نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد هفدهم، شماره ۴(۶۸)، زمستان ۱۴۰۲، صفحه ۵۰۸-۴۹۳

مقاله پژوهشی DOI:

تاثیر نانو کلات پتاسیم بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکردی جو در شرایط قطع آبیاری در مراحل تکاملی

محمد سیاحی[۱]، مانی مجدم[۲]* و علیرضا شکوه‌فر[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۹ **تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۲۹** **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۵**

چکیده

به‌منظور بررسی تاثیر نانو کلات پتاسیم بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکردی جو در شرایط قطع آبیاری، تحقیقی به‌صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمار اصلی شامل: آبیاری کامل (شاهد)، عدم آبیاری در ابتدای ساقه رفتن و عدم آبیاری در مرحله گرده افشانی و تیمار فرعی شامل: عدم محلول‌پاشی (شاهد)، ۳۵ میلی‌گرم بر لیتر و ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو کلات پتاسیم بود. نتایج نشان داد که اثر قطع آبیاری و نانو کلات پتاسیم از نظر تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، هدایت روزنه‌ای، دمای سایه انداز گیاهی و محتوای نسبی آب برگ از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. در اثر متقابل قطع آبیاری و نانو کلات پتاسیم، تعداد سنبله، وزن هزار دانه، دمای سایه انداز گیاهی و محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال ۱٪ و هدایت روزنه‌ای در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد. بیشترین عملکرد دانه در آبیاری کامل (۵۳۰۸ کیلوگرم در هکتار) و کاربرد ۶۵ میلی‌گرم در لیتر نانو کلات پتاسیم (۴۸۵۴/۹ کیلوگرم در هکتار) بود و کمترین آن در عدم آبیاری در مرحله گرده‌افشانی (۳۱۶۹/۴ کیلوگرم در هکتار) و عدم محلول‌پاشی (۳۵۸۸ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. حداکثر محتوای نسبی آب برگ در آبیاری کامل و محلول‌پاشی ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو کود پتاسیم (۷۳/۱۳ درصد) و حداقل آن در عدم آبیاری در مرحله گرده افشانی و عدم محلول‌پاشی نانو کود پتاسیم (۳۵/۹۹ درصد) بود. بیشترین هدایت روزنه‌ای در آبیاری کامل و محلول‌پاشی ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو کود پتاسیم (۱۸۵/۸۷ میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه) و کمترین آن در عدم آبیاری در مرحله گرده افشانی و عدم محلول‌پاشی نانو کود پتاسیم (۴۷/۹۹ میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه) بود. در نتیجه، محلول‌پاشی ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو کود پتاسیم در دوره‌های مختلف تنش قطع آبیاری باعث بهبود عملکرد دانه و حفظ آب برگ در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی) شده است.

واژگان کلیدی: تنش قطع آبیاری، محلول‌پاشی، هدایت روزنه‌ای، عملکرد دانه.

۱- دانشجوی فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۲- استادیار گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۳- دانشیار گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
نگارنده مسئول manimojaddam@yahoo.com

مقدمه

جو (*Hordeum Vulgare*) با سطح زیر کشت ۱/۸ میلیون هکتار در حدود ۱۵/۴۹ درصد از کل محصولات زراعی و ۲۱/۵۶ درصد از کل سطح غلات کشور (۴۰ درصد آبی، ۶۰ درصد دیم) را به خود اختصاص داده است. میزان تولید جو در ایران در حدود ۳/۲ میلیون تن برآورده شده است که معادل ۴/۱۶ درصد از کل محصولات زراعی و ۱۷/۵۵ درصد از کل تولید غلات کشور است (۶۷/۶۳ درصد آبی و ۳۲/۳۷ درصد دیم) (Barati *et al*., 2019).

کم بودن نزولات آسمانی و پراکنش زمانی و مکانی نامناسب آن از واقعیت‌های غیرقابل اجتناب تولید محصولات زراعی در ایران است. اگر نواحی تحت تنش آب مناطقی با بارندگی سالیانه کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود، به‌راحتی می‌توان گفت که بیش از ۹۰ درصد از سطح کشور تحت تنش خشکی قرار دارد (Kafi *et al*., 2009).

خشکی یکی از عوامل محدود کننده و خطری جدی برای تولید موفقیت آمیز محصولات زراعی می‌باشد. خشکی سبب کاهش در اندازه برگ‌ها، وزن خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ، تعداد برگچه، متوسط سطح برگ و فشار تورژسانس در بافت‌های گیاهی می‌شود (Hu *et al*., 2014). حافظ و سلیمان (Hafez and Seleiman, 2017) با مطالعه تاثیر تنش خشکی بر گیاه جو اعلام کردند که محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، کلروفیل و عملکرد دانه تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفته و کاهش یافتند به طوری‌که فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. کاظمی (Kazemi, 2015) اعلام نمود که با اعمال تنش کم آبی، عملکرد دانه جو به‌طور معنی‌داری در سطح ۵ درصد کاهش یافت. بیشترین و کمترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری نرمال و قطع آبیاری در مرحله خارج شدن گل آذین از سنبله مشاهده گردید. تجلی و همکاران (Tajali *et al*., 2013) گزارش نمودند که تنش خشکی در انتهای فصل منجر به افزایش شاخص کلروفیل، تراوایی غشای سلول و کاهش محتوی نسبی آب برگ پرچم در ژنوتیپ‌های امیدبخش جو شد.

دست‌یابی به افزایش بازدهی محصولات کشاورزی به روش‌های مختلف امکان پذیر است که ساده‌ترین راه آن استفاده بهینه از کودهای ماکرو و میکرو می‌باشد. به عبارت دیگر مصرف بهینه کود به‌عنوان یکی از عوامل محدود کننده، نقش کلیدی در افزایش عملکرد محصولات زراعی ایفا می‌کند (Erfani *et al*., 2020).

