

مقاله پژوهشی

اثر رژیم‌های کم‌آبیاری و نانو ذرات سیلیکا بر عملکرد و شاخص بهره‌وری آب در گیاه کاهو (*Baby lettuce Vivian*)

شکور طافی^{۱*}، عبدالرحیم هوشمند^۲، ناصر عالم زاده انصاری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۱

چکیده

رشد جمعیت و افزایش مشکلات زیست‌محیطی، تقاضای آب آبیاری در بسیاری از مناطق جهان را افزایش داده است. فناوری نانو تأثیرات زیادی در تولید پایدار محصولات کشاورزی داشته و می‌تواند خطرات زیست‌محیطی را کاهش داده و فرصت‌هایی برای تولید محصولات جدید فراهم کند. این تحقیق با هدف بررسی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب تحت شرایط رژیم‌های کم‌آبیاری و نانو ذره سیلیکا انجام شد. مطالعه حاضر بر روی گیاه کاهو (*Baby lettuce Vivian*) در سه سطح آبیاری (۷۵، ۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و سه سطح کاربرد نانو ذره شامل ۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به صورت تغذیه ریشه‌ای در سه تکرار انجام شد. این طرح در قالب کرت‌های خرد شده نواری و با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی تحلیل شد. بر اساس نتایج، بیش‌ترین میزان پارامتر عملکرد کل به ترتیب در تیمار I100F100 برابر ۸۷/۸۸ گرم بر بوته و کم‌ترین میزان در تیمار I85F50 با ۴۷ گرم بر بوته به ثبت رسید. همچنین بالاترین عملکرد زیست‌توده در تیمار I100F50 ثبت شد که برابر ۶۱/۳۳ گرم بر بوته بود و پایین‌ترین عملکرد زیست‌توده نیز در تیمار I75F100 گزارش گردید که برابر ۲۶ گرم بر بوته بود. تیمار I100F50 با ۲۰/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب را داشت. بالاترین و پایین‌ترین شاخص برداشت در این پژوهش، به ترتیب برابر ۷۴/۶۸ و ۵۲/۶۱ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: سیلیکا، کم‌آبیاری، کاهو، نانو ذره، ویویان

مقدمه

می‌باشند، به ویژه که در سینی‌های کشت دارای مقدار کمی خاک نگهداری می‌شوند که باعث می‌شود دسترسی آب و مواد غذایی محدود شود (Bezerra et al., 2019). فناوری نانو تأثیرات زیادی در تولید و محیط‌زیست داشته و می‌تواند خطرات زیست‌محیطی را کاهش دهد و فرصت‌هایی برای تولید محصولات جدید فراهم کند پس می‌توان آن را به عنوان یک فناوری سبز و ابزاری مؤثر برای دستیابی به توسعه پایدار در نظر گرفت (Isfahani et al., 2019). همچنین برای تولید محصولات زراعی، می‌توان از سموم دفع آفات و کودهای کمتری برای حفظ محصولات در درازمدت استفاده شود (Sharifi et al., 2016). توسعه و استفاده از انواع جدید کودها با استفاده از فناوری نانو، یکی از گزینه‌های بالقوه مؤثر برای افزایش قابل توجه تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان است که امکان پاسخگویی به نیازهای آینده جمعیت رو به رشد دارد. در واقع، برخی از نانو مواد مهندسی شده می‌توانند رشد گیاه را در محدوده‌های خاصی افزایش دهند و می‌توانند به عنوان کود نانو در کشاورزی استفاده شوند تا محصول زراعی را افزایش دهند و یا آلودگی محیط‌زیست را کاهش دهند (Lal and Liu, 2015). نانو ذرات

با افزایش روند رشد جمعیت، اقتصادی و معضلات زیست‌محیطی، تقاضای آب آبیاری در بسیاری از مناطق جهان در آینده افزایش می‌یابد (Ballester et al., 2013). استفاده از آب به ویژه در مناطق با منابع محدود آب رو به افزایش می‌باشد. در کشاورزی استفاده از آب و مواد غذایی کافی و متوازن از بهترین روش‌های به دست آوردن ماکزیم عملکرد در واحد سطح است همچنین استفاده زیاد از آب و مواد غذایی نیز منجر به بروز برخی مشکلات جدی خواهد شد (Acar et al., 2008). تولید نشاء گام مهمی در روند تولید سبزیجات می‌باشد. در طول دوره جوانه‌زنی، گیاهان در برابر عوامل محیطی بسیار حساس

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳- دانشیار گروه زراعت و باغبانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

*-نویسنده مسئول: (Email: shakoort73tafi@yahoo.com)

