اثر کاهش مصرف آب و کاربرد کود پتاسیم بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و حرکت خمش برنج (*Oryza sativa* L.) رقم طارم محلی

داریوش ذکوی[1]، مرتضی سام‌دلیری[2]، حمیدرضا مبصّر[1] و سلمان دستان[3*]

چکیده

به منظور بررسی اثر کاهش مصرف آب در مراحل مختلف رشد و کاربرد کود پتاسیم بر عملکرد دانه، اجزای وابسته به آن و حرکت خمش برنج رقم طارم محلی، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در شهرستان نور طی سال ۱۳۸۸ اجرا شد. کاهش مصرف آب (قطع آبیاری) به مدت ۱۵ روز در چهار مرحله‌ی ابتدا، اواسط و انتهای پنجه‌زنی (آغازه گل آذین) و مرحله خوشه‌دهی کامل به عنوان عامل اصلی و مقادیر شاهد (صفر)، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم پتاسیم خالص در هکتار از منبع کلرور پتاسیم به عنوان عامل فرعی بود که در دو مرحله و به میزان ۵۰ درصد قبل از نشاکاری و ۵۰ درصد در زمان تشکیل اولین جوانه خوشه در غلاف مصرف شد. نتایج نشان داد که قطع آبیاری در مرحله‌ی خوشه‌دهی کامل موجب کاهش معنی‌دار تعداد پنجه در کپه، تعداد پنجه بارور، تعداد خوشه در متر مربع، وزن هزار دانه و در نتیجه افت شدید عملکرد دانه (۴۸۹/۵۰ گرم در متر مربع) گردید. حداکثر تعداد خوشه در متر مربع، عملکرد دانه (۵۴۰/۲۰ گرم در متر مربع) و عملکرد بیولوژیک (۱۳۲۹ گرم در متر مربع) با قطع آبیاری در مرحله اواسط پنجه‌زنی حاصل شد. با افزایش کاربرد پتاسیم در مقایسه با تیمار شاهد طول خوشه، تعداد خوشه در متر مربع، وزن هزار دانه و در نتیجه عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به ترتیب به نسبت ۱۰/۴۸، ۱۲/۸۱، ۵/۲۸، ۱۶/۳۹، ۶/۰۶ و ۱۰ درصد روند افزایشی داشتند، ولی ارتفاع گیاه و حرکت خمش میانگره ۴ به میزان ۱/۳۳ و ۸/۴۹ درصد کاهش نشان دادند. اثر متقابل قطع آبیاری و پتاسیم به جز ارتفاع گیاه، روی هیچ یک از صفات مورد اندازه‌گیری معنی‌دار نبود. بیشترین ارتفاع گیاه تحت اثر متقابل قطع آبیاری در مرحله اواسط پنجه‌زنی و تیمار شاهد مشاهده شد. بنابراین، برنج در مرحله خوشه‌دهی کامل به قطع آبیاری بسیار حساس است، زیرا قطع آبیاری باعث کاهش عملکرد دانه و اجزای عملکرد آن شد.

واژه‌های کلیدی: برنج، پتاسیم، حرکت خمش، عملکرد دانه، قطع آبیاری

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۶/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۰/۸/۳۰

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قائم‌شهر، گروه زراعت، قائم‌شهر، ایران.

۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، گروه زراعت، چالوس، ایران.

۳- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه زراعت، تهران، ایران. sdastan@srbiau.ac.ir