عنصر پتاسیم سهم زیادی در پتانسیل اسمزی سلول و فشار تورگر آنها دارد (Akbari *et al*., 2009). در گیاهانی که پتاسیم به مقدار کافی وجود دارد، فعالیت روزنه‌ها به خوبی کنترل می‌شود و مکانیسم باز و بسته شدن روزنه‌ها کاملاً به جریان پتاسیم و مالات، به‌عنوان آنیون همراه پتاسیم، وابسته است. ورود فعال پتاسیم به سلول روزنه باعث باز شدن روزنه و خروج پتاسیم از سلول باعث بسته شدن روزنه می‌شود. در اکثر گونه‌ها مکانیسم باز و بسته شدن کاملاً به یون پتاسیم وابسته است و سایر کاتیون‌های تک ظرفیتی نمی‌توانند وظیفه یون پتاسیم را بر عهده بگیرند (Zheng *et al*., 2008). دهقانی‌تفتی و همکاران (Dehghani Tafti *et al*., 2017) نشان دادند کاربرد کودهای پتاسیمی توانسته است خصوصیات زراعی گیاه را از جنبه‌های مختلف بهبود و اثرات منفی تنش خشکی را کاهش دهد.

امروزه نانو کودها فناوری نوینی هستند که با کوچک کردن اندازه ذرات در مقیاس نانو، امکان جذب بسیار بیشتری را فراهم می‌آورند. قابلیت جذب و مصرف بالا هم از طریق خاک (به صورت سرک همراه با آب آبیاری، سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی) و هم از طریق برگ (محلول‌پاشی) از ویژگی‌های این نوع کودها به شمار می‌روند. از سوی دیگر نانو کمپلکس‌ها در بازه pH وسیعی قابل استفاده هستند (Mazaheri Nia *et al*., 2010).

در حال حاضر فناوری نانو به‌عنوان یک فناوری پیشتاز در رفع مشکلات و کمبودها، در بسیاری از عرصه‌های علمی و صنعتی به خوبی جایگاه خود را در علوم کشاورزی و صنایع وابسته به آن به اثبات رسانیده است. زیرا با استفاده از نانو ذرات و نانو پودرها می‌توان کاربرد کودها را کنترل شده‌تر و آزادسازی عناصر را با تأخیر زمانی مطلوبی فراهم نمود. به‌علاوه دو ویژگی سطح ویژه و سطح واکنش کنندگی بالا، واکنش پذیری نانو ذرات را افزایش داده که نتیجه‌ی آن بهبود توان جذب نانو کودها و حتی نانو سموم آفت‌کش می‌باشد (Chinnamuthu and Murugesa Boopathi, 2009). جعفرزاده و همکاران (Jafarzadeh *et al*., 2013) نشان دادند که محلول‌پاشی نانو کود پتاسیم بر تمام ویژگی‌های مورد مطالعه به استثنای وزن هزار دانه تاثیرگذار بود. علوی متین و همکاران (Alavi matin *et al*., 2015) با مقایسه تاثیر کودهای نانو پتاس و پتاس معمولی بر عملکرد گندم گزارش نمودند که مصرف پتاسیم می‌تواند عملکرد بیولوژیکی و دانه را افزایش داده و با توجه به اینکه کودهای نانو و پتاس معمول اثرات مشابهی را در تحمل به تنش داشتند و با نظر به اینکه میزان کاربرد این سطوح پتاسیم در کودهای نانو بسیار کمتر از پتاس معمول بود راندمان مصرف بالا و جذب سریع‌تر این کودها در مقایسه با کودهای معمول را اثبات می‌کند و به نظر می‌رسد در شرایط تنش با سرعت جذب بالا مؤثرتر واقع شوند.

در آزمایشی اثر مصرف سطوح مختلف نانو کود پتاسیم روی سویا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاربرد خاکی نانو کود پتاسیم به‌ویژه در سطح ۱۵ کیلوگرم، سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه، تعداد برگ در بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، وزن هزار دانه، زیست توده، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه و همچنین صفات کیفی دانه گردید (Rostami ajirloo and Amiri, 2018).

لذا این تحقیق با هدف بررسی تاثیر نانو کلات پتاسیم بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکردی جو در شرایط قطع آبیاری طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در شهرستان حمیدیه، بزرگراه حمیدیه به سوسنگرد واقع در روستای شبیشه با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی با ارتفاع ۲۴ متر از سطح دریا اجرا شد. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی قبل از اجرای آزمایش از خاک مزرعه نمونه‌گیری شد (جدول ۱).

این آزمایش به‌صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل: آبیاری کامل (شاهد)، عدم آبیاری (قطع یک بار آبیاری) در ابتدای ساقه رفتن و عدم آبیاری (قطع یک بار آبیاری) در مرحله گرده افشانی و ادامه آبیاری تا

پایان دوره رشد، و عامل فرعی شامل: عدم محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم (شاهد)، ۳۵ میلی‌گرم بر لیتر و ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو کلات پتاسیم بود. تیمارهای محلول‌پاشی بر روی سطح برگ‌ها در زمان اواسط پنجه‌زنی و در هنگام صبح، قبل از شروع گرما با استفاده از سم پاش دستی سولو مدل ۴۶۱ اعمال شد. نانو کود پتاسیم حاوی ۲۷٪ ماده موثره پتاسیم کلات شده مربوط به شرکت خضراء ایران است. برای جلوگیری از نفوذ آب در زمان بارندگی در کرت‌های تنش کمبود آب، از شلتر استفاده شد. مقدار کود شیمیایی مورد نیاز بر مبنای ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع کود سوپر فسفات تریپل به صورت پایه و مصرف کود نیتروژن از منبع اوره (۴۶ درصد نیتروژن) به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار (۵۰ درصد آن پیش از کاشت به صورت پایه و ۵۰ درصد بقیه نیز پس از اعمال تیمارها، در ابتدای ساقه رفتن به صورت سرک) توزیع گردید. کاشت بذرهای جو رقم زهک در تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع به صورت خطی انجام شد. به‌منظور تعیین عملکرد دانه، پس از حذف حاشیه‌ها، از مساحتی معادل دو متر مربع برداشت صورت گرفت و پس از خرمن‌کوبی سنبله‌ها بر اساس رطوبت ۱۴ درصد، محصول دانه به‌دست آمده تعیین شد.

جهت اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای از برگ پرچم و بعد از مرحله گرده‌افشانی (۶۹ زادوکس) استفاده شد. در هر کرت سه برگ انتخاب و هدایت روزنه‌ای در دو طرف این برگ‌ها بین ساعت ۱۰ تا ۲ بعد از ظهر با دستگاه پرومتر (SC-1 LEAF POROMETER, Decagon Devices, Pullman, Washington, USA) اندازه‌گیری شد (Ramirez-Vallejo and Kelly, 1998).