همکاران تحقیقی به منظور بررسی اثرات سیلیسیم در رشد و نمو توت‌فرنگی در شرایط تنش آبی ترتیب دادند. این آزمایش به صورت فاکتوریل در یک طرح کاملاً تصادفی، برای بررسی اثرات سه سطح آبیاری و چهار تیمار سیلیسیم شامل صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی مول بر لیتر سیلیکات پتاسیم صورت گرفت. نتایج نشان داد که افزایش سطح تنش آب باعث کاهش بیش‌تر ویژگی‌های کمی از جمله سطح برگ خاص، فلورسانس کلروفیل، سرعت فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای می‌شود. علاوه بر این سیلیسیم به طور قابل توجهی بیش‌تر عوامل ذکر شده را افزایش داد. تنش آب باعث افزایش نشت الکترولیت، پرولین و راندمان مصرف آب شد. استفاده از سیلیسیم به طور قابل توجهی باعث کاهش میزان تعرق و بهبود محتوی کلروفیل و کارایی مصرف آب شد. تنش آبی باعث جذب مواد مغذی می‌شود علاوه بر این کاربرد سیلیسیم اثرات مفیدی بر گیاهان توت‌فرنگی داشت و افزودن آن می‌تواند تنش آبی را کاهش دهد (Dehghanipoodeh et al., 2018). امین و همکاران یک آزمایش میدانی در سال ۲۰۱۱ در ایستگاه تحقیقاتی کارشناسی ارشد (PARS)، دانشگاه کشاورزی فیصل‌آباد، پاکستان انجام دادند. رشد دو هیبرید ذرت P-33H25 و FH-810 در شرایط آب چاه و کمبود آب که تحت تأثیر کاربرد Si قرار گرفت، ارزیابی شد. سیلیکا به میزان ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به خاک اضافه شد. کمبود آب در خاک به طور قابل توجهی ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت را کاهش می‌دهد. در گیاهان تحت تنش خشکی، کاربرد سیلیکا در هیبریدهای ذرت P-33H25 و FH-810 باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته (۱۲۹/۰۴ سانتی‌متر و ۱۲۰/۰۰ سانتی‌متر)، قطر ساقه (۱/۲۳ سانتی‌متر و ۱/۲۲ سانتی‌متر)، تعداد برگ (۱۳/۲۶ و ۱۳/۲۰)، تعداد دانه / کاسه (۲۳۵/۰۵ و ۲۱۵/۳۵)، وزن ۱۰۰ دانه (۱۹/۶۵ گرم و ۱۸/۵۱ گرم)، عملکرد دانه (۴۶/۱۸ گرم و ۳۹/۸۸ گرم) و عملکرد بیولوژیکی (۱۱۵/۴۶ گرم و ۱۰۲/۳۴ گرم) شد. در نتیجه، استفاده از سیلیکون در گیاهان ذرت تحت تأثیر خشک‌سالی باعث بهبود رشد و عملکرد می‌شود که می‌تواند به بهبود سرعت فتوسنتزی و تعرق منجر شود (Amin et al., 2018). احمد و همکاران به بررسی اثر کاربرد سیلیکا بر عملکرد گندم تحت تنش کم‌آبی پرداختند. بدین منظور از نانوذره سیلیکا در دو سطح ۰ و ۱۲ کیلوگرم در هکتار تحت شرایط تنش خشکی استفاده شد. نتایج این آزمایش نشان داد که سیلیکا به حفظ پتانسیل آب در گیاهان حتی تحت کاهش رطوبت در گیاهان و خاک کمک کرده و در نهایت سبب افزایش تولید محصول و بیوماس در شرایط تنش خشکی شده است (Ahmad et al., 2016). همکاران به منظور تعیین بررسی تأثیر کاربرد محلول‌پاشی نانو ذرات بر و روی بر عملکرد و کیفیت انار در منطقه اردستان آزمایشی را در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با نه تیمار و چهار تکرار در هر تیمار انجام دادند. بدین منظور از غلظت‌های ۰، ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم

SiO₂ یکی از محبوب‌ترین نانو مواد است که در زمینه‌های مختلف از قبیل تصفیه فاضلاب، تصفیه محیط‌زیست، پردازش غذا، کاربرد صنعتی و خانگی، زیست پزشکی، برچسب‌گذاری بیماری و بیوسنسور و غیره استفاده شده است. در کشاورزی، استفاده از SiO₂ نانو ذرات به عنوان حشره‌کش، حامل‌های تحویل دارو یا در جذب و انتقال مواد عناصر غذایی و غیره، مورد توجه قرار گرفته است (et al., 2014). کاهو یکی از مهم‌ترین سبزیجات است که در سراسر جهان کشت و مصرف می‌شود. کاهو دارای مقادیر بالای آنتی‌اکسیدان‌ها و فیتوشیمیایی از جمله اسید کافئین و مشتقات آن، فلاونول‌ها، ویتامین‌های D و E، کلروفیل و کاروتنوئیدها می‌باشد. مصرف کاهو به سلامت انسان کمک خوبی می‌کند. کم آبیاری به عنوان یک روش استراتژیک صرفه‌جویی در آب، بیشتر در مناطق خشک مورد استفاده قرار می‌گیرد. گیاه کاهو به کمبود آب در خاک بسیار حساس است (Shams et al., 2019). شواهد باستانی نشان می‌دهد که کاهو ۴۵۰۰ سال قبل از میلاد مسیح در مصر کشت شده و به صورت علوفه و نیز برای روغن‌کشی از بذر آن استفاده می‌شد. بیش از ۲۵۰۰ سال است که کاهو به عنوان غذا و دارو کشت و مورد استفاده بشر قرار می‌گرفته است. تبدیل به شکل خوراکی مورد استفاده بشر احتمالاً در ناحیه شرق مدیترانه، دجله و فرات اتفاق افتاده است. در سال ۱۸۸۰ بیش از ۲۰ رقم کاهو در آمریکا وجود داشت و در سال ۱۸۸۵ ایستگاه تحقیقات کشاورزی نیویورک ۸۷ رقم کاهو را ثبت کرده است طاهری و همکاران (۱۳۹۶). رومین نوعی کاهو استوانه‌ای است که به صورت قائم رشد کرده و برگ‌های سفت و ترد تولید می‌کند که در انواع مختلفی از رقم‌های سبز و قرمز وجود دارند مانند "گوهر کوچک" (Little Gem)، "سیلویا ارگانیک" (Silvia Organic) و "ویویان" (Vivian).

کاهو، رقم ویویان (Baby Lettuce Vivian) یک کاهو رومی سبز تیره تولید می‌کند که بافتی نزدیک به کاهو پیچ کلمی از نوع Butter head دارد. این نوع کاهو، با داشتن برگ‌های سبز تیره و ترد از بازاری‌پسندی خوبی برخوردار بوده است. زمان کاشت تا برداشت حدود ۷۰ روز داشته که محل پرورش آن مزرعه و گلخانه می‌باشد. کبیبی و همکاران در مطالعه‌ای درباره تأثیر نانو مواد بر باکتری‌های ریزوسفر از سه نانوذره برای بذر کاهو استفاده کرد. دو مورد از نانو مواد مورد مطالعه، نانو سفرهای پلی استایرن اصلاح‌شده با آمین و نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم، به طور قابل توجهی باعث کاهش تعداد باکتری‌های ریزوسفر و رشد ریشه و شاخسار گیاه می‌شوند. در مقابل، نانو سپرهای پلی استایرن اصلاح شده با سولفات باعث افزایش تعداد باکتری‌های ریزوسفر شدند اما تأثیر قابل توجهی در رشد آن‌ها نداشت. فقط نانو سفرهای پلی استایرن اصلاح شده با آمین که به سطوح ریشه چسبیده‌اند، نشان می‌دهد که اتصال نانو مواد به سطوح ریشه نیاز به رشد گیاه دارد (Kibbey et al., 2019). دهقانی پوده و