مقدمه

افزایش راندمان بهره‌وری از آب در زراعت برنج به عنوان یکی از عوامل اصلی توسعه منابع آب و افزایش تولیدات کشاورزی و در نتیجه بالا بودن سطح رفاه انسان‌ها محسوب می‌شود. در چنین شرایطی آب به حد لزوم تا جایی‌که راندمان بهره‌وری از آب مصرفی حداکثر و عملکرد محصول قابل قبول باشد به گیاه داده می‌شود (Arabzadeh, 2008). لذا بهبود و افزایش بهره‌وری از آب مصرفی جهت حفظ امنیت غذایی آینده به خصوص در آسیا که تولید برنج آن تا سال ۲۰۲۵ باید به میزان ۷۰ درصد تولید فعلی افزایش یابد، ضروری به نظر می‌رسد (Tuong and Bhuiyan, 1999). بر اساس بررسی منابع انجام شده، مصرف کود پتاسیم می‌تواند مشکلات فوق را حل کند و مقاومت گیاه برنج به خشکی را افزایش دهد، چون این عنصر در فیزیولوژی و متابولیسم گیاه نه تنها از نظر مقدار موجود دربافت‌های گیاهی، بلکه از نظر وظایف فیزیولوژیکی و شیمیایی بهترین کاتیون است (Mengel and Kirkby, 2001). استون و همکاران (Stone *et al.*, 2001) اظهار داشتند که میزان دسترسی به رطوبت خاک، مهم‌ترین عامل در تعیین عملکرد گیاهان زراعی در مناطق نیمه خشک می‌باشد. گریک و همکاران (Grigg *et al.*, 2000) در مطالعه‌ای دریافتند وقتی آبیاری به تاخیر افتاد، وزن خشک شاخه‌ها کاهش یافت. پانتوان و همکاران (Pantuwan *et al.*, 2002) نشان دادند که ارقام مختلف برنج در مرحله رویشی به تنش خشکی حساسیت بیشتری دارند و تنش در این مرحله موجب کاهش عملکرد بیشتری در مقایسه با مرحله زایشی می‌گردد. عنصر پتاسیم بر خلاف نیتروژن و فسفر اثر قطعی و مشخصی در پنجه‌زنی گیاه برنج نداشته ولی موجب افزایش تعداد خوشه‌چه‌ها در خوشه، درصد خوشه‌چه‌های پر و وزن هزار دانه می‌شود (Dobermann and Fairhurst, 2000). طی تحقیقاتی که توسط ویلسون انجام شد، پتاسیم از نظر آماری بر پنجه‌زنی برنج اثری نداشت (Wilson *et al.*, 1996)، ولی در تحقیقی دیگر این عنصر اثر مثبت آشکاری بر تعداد خوشه‌چه در خوشه داشت (Singh and Jain, 2000). در یک تحقیق انجام شده، پتاسیم موجب افزایش درصد خوشه‌چه‌های پر در خوشه شد و کمبود آن موجب عقیمی دانه‌های گرده در مرحله ظهور خوشه آغازین و در نتیجه کاهش تعداد خوشه‌چه‌های پر گردید (De Detta and Mikkelsen, 1985). با توجه به میزان پتاسیم قابل دسترس موجود در خاک، افزودن سطوح مختلف کود پتاسیم تاثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت، عملکرد دانه، تعداد خوشه در واحد سطح، وزن هزار دانه، تعداد پنجه و ارتفاع گیاه نداشت، اما باعث افزایش معنی‌دار تعداد خوشه‌چه در خوشه و درصد خوشه‌چه پر در خوشه گردید (Esfahani *et al.*, 2005). باقری و همکاران (Bagheri *et al.*, 2011)، ویلسون و همکاران (Wilson *et al.*, 1996) و داهاتوند (Dahatonde, 1995) بیان کردند که با توجه به میزان پتاسیم قابل دسترس موجود در خاک، افزودن سطوح مختلف کود پتاسیم اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت. هدف اساسی از این تحقیق شناخت حساس‌ترین مرحله رشد برنج به کمبود آب، تعیین اثر کاربرد پتاسیم و قطع آبیاری بر عملکرد دانه و اجزای وابسته به آن و هم‌چنین تعیین اثر پتاسیم برای مقابله با قطع آبیاری در برنج بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثرات قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد و کاربرد پتاسیم بر عملکرد دانه، اجزای وابسته به آن و حرکت خمش برنج رقم طارم محلی، آزمایشی در مزرعه‌ای واقع در شهرستان نور با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳ دقیقه شمالی و به طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳ دقیقه شرقی با ارتفاع ۲۱ متر از سطح دریا در سال ۱۳۸۸ اجرا شد. کلاس بافتی خاک محل آزمایش لوم رسی بود. نمونه‌برداری خاک قبل از کاشت از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر انجام شد که نمونه‌ها دارای pH برابر ۷/۴۱، هدایت الکتریکی ۰/۷ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر، ماده آلی برابر ۳/۳ درصد و غلظت فسفر و پتاسیم قابل جذب به ترتیب برابر با ۲۶/۵ و ۱۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و نیتروژن کل آن برابر ۰/۱۳ درصد بود. خصوصیات آب و هوایی منطقه در سال اجرای آزمایش در جدول (۱) ارایه شده است.

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. قطع آبیاری به مدت ۱۵ روز در چهار مرحله‌ی ابتدا، اواسط و انتهای پنجه‌زنی (آغازه گل آذین) و مرحله خوشه‌دهی کامل به عنوان عامل اصلی و مقادیر صفر (شاهد)، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم پتاسیم خالص در هکتار از منبع کلرور پتاسیم به میزان صفر (شاهد)،

۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار که طی دو مرحله و به میزان ۵۰ درصد قبل از نشاکاری و ۵۰ درصد در زمان تشکیل اولین جوانه خوشه در غلاف مصرف شد به عنوان عامل فرعی بودند. جهت اجرای عملیات طرح، ابتدا زمین خزانه آماده و عمل تسطیح، ماله‌کشی و کودپاشی انجام شد و سپس بذرها به وسیله محلول ۵ در هزار ویتاواکس تیرام ضدعفونی شدند و در محیط مناسب از نظر دما و رطوبت جوانه‌دار گردیده و در خزانه با تراکم ٦٠ کیلوگرم بذر برای یک هکتار کاشته شدند و مزرعه آزمایشی سپس به سه بلوک، هر کدام دارای ١٦ کرت با طول و عرض ۵×۲ متر مربع تقسیم گردید. بر اساس نوع تیمار، کود پتاسیم از منبع کلرور پتاسیم مصرف شد. در زمان کاشت کود اوره به میزان ۷۰ کیلوگرم در هکتار و فسفر خالص به مقدار ۱۱۱ کیلوگرم در هکتار مصرف شد. رقم طارم محلی به علت پابلند و حساس بودن به ورس در این آزمایش بسته به تیمار قطع آبیاری و مقادیر پتاسیم کشت گردید. زمانی که ارتفاع نشا به ۲۵ سانتی‌متر رسید به زمین اصلی انتقال یافت و با آرایش کاشت ۲۰×۲۰ سانتی‌متر مربع و به تعداد سه نشا در کپه کشت شد و دو روز بعد از نشاکاری کرت‌های مورد نظر آبیاری شدند. کود اوره در مرحله آغازین گل آذین به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار و در مرحله بعد از خوشه‌دهی کامل به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار برای هر کرت استفاده شد. مبارزه با علف‌های هرز با سم علف‌کش بوتاکلر در زمان چهار روز بعد از نشاکاری و وجین دستی در طی ۲۰، ۳۸ و ۵۰ روز بعد از نشاکاری انجام شد. هم‌چنین برای مبارزه با کرم ساقه‌خوار برنج دوبار از سم دیازینون (گرانول پنج درصد) در مرحله انتهای پنجه‌دهی و مرحله گلدهی استفاده گردید. صفات ارتفاع گیاه، طول خوشه، تعداد کل پنجه و پنجه موثر در بوته با اندازه‌گیری از ۸ کپه در هر کرت اندازه‌گیری شد. پس از برداشت، وزن هزار دانه با شمارش ۱۰ نمونه صدتایی و توزین بر اساس رطوبت ۱۲ درصد به دست آمد. عملکرد دانه و بیولوژیک با برداشت بوته‌ها در ٤ متر مربع از وسط هر کرت بر حسب گرم در متر مربع محاسبه شد (Yoshida, 1981). حرکت خمش میانگره ٤ با انتخاب ۱۲ ساقه از بین چهار کپه در هر کرت، از حاصل‌ضرب طول گیاه از پایین‌ترین گره از میانگره ٤ (شمارش میانگره‌ها از بالا به پایین) تا راس خوشه با وزن تر همین بخش حاصل شد و بر حسب گرم در سانتی‌متر بیان گردید (Islam *et al.*, 2007). داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم افزار آماری SAS مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

ارتفاع گیاه از نظر آماری تحت تاثیر مقادیر پتاسیم در سطح احتمال ۱٪ و اثر متقابل قطع آبیاری و پتاسیم در سطح احتمال ۵٪ قرار گرفت (جدول ۲). با کاربرد پتاسیم ارتفاع گیاه کاهش یافت، به‌طوری‌که کمترین ارتفاع (١٥٦/٤٠ سانتی‌متر) با مصرف ۹۰ کیلوگرم پتاسیم و بیشترین ارتفاع در تیمار شاهد (۱۵۸/۵۰ سانتی‌متر) با مصرف ۳۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار (۱۵۸/٦۰ سانتی‌متر) به دست آمد (جدول ۳). حداکثر ارتفاع گیاه (۱٦۰/۳۰ سانتی‌متر) تحت اثر متقابل قطع آبیاری در مرحله اواسط پنجه‌زنی و کاربرد ۳۰ کیلوگرم پتاسیم و حداقل ارتفاع (١٥٤/٥٠ سانتی‌متر) تحت اثر متقابل قطع آبیاری در ابتدای پنجه‌زنی و کاربرد ۹۰ کیلوگرم پتاسیم مشاهده شد (نمودار ۱). کمبود آب سبب کاهش انعطاف پذیری دیواره سلولی ساقه می‌شود و مانعی برای طویل شدن ساقه است (Neumann, 1993). هم‌چنین در کم آبی، تقسیم سلول‌ها متوقف می‌شود (Hsiao, 1973). دستان و همکاران (Dastan *et al.*, 2011b) دریافتند با کاربرد پتاسیم ارتفاع گیاه برنج کاهش یافت که همراه با نتایج فقیه و همکاران (Faghih *et al.*, 2011b) با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

طول خوشه از نظر آماری با قطع آبیاری در سطح احتمال ۵٪ و تحت تاثیر پتاسیم در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۲). کوتاه‌ترین میانگین طول خوشه (۲۵ سانتی‌متر) با قطع آبیاری در مرحله حداکثر پنجه‌زنی نتیجه شد و بلندترین خوشه با قطع آبیاری در مراحل ابتدا و اواسط پنجه‌زنی (به ترتیب ٢٦/٥٠ و ٢٦/٦٠ سانتی‌متر) به دست آمد. با کاربرد پتاسیم طول خوشه به میزان ۱۰/٤۸ درصد افزایش یافت، به طوری که بلندترین خوشه با کاربرد ٦۰ و ۹۰ کیلوگرم پتاسیم (به ترتیب ٢٦/٧٠ و ٢٧/٤٠ سانتی‌متر) و کوتاه‌ترین خوشه (٢٤/٨٠ سانتی‌متر) در تیمار شاهد با کاربرد ۳۰ کیلوگرم پتاسیم (٢٥/٤٠ سانتی‌متر) حاصل گردید (جدول ۳). گریک و

همکاران (Grigg *et al.,* 2000) نیز در مطالعه‌ای دریافتند که وقتی آبیاری در برنج به تأخیر افتد، وزن خشک خوشه‌ها کاهش می‌یابد. هم‌چنین، پتاسیم سبب افزایش طول خوشه در گیاه برنج می‌شود (Faghih *et al.,* 2011b).