دمای سایه انداز گیاهی با استفاده از دستگاه دماسنج مادون قرمز بین ساعت ۱۲ تا ۱۴ در چهار مرحله (دو مرحله پس از قطع آبیاری در مرحله ساقه رفتن و دو مرحله پس از قطع آبیاری در مرحله گرده افشانی) به فواصل یک هفته‌ای اندازه‌گیری شد و از تفاصل بین دمای هوا (Ta) و دمای سایه‌انداز (Tc) شاخص افت دمای سایه‌انداز گیاهی با استفاده از معادله زیر به‌دست آمد (Balota *et al*., 2007).

معادله (۱): $$CTD = Ta - Tc$$

در هنگام اندازه‌گیری دمای سایه‌انداز گیاهی، دماسنج با زاویه ۳۰ درجه نسبت به سطح افق در ارتفاع یک متر از سطح زمین و در حدود نیم متر از سطح گیاه قرار گرفت. جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ پرچم، در اوایل صبح و اواسط دوره پر شدن دانه، تعداد پنج برگ پرچم از هر کرت انتخاب و ابتدا وزن تر (FW) آنها اندازه‌گیری و سپس به منظور تعیین وزن در حالت اشباع (TW)، به مدت ۲۰ ساعت در شدت نور کم و در دمای اتاق در داخل آب مقطر قرار داده شدند. در پایان به‌منظور تعیین وزن خشک (DW)، برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و محتوای نسبی آب برگ‌ها با استفاده از معادله زیر به دست آمد:

معادله (۲): $$RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100$$

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از برنامه آماری SAS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد و به روش LSD انجام و برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel 2010 استفاده شد.

نتایج و بحث

تعداد سنبله در متر مربع

نتایج نشان داد که اثر آبیاری، نانو کلات پتاسیم و اثر متقابل بین آنها بر تعداد سنبله در متر مربع از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد سنبله در واحد سطح در آبیاری کامل و محلول‌پاشی ۶۵ میلی‌گرم در لیتر با ۴۴۶/۷۶ سنبله و کمترین آن در عدم آبیاری در ابتدای ساقه رفتن و عدم محلول‌پاشی نانو کود پتاسیم با ۳۶۵/۴۹ سنبله حاصل شد (جدول ۴).

تنش خشکی احتمالاً از طریق کاهش تعداد پنجه بارور در هر بوته بر تعداد سنبله در واحد سطح تاثیر مستقیمی می‌گذارد. در اوایل دوره رشد به‌دلیل عدم محدودیت رطوبتی خاک، تعداد پنجه‌های زیادی تولید می‌گردد، ولی در ادامه روند رشد، تخلیه رطوبت خاک توسط پنجه‌ها منجر به اتلاف رطوبت و از بین رفتن درصد بالاتری از پنجه‌ها می‌گردد که در نهایت تعداد سنبله در واحد سطح را کاهش می‌دهد (Senobar *et al.*, 2010). به نظر می‌رسد که تعداد سنبله در گیاه پیش از مرحله گلدهی تعیین می‌گردد. در واقع تعداد سنبله در گیاه حاصل تعداد پنجه است که در مراحل قبل از گلدهی و حتی پیش از ساقه رفتن مشخص می‌شود. در نتیجه کمتر تحت تأثیر شرایط پس از گلدهی و از جمله خشکی پس از گلدهی قرار می‌گیرد (جدول ۴).

افزایش مقدار نانو کلات پتاسیم، باعث شد که گیاه بهترین شرایط رشد زایشی را داشته باشد و تعداد پنجه بیشتری تولید کند که منجر به افزایش سنبله گردید. با کاربرد محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم در شرایط تنش قطع آبیاری، تعداد سنبله در متر مربع در مقایسه با عدم محلول‌پاشی بیشتر شد و توانست تا حدودی اثرات سو تنش را کمتر کند به‌نحوی که محلول‌پاشی ۶۵ میلی‌گرم در لیتر در عدم آبیاری در مرحله گرده افشانی در مقایسه با شاهد تاثیر بیشتری داشت (جدول ۴). کاربرد حداقل کود پتاسیم باعث افزایش تعداد پنجه بارور در جو می‌شود اما در شرایط تنش شدید کاربرد حداکثر میزان پتاسیم بیشترین تعداد پنجه بارور را حاصل نمود که این نتیجه بیانگر این نکته است که هرچقدر تنش خشکی شدیدتر گردد تأثیر کاربرد کود پتاسیم نمایان‌تر می‌شود (Dehghani Tafti *et al.*, 2017).

تعداد دانه در سنبله

نتایج نشان داد اثر آبیاری و نانو کلات پتاسیم بر تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد دانه در سنبله در آبیاری کامل (شاهد) و عدم آبیاری در ابتدای ساقه رفتن به‌ترتیب با ۳۳/۲۲ و ۳۱/۶۷ دانه در سنبله و کمترین آن در عدم آبیاری در مرحله گرده افشانی با ۲۶/۱۴ دانه در سنبله بود (جدول ۳). بیشترین تعداد دانه در سنبله در کاربرد ۶۵ میلی‌گرم در لیتر نانو کلات پتاسیم با ۳۲ دانه در سنبله و کمترین آن در عدم محلول‌پاشی (شاهد) با ۲۸/۴۶ دانه در سنبله بود (جدول ۳).

براساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین تعداد دانه در سنبله در آبیاری کامل (شاهد) بود که در شرایط تنش با عدم آبیاری در ابتدای ساقه رفتن به میزان ۴/۶ درصد و در مقایسه با عدم آبیاری در مرحله گرده افشانی حدود ۲۱/۳۱ درصد کاهش یافت. همچنین، با افزایش مقدار نانو کلات پتاسیم تا ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین تعداد دانه در سنبله حاصل شد که در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی) حدود ۱۱ درصد و در مقایسه با

مقدار ۳۵ میلی‌گرم بر لیتر حدود ۴/۴۶ درصد بیشتر شد (جدول ۳). تعداد دانه در سنبله از جمله صفاتی است که پتانسیل آن بعد از مرحله گلدهی تعیین شده است، بنابراین تیمار تنش کم آبیاری در مرحله گرده‌افشانی تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در سنبله داشت (Toutfi and Shokuhfar., 2019). نتایج حاصل از مطالعات متعددی نیز نشان دهنده آن است که در صورت تنش خشکی، تعداد دانه در سنبله به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Toutfi and Shokuhfar., 2019; Soleymani, 2016).

