار دانه (گرم)		تعداد دانه در سنبله		تعداد سنبله در متر مربع		عملکرد دانه (تن در هکتار)		شاخص برداشت		بیوماس (تن درهکتار)		ارتفاع بوته (سانتیمتر)	
آب	کود(Kg/ha)														
بدون تنش	صفر	۳۷/۵	B	۳۱/۶	BC	۴۸۰/۶	A	۵/۸۲۱	BC	۳۸/۰	B	۱۵/۳۸	A	۸۱/۱	AC
	۱۰۰	۳۸/۵	AB	۳۳/۲	AB	۴۸۹/۶	A	۶/۲۰۹	AB	۳۸/۷	B	۱۶/۱۵	A	۸۲/۴	AB
	۲۰۰	۳۹/۵	A	۳۴/۶	A	۴۹۹/۰	A	۶/۵۵۰	A	۴۲/۱	A	۱۵/۵۵	A	۸۴/۵	A
تنش ملایم	صفر	۳۶/۶	BC	۳۰/۴	CD	۴۵۴/۵	B	۵/۴۰۴	C	۳۷/۶	BC	۱۵/۲۰	A	۷۶/۹	DG
	۱۰۰	۳۷/۲	B	۳۱/۹	BC	۴۵۸/۹	B	۵/۶۳۸	C	۳۷/۸	B	۱۴/۸۳	A	۷۴/۴	BE
	۲۰۰	۳۸/۲	AB	۳۳/۰	AB	۴۸۲/۱	A	۵/۹۱۳	BC	۳۸/۷	B	۱۵/۲۶	A	۸۰/۵	AD
تنش متوسط	صفر	۳۱/۸	E	۲۹/۳	DE	۴۰۶/۳	C	۳/۹۲۷	E	۳۳/۷	DE	۱۱/۶۹	B	۷۴/۱۱	FG
	۱۰۰	۳۴/۴	D	۲۹/۵	DE	۴۲۴/۸	C	۴/۳۹۰	DE	۳۵/۳	CD	۱۲/۴۱	B	۷۶/۷	DG
	۲۰۰	۳۴/۹	CD	۳۰/۴	CD	۴۵۷/۲	B	۴/۵۴۴	D	۳۶/۶	BC	۱۲/۴۴	B	۷۷/۲	CF
تنش شدید	صفر	۲۲/۴	G	۲۶/۴	F	۳۱۶/۷	F	۱/۹۶۷	G	۲۸/۸	G	۶/۶۴۷	D	۷۲/۷	G
	۱۰۰	۲۲/۴	G	۲۸/۲	E	۳۴۹/۱	E	۲/۵۱۵	F	۳۰/۳	FG	۸/۱۹۶	C	۷۵/۳	EG
	۲۰۰	۲۴/۴	F	۲۹/۷	DE	۳۸۱/۴	D	۲/۸۹۶	F	۳۱/۷	EF	۸/۸۳۳	C	۷۵/۸	EG

* میانگین‌های باحروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی دار نمی باشند.

فهرست منابع:

۱. الفتی، م.، م.ج. ملکوتی و م.ر. بلالی. ۱۳۷۹. تعیین حد بحرانی پتاسیم برای محصول گندم در ایران. در: ملکوتی، م.ج. ۱۳۷۹. تغذیه متعادل گندم. انتشارات نشر آموزش کشاورزی. ۵۴۴ صفحه.

۲. بی نام. ۱۳۷۳. گزارش پژوهشی سال ۱۳۷۳، بخش تحقیقات خاک و آب فارس. انتشارات مرکز تحقیقات کشاورزی فارس. ۱۹۱ صفحه. شیراز، ایران.

۳. بی نام.۱۳۷۶. بررسی تأثیر سطوح مختلف سولفات پتاسیم بر خواص کمی و کیفی گندم رقم مهدوی. صفحه ۴۶. انتشارات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج. بخش غلات. ۸۶ صفحه.

۴. ثواقبی، غ. ر.، م. ج. ملکوتی و م.م. اردلان. ۱۳۷۹. برهمکنش پتاسیم و روی بر غلظت و جذب عناصر غذایی در گندم. در: ملکوتی، م. ج. (مؤلف). ۱۳۷۹. تغذیه متعادل گندم. انتشارات نشر آموزش کشاورزی. ۵۴۴ صفحه.

۵. ثواقبی، غ.، م.ج. ملکوتی. ۱۳۷۹. برهمکنش پتاسیم و روی بر عملکرد و میزان پروتئین دانه گندم. در: ملکوتی، م.ج. (مؤلف). ۱۳۷۹. تغذیه متعادل گندم. انتشارات نشر آموزش کشاورزی. ۵۴۴ صفحه.

۶. رادمهر، م. ۱۳۷۶. تأثیر تنش گرما بر فیزیولوژی رشد و نمو گندم. انتشارات دانشگاه فردوسی. ۲۰۱ صفحه. مشهد، ایران.

۷. سالاردینی، علی اکبر. ۱۳۷۱. حاصلخیزی خاک، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۱۷۳۹، تهران، ایران.

۸. فرشی، ا.، م.ر. شریفی، ر. شهابی فر و م. تولایی. ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. انتشارات نشر آموزش کشاورزی.

۹. گلچین، ا. و م.ج. ملکوتی. ۱۳۷۹. بررسی تأثیر کود استارتر و محلول پاشی بر عملکرد و کیفیت گندم آبی در استان های سردسیر کشور. در: ملکوتی، م.ج. (مؤلف). ۱۳۷۹. تغذیه متعادل گندم. نشر آموزش کشاورزی. ۵۴۴ صفحه. وزارت جهاد کشاورزی، کرج، ایران.

۱۰. ملکوتی، م. ج. و م. همایی. ۱۳۸۲. حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک «مشکلات و راه حلها»، چاپ دوم با بازنگری کامل، ۶۰۰ صفحه، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. تهران، ایران.

11. Achitov, M. 1961. Review of the literature on the interaction between potash and water in plants. Potash Rev.Sub. 3. Suit 15: 1-150.
12. Beaton, J.D. and G.S. Sekhon. 1985. Potassium nutrition of wheat and other small grains. PP. 701-798. In: R.D. Munson (ed.). Potassium in agriculture. American Society of Agronomy, Madison, WI.
13. Hofner, W. 1971. Influence of potassium on water economy. Potash Rev. Sub. 3. Suit 39:1-15.
14. Kemler, G. 1983. Modern aspects of wheat manuring (2^{nd} rev. ed.) IPI. No. 1. Bern, Switzerland.
15. Krauss, A. 1999. Balanced fertilizer: the key for sustainable crop production. In: Soil and water research institue. 1999. International symposium fertilization and crop response to potassium, 15-18, May 1999. Tehran.Iran. PP. 60.
16. Krishnasastry, K.S. 1985. Influence of potassium in proline accumulation under stress. PRII. Research review series No. 2: 39-45.
17. Saxana, N.P. 1985. The role of potassium in drought tolerance. Potash, Rev. Sub. 16. Suit 102.
18. Tisdale, S. L., W. L. Nelson, J. D. Beaton, and J. L. Havlin. 1993. Soil fertility and fertilizers, 5th eds. Mc Millan Pub. Co., New York.