حرکت خمش میانگره ٤

حرکت خمش میانگره ٤ تحت تاثیر قطع آبیاری در سطح احتمال ٥٪ و مقادیر پتاسیم در سطح احتمال ١٪ قرار گرفت (جدول ٢). کمترین حرکت خمش میانگره ٤ با قطع آبیاری در مراحل ابتدای پنجه‌زنی (٢٠١٢ گرم در سانتی‌متر) و خوشه‌دهی کامل (٢٠٧٢/٧٠ گرم در سانتی‌متر) و بیشترین حرکت خمش با قطع آبیاری در مراحل اواسط و حداکثر پنجه‌زنی (برابر ٢١٣٦/١٠ و ٢١٦١/٨٠ گرم در سانتی‌متر) حاصل گردید. با کاربرد پتاسیم حرکت خمش میانگره ٤ به نسبت ٨/٤٩ درصد کاهش یافت، به طوری‌که بیشترین حرکت خمش (٢١٨٦/٤٠ گرم در سانتی‌متر) در تیمار شاهد و حرکت خمش ٢١٤٥/٧٠ گرم در سانتی‌متر با کاربرد ٣٠ کیلوگرم پتاسیم به دست آمد. پایین‌ترین حرکت خمش با کاربرد ٦٠ و ٩٠ کیلوگرم پتاسیم (به‌ترتیب برابر ٢٠٤٩/٩٠ و ٢٠٠٠/٧٠ گرم در سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ٣). کمبود آب از طریق اثر گذاری بر انتقال آنزیم‌های فتوسنتزی موجب کاهش فتوسنتز و وزن خشک دانه می‌شود (Bocharnikova and Matichenkov, 2008). دستان و همکاران (Dastan *et al.,* 2011b) و فقیه و همکاران (Faghih *et al.,* 2011a) دریافتند که با کاربرد پتاسیم به علت کاهش طول میانگره ٣ و ٤، طول ساقه، ارتفاع گیاه و حرکت خمش میانگره ٤ نیز کاهش یافت.

تعداد کل پنجه در کپه

تعداد کل پنجه در کپه از نظر آماری تحت تاثیر قطع آبیاری در سطح احتمال ١٪ و مقادیر پتاسیم در سطح احتمال ٥٪ معنی‌دار شد (جدول ٢). بیشترین و کمترین تعداد پنجه در کپه به‌ترتیب ١٧/٥٠ و ١٥ عدد، با قطع آبیاری در مراحل ابتدای پنجه‌زنی در خوشه‌دهی کامل مشاهده شد. حداقل تعداد پنجه در کپه (١٦/٢٠ عدد) با کاربرد ٩٠ کیلوگرم پتاسیم و حداکثر تعداد پنجه در تیمار شاهد (١٦/٤٠ عدد) و کاربرد ٦٠ کیلوگرم پتاسیم (١٦/٢٠ عدد) حاصل گردید (جدول ٣). با کاهش مقدار آب، وزن خشک برگ و تعداد پنجه‌ها به شدت کاهش می‌یابد، هم‌چنین با کاهش مقدار آب به ویژه در ابتدای رشد گیاه برنج شاخص سطح برگ نیز به شدت کاهش می‌یابد (Inanaga *et al.,* 1995). اصفهانی و همکاران (Esfahani *et al.,* 2005) دریافتند که مقادیر مختلف پتاسیم اثر معنی‌داری بر تعداد پنجه در کپه نداشت که با نتایج این تحقیق مغایرت دارد.

تعداد پنجه بارور

تعداد پنجه بارور در کپه از نظر آماری تنها تحت تاثیر قطع آبیاری در سطح احتمال ٥٪ قرار گرفت (جدول ٢). بیشترین تعداد پنجه بارور (٦/٧٠ عدد) با قطع آبیاری در مرحله ابتدای پنجه‌زنی و کمترین تعداد آن (١٤/٦٠ عدد) با قطع آبیاری در مرحله خوشه‌دهی کامل به دست آمد (جدول ٣). قطع آبیاری در زمانی که حداکثر سطح برگ برای افزایش محصول لازم است سبب کاهش رشد و تعداد پنجه در کپه گردید (Lu and Neumann, 1998; Fukai and Prasertask, 1997). پژوهشگران دریافتند که مقادیر مختلف پتاسیم اثر معنی‌داری بر تعداد پنجه در کپه نداشت (Esfahani *et al.,* 2005; Wilson *et al.,* 1996) که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