وزن هزار دانه

نتایج نشان داد که اثر آبیاری، نانو کلات پتاسیم و اثر متقابل بین آنها بر وزن هزار دانه از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین وزن هزار دانه در آبیاری کامل و محلول‌پاشی ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر با ۳۷/۸۹ گرم و کمترین آن در عدم آبیاری در مرحله گرده‌افشانی و عدم محلول‌پاشی نانو کود پتاسیم با ۲۶/۶۵ گرم حاصل شد (جدول ۴).

طبق نتایج به‌دست آمده، با افزایش محلول‌پاشی تا ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر در تمام دوره‌های آبیاری، باعث افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه شد و محلول‌پاشی ۶۵ میلی‌گرم در شرایط عدم آبیاری در ابتدای ساقه رفتن در مقایسه با شاهد (آبیاری کامل و بدون محلول‌پاشی) از وزن هزار دانه برابری برخوردار بود، بنابراین در شرایط کمبود آب و قطع آبیاری، افزایش کود نانو کلات پتاسیم توانست خسارت حاصل از این کمبود را تا حدودی کاهش دهد (جدول ۴). می‌توان بیان نمود که کمبود آب در مراحل رویشی و زایشی به علت افزایش رقابت برای جذب آب و مواد غذایی باعث کاهش وزن هزار دانه شد. دلیل این موضوع می‌تواند کاهش طول دوره رشد رویشی و زایشی در اثر تنش رطوبتی باشد که موجب کوتاه شدن طول دوره مؤثر پر شدن دانه و نیز کاهش ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شده که در نتیجه وزن هزار دانه کاهش یافت. عدم آبیاری در مرحله گرده‌افشانی بر وزن هزار دانه تاثیر منفی بیشتری در مقایسه با مرحله ساقه رفتن داشته است که نشان‌دهنده پر شدن دانه‌ها در بعد از مرحله گرده افشانی است (جدول ۴). بنابراین، می‌توان علت کاهش وزن هزار دانه را افزایش تنفس و کاهش فتوسنتز به‌واسطه تنش بیان نمود. با افزایش تنش آب فتوسنتز کاهش می‌یابد و به‌طور مستقیم بر فرآیندهای بیوشیمیایی مربوط به فتوسنتز اثر گذاشته و به طور غیرمستقیم ورود گازکربنیک به داخل روزنه‌ها را که به علت تنش آب مسدود باشند را کاهش می‌دهد (Dehghani Tafti *et al*., 2017). پتاسیم نقش بسیار مهمی در نقل و انتقال قند از طریق آوند آبکش دارد که با حضور آن قند تولید شده در فرآیند فتوسنتز، در آوند آبکش به سایر اندام‌ها و برگ‌ها منتقل می‌گردد و رشد آنها را تضمین می‌کند (Nowrouzi and Qajar Sepanlo, 2014). بنابراین، در شرایط تنش کاربرد پتاسیم تأثیر بسیار مثبتی در افزایش وزن هزار دانه داشت. با توجه به نقش پتاسیم در افزایش تقسیم و رشد سلولی و افزایش در فرآیند فتوسنتز و انتقال مواد آسیمیلاتی، محدودیت مخزن تا حدودی از بین رفته و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها باعث پر شدن دانه گشته و وزن هزار دانه افزایش می‌یابد (Vafaei *et al*., 2015).

عملکرد دانه

نتایج نشان داد که اثر آبیاری و نانو کلات پتاسیم بر عملکرد دانه از لحاظ آماری در سطح

احتمال یک درصد معنی دار بود اما بر اثر متقابل آنها اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه در آبیاری کامل (شاهد) با ۵۳۰۸ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه در عدم آبیاری در مرحله گرده افشانی با ۳۱۶۹/۴ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه در کاربرد ۶۵ میلی‌گرم در لیتر نانو کلات پتاسیم با عملکرد ۴۸۵۴/۹ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در عدم محلول‌پاشی (شاهد) با ۳۵۸۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۳). به نظر می‌رسد گیاه جو در مرحله گرده‌افشانی به شدت به تنش رطوبتی حساس است و تاثیر منفی زیادی بر عملکرد دانه می‌گذارد. محلول‌پاشی با نانو کلات پتاسیم تاثیر مفیدی بر افزایش عملکرد دانه داشت به‌نحوی که محلول‌پاشی ۳۵ و ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو کلات پتاسیم در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی) به‌ترتیب ۱۹/۹۱ و ۳۵/۳ درصد باعث افزایش عملکرد دانه شد که نشان‌دهنده تاثیر مثبت آن بر حفظ رطوبت گیاه است که با افزایش مقدار آن بر عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری افزود (جدول ۳).

کاهش عملکرد تحت شرایط تنش کمبود آب که متأثر از کاهش اجزای عملکرد می‌باشد (Aminifar *et al*., 2012). این پژوهشگران علت را با توجه به زمان اعمال آن از بین اجزای اصلی عملکرد، عمدتاً وزن دانه‌ها و تا حدی نیز کاهش تعداد دانه در سنبله دانسته‌اند (Afiuni *et al*., 2015). پژوهشگران بر روی گندم گزارش دادند که کمترین عملکرد دانه در اثر تنش قطع آبیاری در زمان گلدهی مشاهده شد (Parzivand *et al*., 2011). پتاسیم با کاهش آثار اسمزی و جذب بهتر آب در سلول گیاه اثرات تنش وارده به گیاه را کاهش داد و سبب افزایش عملکرد گردید (Degl'Innocenti *et al*., 2009).

محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم در مقایسه با مصرف خاکی آن آثار مثبت بیشتری بر صفات مورد مطالعه نشان داد. گزارش شده که استفاده از کود پتاسیم میزان جذب فسفر خاک را افزایش می‌دهد (Hasanzade *et al*., 2013). با توجه به نقش اساسی پتاسیم در افزایش سرعت فتوسنتز، جذب دی اکسید کربن و تسهیل در فرآیند انتقال کربن از منابع به مخازن (Sangakkara *et al*., 2000) سبب افزایش عملکرد دانه می‌شود.

هدایت روزنه‌ای

نتایج نشان داد که اثر آبیاری و نانو کلات پتاسیم بر هدایت روزنه‌ای از لحاظ آماری تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت و اثر متقابل آنها دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بود (جدول ۲). بیشترین هدایت روزنه‌ای در تیمار آبیاری کامل و محلول‌پاشی ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر با ۱۸۵/۸۷ میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه و کمترین آن در تیمار عدم آبیاری در مرحله گرده افشانی و عدم محلول‌پاشی نانو کود پتاسیم با ۴۷/۹۹ میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه حاصل شد (جدول ۳).