قابلیت تحمل شوری نسبت به رقم‌های معمول کاهو را دارد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر نانو ذرات سیلیکا و روش‌های آبیاری معمولی (CI) و کم‌آبیاری تنظیم‌شده (RDI) بر بهره‌وری آب و عملکرد کاهو، آزمایشی در قالب طرح کرت‌های خردشده نواری بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. زمان شروع کاشت نشاءهای گیاه کاهو ۹ مهرماه ۱۳۹۸ بود. بعد از آماده‌سازی کامل بستر کشت، نشاءهای کاهو به گلدان‌های ۱/۵ لیتری حاوی خاک در تاریخ ۸ آبان ماه ۱۳۹۸ انتقال یافتند. آزمایش شامل سه سطح آبیاری ۱۰۰، ۸۵ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه (به ترتیب I₁₀₀، I₈₅ و I₇₅) و سه سطح نانوذره ۱۰۰، ۵۰ و ۰ میلی‌گرم در لیتر (به ترتیب F₁₀₀، F₅₀ و F₀) به صورت تغذیه ریشه‌ای بود. طرح این آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

بر لیتر نانو ذرات روی و ۰، ۳/۲۵ و ۶/۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو ذرات بر استفاده شد. نتایج نشان داد نانو ذرات سبب افزایش عملکرد و کیفیت میوه انار می‌شود (Davarpanah et al., 2016). ذرتی‌پور و همکاران (۱۳۹۶) به منظور بررسی اثر کم‌آبیاری و شوری آب آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب کاهو برگی رقم Red salad Bowl تحقیقی در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام دادند. این تحقیق شامل سه تیمار آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی و چهار تیمار شوری ۰/۵، ۲، ۳/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. نتایج نشان داد که اثر میزان آب آبیاری بر تمام پارامترهای مورد بررسی گیاه غیر از قطر ساقه و بهره‌وری مصرف آب در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین میزان عملکرد مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود (۱۴۸ گرم در بوته). اثر شوری آب آبیاری فقط بر سطح برگ، طول بوته، طول ساقه و بهره‌وری مصرف آب در سطح پنج درصد معنی‌دار شد و بیش‌ترین (۱۲۷ گرم در بوته) میزان عملکرد مربوط به تیمار با شوری آب آبیاری ۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. اثر متقابل آبیاری و شوری به جز طول ساقه بر هیچ‌کدام از صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، رقم مورد مطالعه

جدول ۱- نحوه جانمایی تیمارهای طرح

تکرار سوم			تکرار دوم			تکرار اول		
r ₃ I ₁₀₀ F ₀	r ₃ I ₈₅ F ₀	r ₃ I ₇₅ F ₀	r ₂ I ₇₅ F ₁₀₀	r ₂ I ₁₀₀ F ₁₀₀	r ₂ I ₈₅ F ₁₀₀	r ₁ I ₈₅ F ₅₀	r ₁ I ₇₅ F ₅₀	r ₁ I ₁₀₀ F ₅₀
r ₃ I ₁₀₀ F ₁₀₀	r ₃ I ₈₅ F ₁₀₀	r ₃ I ₇₅ F ₁₀₀	r ₂ I ₇₅ F ₅₀	r ₂ I ₁₀₀ F ₅₀	r ₂ I ₈₅ F ₅₀	r ₁ I ₈₅ F ₀	r ₁ I ₇₅ F ₀	r ₁ I ₁₀₀ F ₀
r ₃ I ₁₀₀ F ₅₀	r ₃ I ₈₅ F ₅₀	r ₃ I ₇₅ F ₅₀	r ₂ I ₇₅ F ₀	r ₂ I ₁₀₀ F ₀	r ₂ I ₈₅ F ₀	r ₁ I ₈₅ F ₁₀₀	r ₁ I ₇₅ F ₁₀₀	r ₁ I ₁₀₀ F ₁₀₀

الکتریکی خاک، درست قبل از شروع فصل کشت در خاک، ۳/۶۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. نتایج کامل آزمایش‌های تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۲ ارائه شده است.

در جدول ۱، I (آبیاری به میزان ۱۰۰، ۸۵ و ۷۵ درصد نیاز آبی)، F (نانوذره سیلیکا با غلظت ۱۰۰، ۵۰ و ۰ میلی‌گرم بر لیتر) و I (تکرار) می‌باشد. بر اساس نتایج آزمایش‌های انجام شده، بافت خاک لومی بوده که در طبقه خاک‌های میان بافت قرار می‌گیرد. همچنین هدایت

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

جرم مخصوص ظاهری (gr/cm ³)	θ _V PWP (%)	θ _V FC (%)	pH	هدایت الکتریکی (dS/m)	بافت خاک	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)
۱/۳۷	۱۵/۶۱	۳۰/۳۴	۷/۷۳	۳/۶۵	لوم	۱۸/۴	۳۲/۴	۴۹/۲

مقدار رطوبت خاک گلدان به دست آمد. هنگامی که رطوبت حجمی خاک به حد تخلیه مجاز رسید اقدام به آبیاری بعدی شد و رطوبت گلدان دوباره به حد ظرفیت زراعی ارتقاء داده شد. برداشت محصول در ۹ دی ۱۳۹۸ انجام گرفت. در پایان دوره رشد، صفات مورفولوژیکی شامل عملکرد کل، شاخص برداشت، عملکرد زیست‌توده و بهره‌وری مصرف آب برای گیاه کاهو رقم ویویان اندازه‌گیری شد. در شکل ۱ نحوه قرارگیری تیمارهای آزمایش و مراحل انجام کار نشان داده شده است.