تعداد خوشه در متر مربع

تعداد خوشه در متر مربع از نظر آماری تحت تاثیر قطع آبیاری و مقادیر پتاسیم در سطح احتمال ١٪ قرار گرفت (جدول ٤). حداکثر تعداد خوشه در متر مربع (٢٢٩/٨٠ عدد) با قطع آبیاری در مرحله اواسط پنجه‌زنی و حداقل تعداد آن با قطع آبیاری در مراحل حداکثر پنجه‌زنی (٢١٤/١٠ عدد) و خوشه‌دهی کامل (٢١٣/٨٠ عدد) نتیجه گردید. با کاربرد پتاسیم تعداد خوشه به میزان ١٢/٨١ درصد افزایش یافت، به طوری‌که کمترین تعداد خوشه (٢٠٢/٩٠ خوشه در متر مربع) در تیمار شاهد مشاهده شد و در سطوح ٣٠، ٦٠ و ٩٠ کیلوگرم پتاسیم در هکتار به ترتیب ٢٢٠/٣٠، ٢٢٧/٤٠ و ٢٢٨/٩٠ خوشه در متر مربع حاصل شد که از نظر آماری در یک سطح قرار داشتند (جدول ٥). الاواد و همکاران (Elawad *et al.,* 1982) بیان کردند قطع آبیاری در زمانی که حداکثر سطح برگ برای ایجاد افزایش محصول لازم است، موجب کاهش وزن خشک برگ و شاخه‌ها و در نتیجه آن سبب افت تعداد خوشه می‌شود که این امر با کاهش انعطاف پذیری دیواره‌ی سلولی و کاهش پتانسیل اسمزی صورت می‌گیرد. قطع آبیاری موجب کاهش تعداد خوشه در متر مربع می‌شود (Lu and Neumann, 1998). با

کاربرد پتاسیم، تعداد خوشه و عملکرد دانه افزایش یافت (Matsuo *et al.,* 1995; Dastan *et al.,* 2011a).

وزن هزار دانه

با توجه به جدول (٤) وزن هزار دانه تحت اثر قطع آبیاری در سطح احتمال ۵٪ و تحت اثر مقادیر پتاسیم در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفت (جدول ٤). بیشترین (۲۵/۷۰ گرم) و کمترین (۲۵ گرم) وزن هزار دانه به ترتیب با قطع آبیاری در مراحل ابتدای پنجه‌زنی و خوشه‌دهی کامل به دست آمد که با نتایج یدی و همکاران (Yadi *et al.,* 2011) مطابقت دارد. با کاربرد پتاسیم، وزن هزار دانه ۵/۲۸ درصد افزایش یافت، به طوری‌که کمترین وزن هزار دانه (۲٤/٦۰ گرم) تحت تیمار شاهد و بیشترین وزن هزار دانه با کاربرد ٦۰ و ۹۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار (به ترتیب ۲۵/۸۰ و ۲۵/۹۰ گرم) حاصل شد (جدول ۵). کمبود آب از طریق اثرگذاری بر انتقال آنزیم‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیم ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز موجب کاهش فتوسنتز و وزن خشک دانه می‌شود (Bocharnikova and Matichenkov, 2008).

عملکرد دانه

عملکرد دانه تحت تاثیر قطع آبیاری و مقادیر پتاسیم در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ٤). حداکثر عملکرد دانه (۵٤۰/۲۰ گرم در متر مربع) به علت افزایش تعداد خوشه در متر مربع با قطع آبیاری در مرحله اواسط پنجه‌زنی مشاهده شد. هم‌چنین حداقل عملکرد دانه (٤۸۹/۵۰ گرم در متر مربع) با قطع آبیاری در مرحله خوشه‌دهی کامل مشاهده گردید. با کاربرد پتاسیم عملکرد دانه به علت افزایش طول خوشه، تعداد خوشه در متر مربع و وزن هزار دانه به نسبت ۱٦/۳۹ درصد افزایش یافت، به طوری‌که بیشترین عملکرد دانه با کاربرد ٦۰ و ۹۰ کیلوگرم پتاسیم (به ترتیب برابر ۵۳٦/٤۰ و ۵٤۹/۵۰ گرم در متر مربع) به دست آمد و کمترین عملکرد دانه به علت کاهش طول خوشه تحت تیمار شاهد (٤۷۲/۱۰ گرم در متر مربع) و کاربرد ۳۰ کیلوگرم پتاسیم (٤۹۳/۸۰ گرم در متر مربع) حاصل گردید (جدول ۵). کمبود آب بر فعالیت انبساط سلولی توسط تغییرات فیزیکی و متابولیکی اثر گذاشته، بنابراین سطح برگ را محدود کرده و باعث جلوگیری از جذب نور، افت فتوسنتز و در نتیجه کاهش عملکرد می‌شود (Bocharnikova and Matichenkov, 2008; Lu and Neumann, 1998). در مجموع مصرف پتاسیم در برنج باعث افزایش عملکرد دانه از طریق افزایش تعداد خوشه‌چه، درصد خوشه‌چه پر شده و وزن هزار دانه می‌گردد (Matsuo *et al.,* 1995; Marchner, 1995).

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک از نظر آماری تحت تاثیر قطع آبیاری و مقادیر پتاسیم در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفت (جدول ٤). بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک (به‌ترتیب ۱۳۲۹ و ۱۲۲۵/۸۰ گرم در متر مربع) به ترتیب با قطع آبیاری در مراحل اواسط پنجه‌زنی و خوشه‌دهی کامل مشاهده گردید. با کاربرد پتاسیم عملکرد بیولوژیک به علت افزایش وزن تر میانگره ٤ و عملکرد دانه به نسبت ٦/۰٦ درصد افزایش یافت، به طوری‌که بیشترین عملکرد بیولوژیک با کاربرد ٦۰ و ۹۰ کیلوگرم پتاسیم (به ترتیب برابر ۱۳۰٤/٦۰ و ۱۳۱۳/۸۰ گرم در متر مربع) به دست آمد و کمترین عملکرد بیولوژیک در تیمار شاهد (۱۲۳۸/۷۰ گرم در متر مربع) و کاربرد ۳۰ کیلوگرم پتاسیم (۱۲۳۸/۱۰ گرم در متر مربع) نتیجه گردید (جدول ۵). بین مقدار آب و فتوسنتز در طول مراحل پنجه‌دهی و زایشی همبستگی بالایی وجود دارد و با کاهش مقدار آب، وزن خشک برگ و پنجه‌ها نیز به شدت کاهش می‌یابد. هم‌چنین با کاهش مقدار آب شاخص سطح برگ گیاه برنج به شدت کاهش می‌یابد (Inanaga *et al.,* 1995). به عقیده ماتسو و همکاران (Matsuo *et al.,* 1995) پتاسیم سبب رشد زایشی و افزایش ماده خشک گیاه برنج می‌شود.