با افزایش میزان کود نانو کلات پتاسیم تا ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر، در تمام تیمارهای آبیاری هدایت روزنه‌ای نیز افزایش معنی‌داری یافت که نشان از اهمیت پتاسیم در باز و بسته شدن روزنه‌ها دارد (جدول ۳). پتاسیم از طریق حفظ آماس سلولی نقش مهمی در حرکات روزنه‌ای و باز و بسته شدن روزنه‌های گیاه دارد (Marschner, 1995). کاهش هدایت روزنه‌ای سبب کاهش ورود دی‌اکسیدکربن به درون برگ‌ها شده و در نتیجه سبب پایین آمدن میزان ساخت در اندام فتوسنتز

کننده گیاه می‌گردد از طرفی مصرف پتاسیم با تاثیر مثبت بر کار کرد مطلوب روزنه‌ها، فعالیت روزنه‌ای، توسعه سلولی، ذخیره اسیمیلات‌ها، حفظ آماس سلولی، تقویت ریشه، طویل کردن ریشه، تنظیم اسمزی، تنظیم تنفس، انتقال مواد فتوسنتزی، باز و بسته شدن روزنه‌ها، حرکات برگ و تروپیسم‌ها و در نهایت بهبود نرخ فتوسنتز سبب غلبه گیاه بر اثرات تنش خشکی می‌گردد (Zarifinia *et al*., 2013).

دمای سایه انداز گیاهی

نتایج نشان داد که اثر آبیاری و نانو کلات پتاسیم و اثر متقابل آنها بر دمای سایه‌انداز گیاهی از لحاظ آماری تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۲). بیشترین دمای سایه انداز گیاهی در عدم آبیاری در مرحله گرده افشانی و عدم محلول‌پاشی نانو کود پتاسیم با دمای ۴۵/۸۵ درجه سلسیوس و کمترین آن در تیمار آبیاری کامل (شاهد) و محلول‌پاشی ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو کود پتاسیم با دمای ۳۲/۲۳ درجه سلسیوس مشاهده شد (جدول ۳). دمای سایه انداز گیاهی در شرایط تنش قطع آبیاری روند افزایشی داشته است که در شرایط عدم آبیاری در مرحله گلدهی نیز به بیشینه خود رسیده اما در شرایط آبیاری کامل و به دلیل تامین رطوبت مورد نیاز، دمای سایه‌انداز کاهش معنی‌داری یافت که این امر نشان‌دهنده بهبود وضعیت آبی گیاه در نتیجه انجام عمل تعرق می‌باشد (جدول ۳). پتاسیم بر دمای سایه‌انداز گیاهی نیز تاثیر مثبت و مفیدی داشت به‌طوری‌که با افزایش کاربرد مقادیر نانو کلات پتاسیم، به علت افزایش جریان تعرق و بازشدگی روزنه‌ها، دمای سایه‌انداز گیاهی نیز کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۳). کمائی و همکاران (Kamaei *et al*., 2017) اعلام نمودند که هر عاملی که موجب افزایش شاخص سطح برگ و متعاقب آن میزان تبخیر و تعرق شود می‌تواند دمای سایه‌انداز گیاهی را کاهش دهد. در نتیجه کاربرد عنصر غذایی پتاسیم، موجب افزایش شاخص سطح برگ در گیاه گندم شد که می‌تواند دلیلی بر تأثیر مثبت این عنصر بر بالا رفتن میزان تبخیر و تعرق و کاهش دمای سایه‌انداز گیاهی نسبت به محیط باشد. میزان آب موجود در خاک بر روی دمای سایه‌انداز گیاهی اثرگذار است و با افزایش میزان آب در خاک دمای سایه‌انداز گیاهی خنک‌تر می‌شود (Wen-zhong *et al*., 2007). تعرق سازوکار خنک کننده در گیاه است، در شرایط بدون محدودیت آب روزنه‌های گیاه باز است و گیاه همزمان با انجام فتوسنتز، تعرق نیز انجام می‌دهد که نتیجه این امر خنک شدن تعرقی گیاه و تولید ماده خشک است، ولی در شرایط وجود محدودیت آب، گیاه برای اینکه آب کمتری از دست بدهد روزنه‌های خود را می‌بندد که همین امر باعث می‌شود فرایند تعرق نیز انجام نگیرد و به تدریج دمای گیاه بالاتر رود، در چنین شرایطی بدیهی است که قدرت تولیدی گیاه کاهش می‌یابد چرا که در بسیاری از آزمایش‌ها همبستگی منفی بین عملکرد و دمای سایه‌انداز گیاهی مشاهده شده است (Wen-zhong *et al*., 2007).

محتوای نسبی آب برگ

نتایج نشان داد که اثر آبیاری و نانو کلات پتاسیم و اثر متقابل آنها بر محتوای نسبی آب برگ از لحاظ آماری تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۲). بیشترین محتوای نسبی آب برگ در آبیاری کامل (شاهد) و محلول‌پاشی ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو کود پتاسیم با ۷۳/۱۳ درصد و کمترین آن در عدم آبیاری در