نیاز آبی خالص گیاه (تیمار ۱۰۰ درصد) با استفاده از میانگین مقدار سه عدد لایسیمتر وزنی به صورت روزانه اندازه‌گیری و برای سایر تیمارها درصدی از این مقدار در نظر گرفته شد سپس با استفاده از درصد نیاز آبشویی مقدار نیاز آبی ناخالص برای هر تیمار محاسبه شد. در این پژوهش از ۲۷ گلدان با قطر ۱۴ و ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر استفاده شد. نحوه‌ی انجام آبیاری به صورت دستی انجام شد. هم-چنین در طول دوره رشد از کود NPK با نسبت (۱۵:۱۵:۱۵) به صورت محلول استفاده شد. برای تعیین زمان آبیاری از روش وزنی استفاده شد به این صورت که هر روز با وزن کردن گلدان‌های شاهد



شکل ۱- چیدمان گلدان‌های حاوی کاهو رقم ویویان

وری از آب مصرفی برای عملکرد به قرار زیر می‌باشد:

$$WP_y = \frac{Y}{I} \quad \text{رابطه ۳}$$

که WP_y ، Y و I به ترتیب بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد (کیلوگرم بر مترمکعب)، عملکرد محصول (کیلوگرم) و میزان آب آبیاری (مترمکعب) می‌باشد.

شاخص برداشت (HI)

یکی از پارامترهای مهم در تحلیل‌های زراعی، تعیین و مقایسه شاخص برداشت است. عملکرد یک گیاه را می‌توان از طریق افزایش کل ماده خشک تولید شده در مزرعه یا افزایش سهم عملکرد اقتصادی (شاخص برداشت) یا هر دو بالا برد. از شاخص برداشت جهت مقایسه میزان محصول تولیدی (عملکرد اقتصادی) که در کاهو معادل برگ بوته است و عملکرد بیولوژیکی گیاه استفاده می‌شود که به طور خلاصه روابط مربوط به آن بیان می‌شود. لازم به ذکر است که این روابط توسط (Donald and Hamblin, 1976) بیان شدند.

$$H_i = B/Y \quad \text{رابطه ۴}$$

H_i ، B و Y شاخص برداشت (درصد)، عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار) و عملکرد کل (کیلوگرم در هکتار) می‌باشد.

محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری

در پایان آزمایش، اطلاعات گردآوری شده در نرم‌افزار Excel ثبت شدند. آنالیز آماری توسط نرم‌افزار SAS انجام شد. جهت مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

برای اندازه‌گیری عملکرد زیست‌توده گیاه کاهو، قسمت هوایی گیاه به وسیله قیچی جدا شده و با استفاده از ترازو دقیق دیجیتالی وزن آن محاسبه شد. همچنین ریشه نیز وزن شد.

نحوه محاسبه نیاز آبی

جهت تعیین زمان آبیاری میکرو لایسیتمرها از روش وزنی استفاده گردید (Alagao and Pelesco, 2014) و میزان آب آبیاری به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$d_n = (W_L + W_2) - (W_1 + W_D) \quad \text{رابطه ۱}$$

d_n ، W_1 ، W_2 ، W_L و W_D به ترتیب آب مصرفی، وزن میکرو لایسیتمتر قبل از آبیاری، وزن آب آبیاری در ۲۴ ساعت، وزن میکرو لایسیتمتر یک روز پس از آبیاری و وزن زهاب می‌باشند. تمامی پارامترهای ذکر شده بر حسب گرم می‌باشند. همچنین به منظور برآورد نیاز ناخالص آبیاری در گلدان‌ها از رابطه زیر استفاده می‌گردد:

$$d_g = (1 + LR)d_n \quad \text{رابطه ۲}$$

LR = نیاز آبشویی

شاخص بهره‌وری آب (WP)

یکی از شاخص‌های مورد استفاده در مباحث عملکرد گیاه و آب مصرفی، که مبنایی اقتصادی دارد، بهره‌وری از آب است که به صورت نسبت عملکرد محصول به مقدار آب مصرفی تعریف می‌شود. آب مصرفی شامل بارش، آبیاری یا آبیاری بعلاوه بارش می‌باشد. بهره‌وری از آب مصرفی بیانگر میزان تولید به ازای واحد آب است. شاخص بهره

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس و اجزای عملکرد گیاه کاهو تحت اثرات جداگانه و توأمان تنش کم‌آبی و نانو ذره سیلیکا در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس این نتایج، تنش کم‌آبی بر روی عملکرد کل، عملکرد زیست‌توده، بهره‌وری مصرف آب و شاخص برداشت دارای اثر معنی-دار در سطح احتمال یک درصد بود. در این مطالعه اثر استفاده از نانو ذره بر روی هیچ یک از شاخص‌های بررسی شده، معنی‌دار یافت نشد. اثر توأمان تنش کم‌آبی و استفاده از نانو ذره بر روی عملکرد کل، عملکرد زیست‌توده و بهره‌وری مصرف آب در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود اما بر روی شاخص برداشت این اثر معنی‌دار یافت نشد.