شاخص برداشت

شاخص برداشت تنها تحت اثر قطع آبیاری (در سطح احتمال ۵٪) و تحت مقادیر پتاسیم (در سطح احتمال ۱٪) قرار گرفت (جدول ٤). بالاترین شاخص برداشت با قطع آبیاری در مراحل ابتدا و اواسط پنجه‌زنی (برابر ٤۰/۷۰ و ٤۰/٦۰ درصد) و پایین‌ترین شاخص برداشت با قطع آبیاری در مراحل حداکثر پنجه‌زنی (۳۹/۷۰ درصد) و خوشه‌دهی کامل (۳۹/۸۰ درصد) حاصل شد. هم‌چنین با کاربرد پتاسیم شاخص برداشت به علت افزایش عملکرد دانه به میزان ۱۰ درصد افزایش یافت، به طوری که کمترین شاخص برداشت (۳۸ درصد) در تیمار شاهد و بیشترین شاخص برداشت با کاربرد ٦۰ و ۹۰ کیلوگرم پتاسیم (برابر ٤۰/۱۰ و ٤۱/۸۰ درصد) به دست آمد (جدول ۵). در تحقیقی مقادیر مختلف پتاسیم اثر معنی‌داری بر شاخص

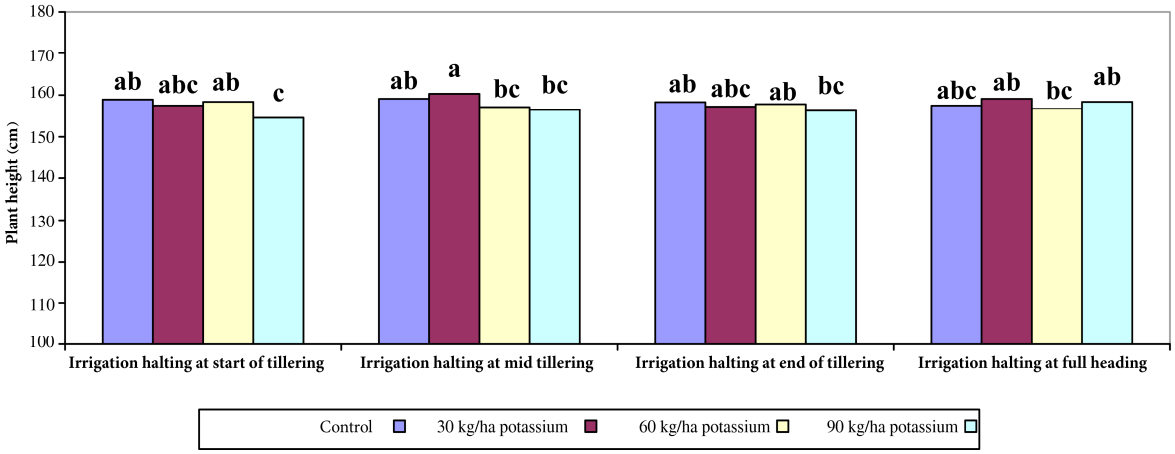
برداشت نداشت (Esfahani *et al.*, 2005). در تحقیق دیگر پتاسیم به علت افزایش برخی از اجزای عملکرد موجب افزایش شاخص برداشت شد (Marchner, 1995).

به طور کلی از این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که برنج در مرحله خوشه‌دهی کامل به قطع آبیاری بسیار حساس می‌باشد، زیرا اجزای عملکرد مانند تعداد کل پنجه و پنجه بارور در کپه، تعداد خوشه در متر مربع و وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه کمترین مقدار را در این تیمار قطع آبیاری نشان دادند. هم‌چنین با کاربرد پتاسیم می‌توان ضمن کنترل ورس و افزایش مقاومت گیاه به عوامل نامساعد و تنش‌های محیطی موجب افزایش عملکرد گردید.

جدول ۱- شرایط آب و هوایی محل آزمایش در طول دوره رشد برنج.

Table 1. Weather condition in experimental site during rice growth periods.

Month	Min. temp. (θ)	Max. temp. (θ)	Sum of evaporation (mm)	Total precipitation (mm)
April	12	18	62	45
May	16	26	78	35
June	19	28	142	31
July	20	32	136	27
August	23	36	164	25



شکل ۱- اثر متقابل قطع آبیاری و مقادیر پتاسیم بر ارتفاع گیاه.