مرحله گرده افشانی و عدم محلول‌پاشی نانو کود پتاسیم با ۳۵/۹۹ درصد بود (جدول ۳). به‌طور طبیعی در شرایطی که تعرق در طول روز به صورت ممتد ادامه پیدا می‌کند آب جذب شده توسط ریشه‌ها که از طریق سیستم آوندی نقل و انتقال می‌یابد، آب از دست رفته را جبران می‌کند. در صورتی که ذخیره آب خاک کم باشد ریشه‌ها در جبران آب از دست رفته موفق نخواهند بود در نتیجه میزان محتوای آب نسبی کاهش می‌یابد. چون در شرایط کمبود آب، ذخیره رطوبت خاک کم است، در نتیجه انتظار می‌رود که محتوای نسبی آب برگ‌ها نیز کاهش یابد. در چنین شرایطی با افزایش مقادیر کود نانو کلات پتاسیم، محتوای نسبی آب برگ نیز بیشتر شد. بنابراین، پتاسیم به دلیل تاثیری که بر کنترل روزنه‌های برگ دارد می‌تواند بر افزایش آب برگ و در نتیجه افزایش عملکرد کمک کند. مولنار و همکاران (Molnar *et al*., 2005) اعلام کردند که تنش کم آبی به‌طور نسبی پتانسیل آب برگ و محتوای نسبی آب برگ را کاهش می‌دهد. اینگرام و بارتلز (Ingram and Bartels, 1996) و فرنش (Frensch, 1997) نشان دادند که بروز تنش آب باعث کاهش محتوای آب نسبی و از هم گسیخته شدن ساختمان غشاهای مختلف سلولی و بر هم خوردن نظم اندامک‌های درون سلولی می‌شود. اثرات زیان‌بار اتلاف آب از سلول‌ها مرتبط با صدمات مکانیکی ناشی از چروکیده شدن واکوئل‌ها و جدا شدن سیتوزول از دیواره سلولی می‌شود. آب موجود یا مربوط به غشاها بستگی به فاز چربی، آب دوست بودن پروتئین‌های موجود در آن و درجه حرارت دارد. پتاسیم با تنظیم اسمزی افزایش جذب آب را به واکوئل سلولی موجب می‌شود و محتوای نسبی آب برگ را افزایش می‌دهد (Marschner, 2012; Mengel, 2007). همچنین، اگر مقادیر کافی یون پتاسیم در اختیار سلول‌های نگهبان روزنه قرار گیرد در عملکرد این سلول‌ها اثر می‌گذارد و و باز و بسته شدن آنها به‌طور مناسبی انجام می‌شود. درنتیجه این وضعیت، آب سلول به‌صورت بخار از دست نمی‌رود و در نهایت افزایش محتوای آب نسبی را موجب می‌شود (Karimi, 2017).

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع آبیاری کامل (شاهد) توانست بیشترین عملکرد دانه و اجزای عملکرد را به خود اختصاص دهد و عدم آبیاری در ابتدای ساقه رفتن و عدم آبیاری در مرحله گرده افشانی در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۱۹/۵۹ و ۴۰/۲۹ درصد باعث افت عملکرد دانه شدند. افزایش نانو کلات پتاسیم تا ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر تاثیر مثبتی بر هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش قطع آبیاری در زمان‌های مختلف داشت که این تاثیر در زمان اعمال قطع آبیاری در ابتدای ساقه رفتن نمود بیشتری داشت. لذا در شرایط کمبود آب در مراحل ساقه رفتن و گرده‌افشانی، محلول‌پاشی ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو کلات پتاسیم ضمن آنکه تا حدودی می‌تواند اثرات سوء تنش را جبران کند می‌تواند به استفاده بهینه از منابع آب و کاهش تلفات آبیاری کمک کند.

جدول ۱ - مشخصات خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Soil poperties in experiment

خواص فیزیکو شیمیایی خاک Soil physicochemical characteristics									
بافت خاک Soil texture	شن Gravel (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	پتاسیم Potassium (ml.kg)	فسفر Phosphourus (ml.kg)	نیتروژن Nitrogen (%)	کربن آلی Organic Carbon (%)	pH	شوری Salt (ds/m)
لومی رسی	21	37.5	41.5	163	4.4	0.04	0.45	7.57	5.62

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی جو در سطوح مختلف تیمارهای آزمایش

Table 2- Analysis of variance of studied traits of barley in different levels of experimental treatments

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	تعداد سنبله در متر مربع number of spikes	تعداد دانه در سنبله number of grains per spike	وزن هزار دانه Seed weight	عملکرد دانه Grain yield	هدایت روزنه‌ای Stomatal coductance	دمای سایه انداز گیاهی canopy temperature	محتوای نسبی آب برگ RWC
تکرار Repeat	2	118.1 *	5.350 ns	4.089 ns	2034 ns	128.3 **	2.280 ns	1.14 ns
آبیاری Irrigation	2	4700.3 **	124.585 **	133.464 **	102931**	31067.0 **	216.959 **	2403.94 **
خطای اصلی Error (a)	4	10.1	3.482	0.778	876	6.0	5.213	6.10
نانو کلات پتاسیم potassium nano- chelate	2	3631.9 **	28.649 **	23.641 **	36308 **	1115.3 **	36.680 **	75.69 **
آبیاری × نانو کلات پتاسیم P × I	4	214.4 **	0.277 ns	0.829 **	78 ns	55.8 *	1.80 **	4.32 **
خطای فرعی Error (b)	12	17.6	0.305	0.085	115	11.1	0.190	0.59
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	6.38	11.84	10.68	24.76	41.37	11.77	25.98

ns و * و ** به ترتیب بیانگر تفاوت غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد آماری می‌باشد.

ns, *, **: non-significant and significant at 5 and 1%, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی جو در سطوح مختلف تیمارهای آزمایش

Table 3 - Comparison of the mean of studied traits of barley at different levels of experimental treatments

قطع آبیاری irrigation cut-off	عملکرد دانه Grain yield(kg.ha^{-1})	تعداد دانه در سنبله number of grains per spike
آبیاری کامل (شاهد) Full irrigation (control)	5308.0	33.22
عدم آبیاری در ابتدای ساقه رفتن no irrigation in the beginning of stem	4268.0	31.67
عدم آبیاری در مرحله گرده افشانی no irrigation in the pollination stage	3169.4	26.14
LSD $_{0.05}$	38.73	2.44
نانو کلات پتاسیم potassium nanocholate		
عدم محلول‌پاشی (شاهد) no foliar application (control)	3588.0	28.46
۳۵ میلی‌گرم بر لیتر 35 mg.L^{-1}	4302.4	30.57
۶۵ میلی‌گرم بر لیتر 65 mg.L^{-1}	4854.9	32.00
LSD $_{0.05}$	11.01	0.56

تفاوت میانگین‌هایی که با شاهد کمتر از LSD است در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست.