عملکرد کل

بنابر جدول ۴، عملکرد کل کاهو در شرایط آبیاری کامل برابر

۷۹/۳۲ گرم به‌دست آمد اما با اعمال ضریب کم‌آبی ۸۵ درصد به ۵۹/۵ گرم و ۷۵ درصد به ۵۳/۲۸ گرم رسید که نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار تنش کم‌آبی بر روی عملکرد کل در سطح احتمال یک درصد می‌باشد. در تحقیق خود بیش‌ترین عملکرد کاهو (۴۵ تن در هکتار) را برای تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گزارش دادند. همچنین برای تیمارهای ۶۰ و ۳۰ درصد نیاز آبی به این نتیجه رسیدند که نسبت به تیمار آبیاری کامل کاهش قابل توجهی داشتند. استفاده از نانو ذره سبب افزایش عملکرد کل شد اما این افزایش معنی‌دار یافت نشد (جدول ۴). در شرایط بدون نانو ذره عملکرد کل ۶۰/۶۴ گرم، استفاده از ۵۰ میلی-گرم نانو ذره ۶۴/۰۶ گرم و استفاده از ۱۰۰ میلی گرم نانو ذره ۶۷/۹۶ به-دست آمد (Nagaz et al., 2013). در تحقیقی به بررسی اثر نانو ذره سیلیکا بر گیاه ذرت پرداختند که متوجه شدند نانو ذره باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Amin et al., 2018).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کاهو

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد کل	عملکرد زیست‌توده	بهره‌وری مصرف آب	شاخص برداشت
بلوک	۲	۵۸/۸۸ ^{ns}	۳۹/۸۱ ^{ns}	۱۰/۱۸ ^{ns}	۱۰/۵۱ ^{ns}
تنش کم‌آبی (I)	۲	۱۷۲۴/۳۴**	۱۷۷۱/۱۲**	۲۱۳/۴۳**	۵۶۸/۱۲**
نانو ذره (F)	۲	۱۱۸/۵۸ ^{ns}	۲۵/۵۴ ^{ns}	۵/۸۲ ^{ns}	۱۴/۸۱ ^{ns}
I*F	۴	۳۵۷/۷۷*	۲۲۷/۴۸*	۶۵/۳۸*	۴۶/۵۴ ^{ns}
خطای I*F	۳۹	۱۰۷/۲۰	۵۱/۸۲	۱۴/۵۲	۲۱/۷۳
ضریب تغییرات (%)		۱۶/۱۲	۱۷/۱۰	۱۷/۵۱	۷/۲۹

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد و ns بدون اثر معنی‌دار

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کاهو تحت اثرات اصلی کم‌آبی و نانو ذره

عملکرد کل (گرم بر بوته)	عملکرد زیست‌توده (گرم بر بوته)	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	شاخص برداشت (درصد)	
۷۹/۸۲	۵۷/۶۷	۲۷/۲۸	۷۲/۳۵	۱۰۰ درصد
a	a	a	a	(I ₁₀₀)
۵۹/۵	۳۸/۰۶	۲۰/۰۷	۶۳/۰۱	۸۵ درصد
b	b	b	b	(I ₈₅)
۵۳/۲۸	۳۰/۵۰	۱۷/۹۶	۵۶/۴۹	۷۵ درصد
b	b	b	c	(I ₇₅)
۶۷/۹۶	۴۳/۵۰	۲۲/۳۸	۶۲/۴۹	۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر (F ₁₀₀)
a	a	a	a	
۶۴/۰۶	۴۲/۵۰	۲۲/۰۹	۶۴/۶۶	۵۰ میلی‌گرم در لیتر (F ₅₀)
a	a	a	a	
۶۰/۶۴	۴۰/۲۲	۲۰/۸۵	۶۴/۷۰	بدون نانو ذره (F ₀)
a	a	a	a	

ستون‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری (آزمون دانکن در سطح ۵ درصد)، تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کاهو تحت اثر توأمان کم‌آبی و نانوذره

شاخص برداشت (درصد)	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	عملکرد زیست‌توده (گرم بر بوته)	عملکرد کل (گرم بر بوته)	نانوذره	سطوح کم‌آبی
۶۹/۶۷	۲۸/۷۹	۶۰/۸۳	۸۷/۸۸	۱۰۰	
ab	a	a	a		
۷۴/۶۸	۲۹/۰۱	۶۱/۳۳	۸۲/۳۳	۵۰	۱۰۰
a	a	a	ab		
۷۲/۷۰	۲۴/۰۴	۵۰/۸۳	۶۹/۲۵	.	
A	a	ab	bc		
۶۵/۲۱	۲۳/۰۳	۴۳/۶۷	۶۶/۸۳	۱۰۰	
abc	a	b	bc		
۵۸/۷۶	۱۴/۶۸	۲۷/۸۳	۴۷/۰۰	۵۰	۸۵
cd	c	c	e		
۶۵/۰۵	۲۲/۵۰	۴۲/۶۷	۶۴/۸۳	.	
abc	ab	b	bcd		
۵۲/۶۱	۱۵/۳۱	۲۶/۰۰	۴۹/۱۷	۱۰۰	
d	c	c	ed		
۶۰/۵۳	۲۲/۵۷	۳۸/۳۳	۶۲/۸۳	۵۰	۷۵
bcd	ab	bc	cde		
۵۶/۳۴	۱۵/۹۹	۲۷/۱۷	۴۷/۸۳	.	
cd	bc	c	de		

ستون‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری (آزمون دانکن در سطح ۵ درصد)، تفاوت معنی‌داری ندارند

عملکرد زیست‌توده در سطوح آبیاری F0، F50 و F100 به ترتیب برابر ۴۰/۲۲، ۴۲/۵۰ و ۴۳/۵۰ گرم بود. در تحقیقی افزایش زیست-توده کاهو را در اثر استفاده از نانوذره اکسید روی گزارش دادند Xu et al., (2018). نیز افزایش میزان زیست‌توده گیاه گندم در اثر استفاده از نانو ذرات اکسید روی و آهن تأیید کردند (Rizwan et al., 2019). اثر متقابل کم‌آبی و استفاده از نانوذره سبب تأثیر معنی‌دار بر روی عملکرد زیست‌توده در سطح احتمال پنج درصد شد. عملکرد زیست-توده کاهو در این پژوهش در دامنه ۶۱/۳۳ گرم برای تیمار I100F50 تا ۲۷/۱۷ گرم برای تیمار I75F100 مشاهده شد.