Figure 1. Interaction of irrigation halting and potassium rates on plant height.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای قطع آبیاری و کاربرد پتاسیم بر خصوصیات وابسته به ورس برنج رقم طارم محلی در مازندران (۱۳۸۹).

Table 2. Analysis of variance of irrigation halting and potassium rates effects on lodging-related traits of rice var. Tarom at Mazandaran condition in 2010.

S.O.V.	D.F.	Mean squares				
		Plant height	Panicle length	4th Internode bending moment	Tiller per hill	Fertile tiller per hill
Replication	2	10.04^{ns}	1.94^{ns}	23132.05^{ns}	4.51^{**}	16.90^{**}
Irrigation halting (a)	3	2.23^{ns}	6.17^{*}	54152.60^{*}	13.38^{**}	12.90^{*}
Error a	6	2.37	1.44	54115.20	0.43	3.70
Potassium rate (b)	3	12.51^{**}	15.51^{**}	87471.80^{**}	2.09^{*}	4.80^{ns}
a × b	9	5.10^{*}	2.24^{ns}	12658.70^{ns}	0.33^{ns}	2.20^{ns}
Error b	24	2.54	1.54	7878.60	0.68	2.90
C.V. (٪)	-	1.01	4.77	4.23	5.15	10.87

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

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

جدول ۳- مقایسه میانگین خصوصیات وابسته به ورس برنج رقم طارم محلی تحت تاثیر قطع آبیاری و مقادیر پتاسیم.

Table 3. Mean comparison of lodging-related traits of rice affected by irrigation halting and potassium rate.

Treatment	Plant height (cm)	Panicle length (cm)	4th internode bending moment (g.cm)	Tiller number per hill	Fertile tiller per hill
Irrigation halting					
Start of tillering	-	26.50 a	2012.00 b	17.50 a	16.70 a
Mid-tillering	-	26.60 a	2136.10 a	16.30 b	16.00 ab
End of tillering	-	25.00 b	2161.80 a	15.50 bc	15.00 ab
Full heading	-	26.00 ab	2072.70 b	15.00 c	14.60 b
Potassium rate					
Control	158.50 a	24.80 b	2186.40 a	16.40 a	-
30 kg K ha^{-1}	158.60 a	25.40 b	2145.70 a	16.00 ab	-
60 kg K ha^{-1}	157.60 ab	26.70 a	2049.90 b	16.20 a	-
90 kg K ha^{-1}	156.40 b	27.40 a	2000.70 b	15.40 b	-

*: میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ هستند.

*: Means with similar letters in each column are not significantly different at 5 % level of probability.

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر تیمارهای قطع آبیاری و مقادیر پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه برنج رقم طارم محلی (۱۳۸۹).

Table 2. Analysis of variance of irrigation halting and potassium rates effects on yield and yield components of rice in 2010.

S.O.V.	D.F.	Mean squares				
		Panicle per m^2	1000 grain weight	Grain yield	Biological yield	Harvest index
Replication	2	916.07**	2.87**	10234.10**	52654.56**	1.24ns
Irrigation halting (a)	3	692.80**	0.87*	5151.23**	23937.40**	3.20*
Error a	6	197.70	0.37	909.90	6809.30	2.30
Potassium rate (b)	3	1699.50**	4.90**	15665.10**	20208.30**	33.10**
a × b	9	89.40ns	0.22ns	523.30ns	5305.80ns	1.40ns
Error b	24	103.50	0.28	1047.90	4277.50	0.96
C.V. (٪)	-	4.62	2.08	6.30	5.13	2.44

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

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

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم طارم محلی تحت تاثیر قطع آبیاری و مقادیر پتاسیم.

Table 3. Mean comparison of yield and yield components of rice affected by irrigation halting and potassium rate.

Treatment	Panicle per m^2	1000-grain weight (g)	Grain yield ($g.m^{-2}$)	Biological yield ($g.m^{-2}$)	Harvest index (%)
Irrigation halting					
Start of tillering	221.90 ^{ab}	25.70 ^{a}	510.40 ^{ab}	1252.80 ^{ab}	40.70 ^{a}
Mid-tillering	229.80 ^{a}	25.50 ^{ab}	540.20 ^{a}	1329.00 ^{a}	40.60 ^{a}
End of tillering	214.10 ^{b}	25.40 ^{ab}	511.50 ^{ab}	1287.50 ^{ab}	39.70 ^{b}
Full heading	213.80 ^{b}	25.00 ^{b}	489.50 ^{b}	1225.80 ^{b}	39.80 ^{b}
Potassium rate					
Control	202.90 ^{b}	24.60 ^{c}	472.10 ^{b}	1238.70 ^{b}	38.00 ^{c}
30 kg K ha^{-1}	220.30 ^{a}	25.30 ^{b}	493.80 ^{b}	1238.10 ^{b}	39.80 ^{b}
60 kg K ha^{-1}	227.40 ^{a}	25.80 ^{a}	536.40 ^{a}	1304.60 ^{a}	40.10 ^{a}
90 kg K ha^{-1}	228.90 ^{a}	25.90 ^{a}	549.50 ^{a}	1313.80 ^{a}	41.80 ^{a}

*: میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ هستند.

*: Means with similar letters in each column are not significantly different at 5 % level of probability.