Difference in mean with control less than LSD in 5% level is not significant.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل صفات مورد بررسی جو در سطوح مختلف تیمارهای آزمایش

Table 4 - Comparison of the mean interaction of studied traits of barley at different levels of experimental treatments

قطع آبیاری irrigation cut-off	نانو کلات پتاسیم potassium nanocholate	هدایت روزنه‌ای Stomatal coductance (mlmol.m^{-2}s^{-1})	دمای سایه انداز گیاهی canopy temperature (°C)	محتوای نسبی آب برگ RWC (%)	تعداد سنبله در متر مربع number of spikes	وزن هزار دانه Seed weight (g)
آبیاری کامل (شاهد) Full irrigation (control)	عدم محلول‌پاشی (شاهد) no foliar application (control)	173.16	34.99	69.64	423.59	35.15
	۳۵ میلی‌گرم بر لیتر 35 mg.L^{-1}	179.83	33.28	71.23	436.89	36.6
	۶۵ میلی‌گرم بر لیتر 65 mg.L^{-1}	185.87	32.23	73.13	446.76	37.89
عدم آبیاری در ابتدای ساقه رفتن no irrigation in the beginning of stem	عدم محلول‌پاشی (شاهد) no foliar application (control)	105.84	41.67	45.29	365.49	33.04
	۳۵ میلی‌گرم بر لیتر 35 mg.L^{-1}	124.27	38.81	51.02	388.68	34.46
	۶۵ میلی‌گرم بر لیتر 65 mg.L^{-1}	132.32	37.51	52.63	415.96	35.64
عدم آبیاری در مرحله گرده افشانی no irrigation in the pollination stage	عدم محلول‌پاشی (شاهد) no foliar application (control)	47.99	45.85	35.99	385.41	26.65
	۳۵ میلی‌گرم بر لیتر 35 mg.L^{-1}	63.29	43.20	39.58	420.5	29.56
	۶۵ میلی‌گرم بر لیتر 65 mg.L^{-1}	75.06	40.73	42.35	431.53	30.98
LSD $_{0.05}$		5.92	0.77	1.36	7.46	0.51

تفاوت میانگین‌هایی که با شاهد کمتر از LSD است در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست.

Difference in mean with control less than LSD in 5% level is not significant.

References منابع مورد استفاده

- Afiuni, D., I. Alahdadi, Gh.A. Akbari, and G. Najafian. 2015. Response of some agronomic traits of some wheat genotypes to cut of terminal irrigation with zinc foliar application. *Journal of Crop Production*. 8(1): 179-203. (In Persian).
- Akbari, G. A., Z. Javanmardi, and M. Khojasteh kia. 2009. Comparison of the effect of different forms of potassium fertilizer on yield and yield components of wheat grain in low irrigation conditions. National Conference on Water Crisis in Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad university Rey baranch. (In Persian).
- Alavi matin, S.M., A. Rahnama ghahfarokhi, and M. Meskarbashi. 2015. Impact of different levels of nano-potassium and conventional potassium fertilizers on the yield of susceptible and tolerant cultivars of bread wheat under soil salinity. 13th Iranian Soil Science Congress. (In Persian).
- Aminifar J., M.H. Biglouei, G. Mohsenabad, and H. Samiezadeh. 2012. Effect of deficit irrigation on quantitative and qualitative yield of seven soybean cultivars in rashtregion. *Electronic Journal of Crop Production*. 5 (2): 93-109. (In Persian).
- Balota, M., W.A. Payne, S.R. Evett, and M.D. Lazar. 2007. Canopy temperature depression sampling to assess grain yield and genotypic differentiation in winter wheat. *Crop Science*. 47: 1518–1529.
- Barati, A., S.A. Tabatabaee, M. Mahlooji, and M.H. Saberi. 2019. Evaluation of grain yield and it's stability in barley promising lines in saline areas. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production.* 29(1): 1-13. (In Persian).
- Chinnamuthu, C.R., and P. Murugesa Boopathi. 2009. Nanotechnology and agroecosystem. *Madras Agricultural Journal*. 96 (1-6): 17-31.
- Degl'Innocenti, E., C. Hafsi, L. Guidi, and F. Navari-Izzo. 2009. The effect of salinity on photosynthetic activity in potassium-deficient barley species. *Journal of Plant Physiology*. 166: 1968-1981.
- Dehghani Tafti, A.R., H. Shamsi, A. Morovati, M.J. Babaei Zarch, and M.H. Dehghani Tafti. 2017. Investigation of the application of different levels of potassium sulfate on yield and yield components of barley without cover under under the influence of different irrigation periods. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 10(2): 213-223. (In Persian).
- Erfani, R., Y. Yaghoubian, and H. Pirdashti. 2020. The contribution of chemical, organic and bio-fertilizers on rice production in Iran: A meta-analysis. *Russian Agricultural Sciences.* 46(6): 596-601.
- Frensch, J. 1997. Primary responses of root and leaf elongation to water deficits in the atmosphere and soil solution. *Journal of Experimental Botany*. 48: 985-999.
- Hafez, E.M., and M.F. Seleiman. 2017. Response of barley quality traits, yield and antioxidant enzymes to water-stress and chemical inducers. *International Journal of Plant Production*. 11(4): 477-490.
- Hasanzade, E., M. Ghajar Sepanlou, and M. Bahmanyar. 2013. The effect of potassium and manure application on concentration of macro elements on wheat under different water stresses. *Agricultural Engineering* (*Scientific Journal of Agriculture*). 36(1): 77-85. (In Persian).

- Hu, Y.Y., Y.L. Zhang, X.P. Yi, D.X. Zhan, H.H. Luo, C.W. Soon, and W.F. Zhang. 2014. The relative contribution of non-foliar organs of cotton to yield and related physiological characteristics under water deficit. *Journal of Integrative Agriculture*. (13): 975-989.
- Ingram, J., and D. Bartels. 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annual Review* of *Plant Physiology* and *Plant Molecular Biology*. 47: 377-403.
- Jafarzadeh, R., M. Jami moeini, and M. Hokabadi. 2013. Effect of soil application and foliar application of potassium nanofertilizer on yield and yield components of wheat. The Second National Conference on New Issues in Agriculture, Saveh, Islamic Azad University, Saveh Branch, pp 7. (In Persian).
- Kafi, M., A. Borzoee, M. Salehi, A. Kamandi, A. Masoumi, and J. Nabati. 2009. Physiology of environmental stresses in plants. Jahade Daneshgahi Mashhad Press. Mashhad. (In Persian)
- Kamaei, H., H.R. Eisvand, M. Daneshvar, and F. Nazarian-Firouzabadi. 2017. The study effect of potassium, zinc and boron foliar application on canopy temperature, physiological traits and yield of two bread wheat cultivars under optimum and late planting dates. *Journal of Crop Production*. 10(4): 187-203. (In Persian).
- Karimi, R. 2017. Potassium-induced freezing tolerance is associated with endogenous abscisic acid, polyamines and soluble sugars changes in grapevine. *Scientia Horticultura*. 215: 184-194.
- Kazemi, M. 2015. Investigation of the effects of Irrigation cut off and application of humic acid and nitroxin on barley of Bahman cultivar. Master Thesis in Agriculture, Payame Noor University. (In Persian).
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants, 2nd Ed. Academic Press. London. Pp: 889.
- Marschner, P. 2012. Mineral nutrition of higher plants. 3rd edition, Academic Press, London.
- Mazaheri Nia, S., A.R. Astaraei, A. Fatout, and A. Mounshi. 2010. Investigation of the effect of iron oxide consumption (nano and ordinary) along with sulfur granular compost on iron concentration and wheat plant growth of Attila cultivar. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 8(5): 855-861. (In Persian).
- Mengel, K. 2007. Potassium. In: Handbook of plant nutrition (Barker, A. V. and Pilbeam, D. J.) 91-120. CRC Press, New York .
- Molnar, I., L. Gaspar, E. Sarvari, S. Dulai, B. Haffman, L.M. Molnar, and G. Galiba. 2005. Physiological and morphological response to water stress in *Aegilops biuncialis* a *Triticum aestivum* genotype with differing tolerance to drought. *Functional Plant Biology.* 31: 1149-1159.
- Nowrouzi, M., and M. Qajar Sepanlo. 2014. Effect of potassium on yield components of two barley cultivars under saline irrigation conditions. *Water Research in Agriculture.* 28(2): 295-306.
- Parzivand, A., F. Ghoshchi, M.R. Mamizi, and H.R. Tohidimoghadm. 2011. The effect of foliar application of zinc and nitrogen fertilizer on yield and some quality indicators of wheat grain in drought stress conditions. *Crop Research* (*Environmental Stresses in Plant Sciences*). 3(1): 55-69. (In Persian).