بهره‌وری مصرف آب

بهره‌وری مصرف آب تحت تأثیر تنش کم‌آبی دچار کاهش معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد شد. بالاترین بهره‌وری مصرف آب با ۲۷/۲۸ کیلوگرم محصول به ازای هر مترمکعب آب مصرفی در تیمار I100 ثبت شد. بهره‌وری مصرف آب در تیمار I85 برابر ۲۰/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب و در تیمار I75 نیز برابر ۱۷/۹۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود که به ترتیب ۲۶/۴۲ و ۳۴/۱۶ درصد کاهش نسبت به شرایط آبیاری کامل را نشان می‌دهد. ذرتی پور و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیق خود گزارش کردند که اثر تیمارهای آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب گیاه کاهو معنی‌دار یافت نشد. هوشمندزاده و همکاران (۱۳۹۲) کاهش میزان آب آبیاری سبب افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب گیاه کاهو در سطح ۵ درصد شد. در طرح موجود، استفاده

در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که کاربرد نانوذره سیلیکا می‌تواند تأثیر مثبتی بر رشد گیاه و عملکرد خیار داشته باشد (Yassen et al., 2017). نیز همین نتیجه را با استفاده از اثر محلول‌پاشی نانو کود کلات آهن و روی بر گیاه خیار به دست آوردند (Javadimoghadam et al., 2015). مطابق نتایج، اثر متقابل تیمارهای آبیاری و نانوذره بر روی عملکرد کل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. در میان تیمارهای نه گانه، تیمار I100F100 با ۸۷/۸۸ گرم بالاترین عملکرد و تیمار I85F50 با ۴۷/۰۰ گرم پایین‌ترین عملکرد را داشتند (جدول ۵).

عملکرد زیست‌توده

اعمال تنش کم‌آبی سبب تأثیر کاهشی معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر روی عملکرد زیست‌توده شد. در تیمارهای آبیاری کامل، میانگین عملکرد زیست‌توده برابر ۵۷/۶۷ گرم محاسبه شد درحالی‌که در تیمارهایی که در سطح ۸۵ درصد نیاز آبی، آبیاری شدند زیست‌توده با ۳۴ درصد کاهش به ۳۸/۰۶ گرم و هم‌چنین در هنگام آبیاری در سطح ۷۵ درصد به ۳۰/۵۰ گرم رسید. تغییرات میانگین عملکرد زیست‌توده گیاه کاهو در تیمارهای کم‌آبی مختلف در شکل ۵-۴ ارائه شده است. محتشمی و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیق خود اعلام نمودند که تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد زیست‌توده ژنو تیپ‌های گل‌رنگ شده است. استفاده از نانوذره اگرچه تأثیر معنی‌داری بر روی عملکرد زیست‌توده نداشت اما سبب افزایش عملکرد شد.

عملکرد کل، عملکرد زیست‌توده، بهره‌وری مصرف آب کاهو در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. حداکثر عملکرد کاهو در تیمار I100F100 ثبت شد که معادل ۸۷/۸۸ گرم بود و تیمار I75F50 نیز با ۴۷ گرم، حداقل عملکرد را داشت. هم‌چنین میزان کاهش عملکرد در اثر کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ به ۷۵ درصد نیاز آبی، ۳۳/۲۵ درصد به‌دست آمد. بالاترین عملکرد زیست‌توده در تیمار I100F50 ثبت شد که برابر ۶۱/۳۳ گرم بود و پایین‌ترین عملکرد زیست‌توده نیز در تیمار I75F100 گزارش شد که برابر ۲۶ گرم بود. تیمار I100F50 با ۲۹/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب را داشت. هم‌چنین تیمار I85F50 با ۱۴/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب دارای کم‌ترین بهره‌وری مصرف آب بود. تنش کم‌آبی سبب کاهش و استفاده از نانوذره سیلیکا سبب افزایش بهره‌وری مصرف آب شدند. بالاترین و پایین‌ترین شاخص برداشت در این پژوهش، به ترتیب برابر ۷۴/۶۸ و ۵۲/۶۱ درصد بود.

منابع

- بهبودی، ف.، دادی، ا.ا. و محمدی‌گل‌تپه، ا. ۱۳۹۲. اثر ورمی کمپوست حاوی نانو ذرات اکسید مس و اکسید روی بر برخی ویژگی‌های زراعی لوبیاجیتی. مجله تولید گیاهان زراعی. ۶ (۳): ۳۳-۴۹.
- ذرتی‌پور، ا.، سلطانی محمدی، ا. و عالم‌زاده انصاری، ن. ۱۳۹۶. ارزیابی توابع کاهش جذب آب کاهو برگ‌ری (Red Salad Bowl) تحت تنش خشکی در شرایط گلخانه‌ای. آب و خاک. ۳۳ (۲): ۳۳۱-۳۱۷.
- گلستانی کرمانی، س.، نوری امام‌زاده‌ای، م.ر.، شایانی نسب، محمد، شاه نظری، ع. و محمدخانی، ع. ۱۳۹۳. بررسی اثرات تنش خشکی حاصل از کم‌آبیاری سنتی و متناوب روی برخی از خصوصیات کمی و کیفی سیب‌زمینی رقم آگریا. علوم مهندسی آبیاری. ۳۷ (۳): ۱۳۵-۱۲۳.
- طاهری، ه.، سلطانی‌محمدی، ا. و عالم‌زاده انصاری، ن. ۱۳۹۶. ارزیابی کاربرد پلیمر سوپرچاذب بر عملکرد و کارایی مصرف آب کاهو. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- محتشمی، ف.، تدین، م.ر. و روشندل، پ. ۱۳۹۷. ارزیابی تأثیر سطوح کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنو تیپ‌های گلرنگ. به زراعی کشاورزی. ۲۰ (۲): ۵۶۱-۵۴۷.
- هوشمندزاده، ع.، هوشمند، ع.، برومندنسب، س.، عالم‌زاده انصاری، ن. و سیاهپوش، م. ۱۳۹۲. تأثیر دور آبیاری و کم آبیاری در تعیین کارایی مصرف آب مناسب و کلروفیل برگ کاهو (Lactuca sativa) با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای در شرایط اقلیمی اهواز. دومین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط‌زیست. Acar, B., Paksoy, M., Türkmen, Ö. and Seymen, M.