References

Arabzadeh B (2008) Economical analysis of deficit irrigation in transplanting rice. National conference of Agronomical Rice Breeding. Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran. 27-28 November 2008.

Bagheri R, Mobasser HR, Ghanbari-Malidareh A, Dastan S (2011) Effects of seedling age and potassium rate on morphological characteristics, yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) in Iran. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 11(2): 261-268.

Bocharnikova EA, Matichenkov V (2008) Using Si fertilizers for reducing irrigation water application rate. Silicon in Agriculture Conference, Wild Coast Sun, South Africa, 26-31 October 2008.

Dahatonde BN (1995) Effect of NPK fertilizer on growth and yield of paddy. PKV Research Journal 19: 184-185.

Dastan S, Ghasemi Mianaii A, Mobasser HR, Arab R, Mirhadi MJ (2011a) Silicon and potassium application effects on agronomical indices and grain yield of rice var. Tarom Hashemi. 12th Iranian Soil Science Congress, 3-5 September 1995.

Dastan S, Ghasemi Mianaii A, Mobasser HR, Mirhadi MJ (2011b) Silicon and potassium application effects on lodging-related morphological characteristics and quantitative yield of rice var. Tarom Hashemi. 12th Iranian Soil Science Congress, 3-5 September 2011.

De Detta SK, Mikkelsen DS (1985) Potassium nutrition of rice. In: Munson RD, Summer ME, Bishop WD (Eds), Potassium in Agriculture. American Society of Agronomy, CSSA, SSSA, Madison, WI, 665-699 pp.

Dobermann A, Fairhurst T (2000) Nutrient disorders and nutrient management. Hand book series. 190 pp.

Elawad SH, Gascho GJ, Stret JJ (1982) Response of sugar cane to silicate source and rate. I. Growth and yield. Agronomy Journal 74: 781-783.

Esfahani M, Sadrzadeh M, Kavousi M, Dabbagh Mohammad Nasab A (2005) Effects of different nitrogen and potassium rates on growth, yield and yield components in rice Tarom cultivar. Iranian Journal of Crop Science 7(3): 226-240.

Faghih MM, Mobasser HR, Dastan S, Yadi R (2011a) Effects of irrigation system and potassium application on agronomical indices, grain yield and harvest index of rice var. Shiroodi. 12th Iranian Soil Science Congress, 3-5 September 2011.

Faghih MM, Tashakori A, Mobasser HR, Yadi R, Dastan S (2011b) Effects of irrigation system and potassium application on lodging-related morphological characteristics and quantitative yield of rice var. Shiroodi. 12th Iranian Soil Science Congress, 3-5 September 2011.

Grigg BC, Beyrouty CA, Norman RJ, Gbur EE, Hanson M, Wells BR (2000) Rice responses to changes in flood water and N timing in southern USA. Field Crop Research 66: 73-79.

Hsaio TC (1973) Effects of water deficit on photosynthetic capacity. Physiology Plantarum 71:142-149.

Inanaga S, Okasaka A, Tanaka A (1995) Does silicon exist in association with organic compounds in rice plant. Japanese Journal of Soil Science Plant Nutrition 11: 111-117.

Islam MS, Peng RS, Visperas M, Ereful N (2007) Lodging-related morphological traits of hybrid rice in a tropical irrigated ecosystem. Field Crop Research 104: 240- 248.

Marchner H (1995) Mineral nutrition of higher plants. 2nd Edition. Academic press. 890 pp.

Matsuo T, Kumazawa K, Ishii R, Ishihara K, Hirata J (1995) Science of the rice plant, Food and Agriculture Policy Research Center, Tokoyo, Japan. 1240 pp.

Mengel K, Kirkby A (2001) Principles of plant nutrition. 4th Edition. International Potash Institute, Burn, Switzerland.

Neumann PM (1993) Rapid and reversible modification of extension capacity of cell walls in elongating maize leaf tissues responding to root addition and removal of NaCl. Plant Cell and Environment 16: 1107-14.

Pantuwan G, Fukai S, Cooper M, Rajatasereekul S, O'Toole JC (2002) Yield response of rice (*Oryza sativa* L.) to drought under rainfed types. Field Crop Research 73: 169–180.

Singh S, Jain MC (2000) Growth and yield response of traditional tall and improved semi-tall rice cultivars to moderate and high nitrogen, phosphorus levels. Indian Journal of Plant Physiology 5: 38-46.

Stone L, Goodrum RDE, Jafar MN, Khan AH (2001) Rooting front and water depletion depths in grain sorghum and sunflower. Agronomy Journal 1105-1110.

Tuong TP, Bhuiyan SI (1999) Increasing water use efficiency in rice production: Farm level perspectives. Journal of Agriculture and Water Management 40: 117-122.

Wilson CE, Salton NA, Dickson PA, Norman RJ, Wells BR (1996) Rice response to phosphorus and potassium fertilizer application. Research series, Arkansas Agriculture Experiment Station 450: 15-18.

Yadi R, Dastan S, Mobasser HR, Arab R (2011) Effects of irrigation halting and silicon application on agronomical indices and grain yield of rice var. Tarom Mahalli. The First Congress of Modern Agricultural Science and Technology, pp. 83-86. 10-12 September 2011.

Yoshida S (1981) Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute, Los Banos, Lagunna, Philippines. 277 pp.