- Ramirez-Vallejo, P., and J.D. Kelly. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica*. 99: 127–136.
- Rostami Ajirloo, A.A., and E. Amiri. 2018. Soybean response to different levels of nano-potassium under cutting irrigation conditions in Mugan plain. *Crops Improvement.* 20(2): 503-516. (In Persian).
- Sangakkara, U.R., M. Frehner, and J. Nösberger. 2000. Effect of soil moisture and potassium fertilizer on shoot water potential, photosynthesis and partitioning of carbon in mungbean and cowpea. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 185: 201-207.
- Senobar, A., A. Tabatabaei, and F. Dehgani. 2010. Effect of irrigation on grain yield, yield components and harvest index of wheat genotype in Yazd. *Journal Environmental Stresses in Agronomy.* 3: 22-35. (In Persian).
- Soleymani, A. 2016. The effect of drought stress on yield and yield components of wheat by using ET-HS model. *Environmental stresses in Crops sciences*. 9(3): 205-215. (In Persian).
- Tajali, H., S.G. Mosavi, R. Baradaran, M.H. Saberi, and A. Arzmajo. 2013. Evaluation of 20 barley genotypes under the terminal drought condition. *Journal of Crop Ecophysiology*. 7(1): 91-104. (In Persian).
- Toutfi, F., and Sh. Shokuhfar. 2019. Effect of humic acid on yield, yield components and physiological parameters of wheat in deficit irrigation conditions. *Journal of Plant Production Science*. 9(2): 121-132. (In Persian).
- Vafaei, A., A. Ebadi, and Gh. Pourmon. 2015. Effect of potassium and magnesium fertilizer application on grain yield and the amount of safflower oil. *Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products.* 5(17): 111-121.
- Wen-zhong, Z., H. Ya-dong, and D. Hong-juan. 2007. Relationship between canopy temperature at flowering stage and soil water content, yield components in rice. *Rice Science*.14 (1): 67-70.
- Zarifinia, N., A. Ayenehband, Sh. Lack, and A. Modhej. 2013. Evaluation of the effect of water deficit and potassium consumption on the stomatal leads of mung bean genotypes in northern Khuzestan. Fifth International Conference on Iranian Beans, 597-600. (In Persian).
- Zheng, Y., J. Aijun, N. Tangyuan, J. Xud, L. Zengjia, and J. Gaoming. 2008. Potassium nitrate application alleviates sodium chloride stress in winter wheat cultivars differing in salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*. 165: 1455-1465.

Research Article DOI:

Effect of Potassium Nano Chelate on Physiological and Yield Characteristics of Barley in Phenological Stages under Irrigation Cut-Off Conditions

Mohammad Sayahi[1], Mani Mojaddam[2*] and Alireza Shokuhfar[3]

Received: April 2021 , Revised: 20 March 2022, Accepted: 24 April 2022

Abstract

In order to effect of potassium nano chelate on physiological and yield characteristics of barley in irrigation cut-off conditions, this research was done as split plot in randomized complete blocks design with three replications. Main treatment consisted: full irrigation, no irrigation at the beginning of stem elongation, and no irrigation at the pollination stage and sub treatment consisted: no foliar application (control), 35 $mg.L^{-1}$ and 65 $mg.L^{-1}$ potassium nano chelate. results showed that the effect of deficit irrigation cut-off and potassium nano-chelate on number of spikes, number of seeds per spike, weight of 1000 seeds, grain yield, stomatal conductance, canopy temperature and relative water content leaf were statistically significant at 1% level of probability. Interaction irrigation cut-off and potassium nano-chelate number of spikes, weight of 1000 seeds, in canopy temperature and relative water content leaf were significant at 1% probability and stomatal conductance at 5% probability level. The highest grain yield was in full irrigation (control) (5308 kg.ha-1) and 65 $mg.L^{-1}$ potassium nano-chelate (4854.9 kg.ha-1) and the lowest was in irrigation at anthesis (3169.4 kg.ha-1) and no foliar application (control) (3588 $kg.ha^{-1}$). the maximum relative water content of leaf was in complete irrigation (control) and foliar application of 65 $mg.L^{-1}$ potassium nano-fertilizer (73.13%) and the minimum was in non-irrigation at anthesis and non-foliar application of potassium nano-fertilizer (35.99%). maximum stomatal coductance was in complete irrigation (control) and foliar application of 65 $mg.L^{-1}$ potassium nano-fertilizer (185.87 $mlmol.m^{-2}s^{-1}$) and the minimum was in non-irrigation at anthesis and non-foliar application of potassium nano-fertilizer (47.99 $mlmol.m^{-2}s^{-1}$). as a result, foliar application of 65 $mg.L^{-1}$ potassium nano-fertilizer at different irrigation cut-off periods cause improves grain yield and leaf water in comparison to control (no foliar application) and is recommended.

Key words: Foliar application, Grain yield, Irrigation holding is better, Stomatal conductance.

1- M.S.c. Student, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2- Assistant Professor Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
3- Associate Professor Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
**Corresponding Authors: manimojaddam@yahoo.com*