از نانوذره تأثیر معنی‌داری بر بهره‌وری مصرف آب نداشت اما سبب افزایش در این پارامتر شد. درحالی‌که در شرایط بدون استفاده از نانوذره، بهره‌وری مصرف آب برابر ۲۰/۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود، استفاده از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره سبب افزایش این پارامتر به ۲۲/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب شد. در پژوهشی اعلام نمودند که کاربرد نانو ذرات سیلیکا سبب افزایش بهره‌وری مصرف گیاه ریحان می‌شود (Mahmoud et al., 2017). اثر متقابل تیمارهای سطح آبیاری و نانوذره بر روی بهره‌وری مصرف آب در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بالاترین میزان بهره‌وری در تیمار I100F50 به‌دست آمد که برابر ۲۹/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب بود و پایین‌ترین میزان بهره‌وری نیز با ۱۴/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار I85F50 ثبت شد.

شاخص برداشت

کاهش سطح آبیاری، سبب کاهش معنی‌دار شاخص برداشت کاهو در سطح احتمال ۱ درصد شد. درحالی‌که شاخص برداشت در شرایط آبیاری کامل، برابر ۷۲/۳۵ درصد بود، با کاهش سطح آبیاری به ۸۵ و ۷۵ درصد نیاز آبی، شاخص برداشت به ترتیب به ۶۳/۰۱ و ۵۶/۴۹ درصد کاهش یافت. محتشمی و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیق خود اعلام نمودند که تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار شاخص برداشت ژنو تیپ‌های گلرنگ شده است. هم‌چنین گلستانی کرمانی و همکاران (۱۳۹۲) به این نتیجه دست یافتند که تنش کم‌آبی باعث کاهش شاخص برداشت سیب‌زمینی در سطح احتمال یک درصد شده است. اثر نانوذره بر روی شاخص برداشت، معنی‌دار نبود. میانگین شاخص برداشت در تیمارهای بدون پوشش نانوذره برابر ۶۴/۷۰ درصد و در تیمار نانوذره ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، برابر ۶۲/۴۹ درصد محاسبه شد که تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. بهبودی و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیق اعلام نمودند که افزایش میزان نانو ذرات اکسید مس و اکسید روی باعث کاهش شاخص برداشت لوبیاجیتی شده است. اثر متقابل تیمارهای سطح آبیاری و پوشش نانوذره بر روی شاخص برداشت کاهو، معنی‌دار یافت نشد. در تیمارهای نه‌گانه، تیمار I100F85 با ۷۴/۶۸ درصد بالاترین و تیمار I75F100 با ۵۲/۶۱ درصد پایین‌ترین شاخص برداشت را داشتند.

نتیجه‌گیری

تنش کم‌آبی بر روی ویژگی‌های عملکرد کل، عملکرد زیست‌توده، بهره‌وری مصرف آب، شاخص برداشت دارای تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بود. استفاده از نانوذره سیلیکا بر روی هیچ یک از ویژگی‌های مورد بررسی گیاه کاهو در این تحقیق، معنی‌دار نبود. اثر متقابل تنش کم‌آبی و استفاده از نانوذره سیلیکا بر روی

- Plant Growth in Lettuce Seedlings. *Chemosphere*. 221: 707-703.
- Larue, C., Castillo-Michel, H., Sobanska, S., Trcera, N., Sorieul, S., Cécillon, L., Ouerdane, L., Legros, S. and Sarret, G. 2014. Fate of Pristine TiO₂ Nanoparticles and Aged Paint-Containing TiO₂ Nanoparticles in Lettuce Crop after Foliar Exposure. *Journal of Hazardous Materials*. 273: 26-17.
- Liu, R. and Lal, R. 2015. Potentials of Engineered Nanoparticles as Fertilizers for Increasing Agronomic Productions. *Science of the Total Environment*. 514: 139-131.
- Mahmoud, M.A., Shala, A.Y. and Rashed, N.M. 2017. The Mutual Effect of Irrigation and Foliar Spray of Silica Nanoparticles on Basil Plant. *Journal Plant Production, Mansoura Univ*. 8(12): 1313-1303.
- Nagaz, K., Mokh, F.E., Masmoudi, M.M. and Mechlia, N.B. 2013. Soil Salinity, Yield and Water Productivity of Lettuce under Irrigation Regimes with Saline Water in Arid Conditions of Tunisia. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 4(5): 900-892.
- Pelesco, V.A. and Alagao, F.B. 2014. Evapotranspiration Rate of Lettuce (*Lactuca Sativa L.*, *Asteraceae*) In a Non-Circulating Hydroponics System. *Journal of Society & Technology*. 4(1): 6-1.
- Rui, Y., Gui, X., Li, X., Liu, S. and Han, Y. 2014. Uptake, Transport, Distribution and Bio-Effects of SiO₂ Nanoparticles in Bt-Transgenic Cotton. *Journal of Nanobiotechnology*. 12(1): 50.
- Rizwan, M., Ali, Sh., Ali, B., Adrees, A., Arshad, M., Hussain, A., Rehman, M.Z.U. and Abdul-Waris, A. 2019. Zinc And Iron Oxide Nanoparticles Improved The Plant Growth And Reduced The Oxidative Stress And Cadmium Concentration In Wheat. *Chemosphere*. 214: 277-269.
- Shams, M., Ekinci, M., Turan, M., Dursun, A., Kul, R. and Yildirim, E. 2019. Growth, Nutrient Uptake and Enzyme Activity Response of Lettuce (*Lactucasativa L.*) To Excess Copper. *Environmental Sustainability*. 2(1): 73-67.
- Sharifi, R.J., Sharifirad, M. and Teixeira, D.S.J. 2016. Morphological, Physiological and Biochemical Responses of Crops (*Zea Mays L.*, *Phaseolus Vulgaris L.*), Medicinal Plants (*Hyssopus Officinalis L.*, *Nigella Sativa L.*), and Weeds (*Amaranthus Retroflexus L.*, *Taraxacum Officinale Fh Wigg*) Exposed To SiO₂ Nanoparticles.
- Xu, J., Luo, X., Wang, Y. and Feng, Y. 2018. Evaluation of Zinc Oxide Nanoparticles on Lettuce (*Lactuca Sativa L.*) Growth and soil bacterial community. *Environmental Science and Pollution Research*. 25(6): 6035-6026.
- Yassen, A., Abdallah, E., Gaballah, M. and Zaghoul, S. 2017. Role of Silicon Dioxide Nano Fertilizer in Mitigating Salt Stress on Growth, Yield and Chemical Composition of Cucumber (*Cucumis Sativus L.*). *International Journal of Agricultural Research*. 12(3): 135-130.
- 200). Irrigation And Nitrogen Level Affect Lettuce Yield In Greenhouse Condition. *African Journal of Biotechnology*. 24(7).
- Amin, M., Ahmad, R., Ali, A., Hussain, I., Mahmood, R., Aslam, M. and Lee, D, J. 2018. Influence of Silicon Fertilization on Maize Performance under Limited Water Supply. *Silicon*. 10(2): 177-189.
- Ashkavand, P., Zarafshar, M., Tabari, M., Mirzaie, J., Nikpour, A.R., Bordbar, K., Struve, D. and Striker, G.G. 2018. Application of SiO₂ Nanoparticles as Pretreatment Alleviates the Impact of Drought on the Physiological Performance of *Prunus Mahaleb L.* (*Rosa Ceae*). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 53(2): 13-1.
- Ahmad, M., El-Saeid, M.H., Akram, M.A., Ahmad, H.R., Haroon, H. and Hussain, A. 2016. Silicon Fertilization—A Tool to Boost Up Drought Tolerance in Wheat (*Triticum Aestivum L.*) Crop for Better Yield. *J. Plant Nutr.* 39(9): 1291-1283.
- Ballester, C., Castel, J., Intrigliolo, D.S. and Castel, J.R. 2013. Response of Navel Lane Late Citrus Trees to Regulated Deficit Irrigation: Yield Components and Fruit Composition. *Irrigation Science*. 31(3): 341-333.
- Bezerra, A.C.M., Valença, D.D.C., Carvalho, D.F.D., Pinho, C.F.D., Reinert, F., Gomes, D.P., Gabetto, F.P., Azevedo, R.A., Masseroni, D. and Medici, L.O. 2019. Automation Of Lettuce Seedlings Irrigation With Sensors Deployed In The Substrate Or At The Atmosphere. *Scientia Agricola*. 72(2): 189-179.
- Dehghanipoodeh, S., Ghobadi, C., Baninasab, B., Gheysari, M. and Shiranibidabadi, S. 2018. Effect of Silicon on Growth and Development of Strawberry under Water Deficit Conditions. *Horticultural Plant Journal*. 4(6): 232-226.
- Davarpanah, S., Tehranifara, A., Davarynejad, G.H., Abadi, J. and Khorasani, R. 2016. Effects of Foliar Applications of Zinc and Boron Nano-Fertilizers On Pomegranate (*Punica Granatum Cv. Ardestani*) Fruit Yield And Quality. *Scientia Horticulturae*. 210 (2016): 64-57.
- Donald, C.M. and Hamblin, J. 1976. The Biological Yield and Harvest Index of Cereals as Agronomic and Plant Breeding Criteria. *Advances in Agronomy Journal*. 28: 405-361.
- Isfahani, F.M., Tahmourespour, A., Hoodaji, M., Ataabadi, M. and Mohammadi, A. 2019. Influence of Exopolysaccharide-Producing Bacteria and SiO₂ Nanoparticles on Proline Content and Antioxidant Enzyme Activities of Tomato Seedlings (*Solanum Lycopersicum L.*) Under Salinity Stress. *Polish Journal of Environmental Studies*. 28(1).
- Javadimoghadam, A., Ladan Moghadam, A. and Danaee, E. 2015. Response of Growth and Yield of Cucumber Plants (*Cucumis Sativus L.*) To Different Foliar Applications of Nano- Iron and Zinc. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*. 9(9): 1478-1477.
- Kibbey, T.C. and Strevett, K.A. 2019. The Effect of Nanoparticles on Soil and Rhizosphere Bacteria and

Effect of Low Irrigation Regimes and Silica Nanoparticles on Yield and Water Productivity Index of Lettuce (*Baby lettuce Vivian*)

Sh. Tafi^{1*}, A.R. Hooshman², N.A. Ansari³

Received: Nov.30, 2020

Accepted: Jan.30, 2021

Abstract

Population growth and increasing environmental problems have greatly increased the demand for irrigation water from parts of the world. Nanotechnology enables the products of sustainable agricultural products to be able to reduce the environment and provide the conditions for the production of new products. The aim of this study was to investigate the performance and utilization of water consumption under low irrigation regimes and silica nanoparticles. The present study was performed on lettuce plant (*Vivian lettuce baby dance*) in three water levels (75, 85 and 100 required for water plant) and three applied nanoparticle levels including 0, 50 and 100 mg/l as root feeding. Performed in three replications. This design was completed in the form of shredded strip cards with a basic block design. According to the results, the highest total yield parameter was recorded in I100F100 treatment equal to 87.88 g / plant and the lowest amount was recorded in I85F50 treatment with 47 g / plant, respectively. Also, the highest biomass yield was recorded in I100F50 treatment which was equal to 61.33 g / plant and the lowest biomass yield was reported in I75F100 treatment which was equal to 26 g / plant. I100F50 treatment with 20.53 kg / m³ had the highest water consumption efficiency. The highest and lowest harvest indices in this study were 74.68 and 52.61%, respectively.

Keywords: Lettuce, Low irrigation, Nanoparticles, Silica. *Vivian*.

1 -M.Sc. student, Department of Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2-Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

3-Associate Professor, Department of Agriculture and Horticulture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

(*-Corresponding Author Email: shakoor73tafi@yahoo.com)