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

شکور طافی*[۱]، عبدالرحیم هوشمند[۲] و ناصر عالم‌زاده‌انصاری[۳]

۱) کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

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

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

*نویسنده مسئول: **shakoor73tafi@yahoo.com**

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۷/۲۸ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۲**

چکیده

رشد جمعیت و افزایش مشکلات زیست محیطی، تقاضای آب آبیاری در بسیاری از مناطق جهان را افزایش داده است. فناوری نانو تاثیرات زیادی در تولید پایدار محصولات کشاورزی داشته و می‌تواند خطرات زیست محیطی 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 نانوذره سیلیکا انجام شد. مطالعه حاضر بر روی گیاه کاهو رقم baby lettuce Vivian در سه سطح آبیاری ۷۵، ۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، سه سطح کاربرد نانوذره 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. براساس نتایج، بیش‌ترین میزان پارامتر عملکرد کل به ترتیب در تیمار I100F100برابر ۸۷/۸۸ گرم بر بوته و کم‌ترین میزان در تیمار I85F50 با ۴۷ گرم بر بوته به ثبت رسید. هم‌چنین بالاترین عملکرد زیست-توده 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 کیوگرم بر مترمکعب بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب را داشت. بالاترین و پایین‌ترین شاخص برداشت در این پژوهش، به‌ترتیب برابر ۷۴/۶۸ و ۵۲/۶۱ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: سیلیکا، کم‌آبیاری، کاهو، نانوذره، ویویان.

مقدمه

Ballester و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که با افزایش روند رشد جمعیت، اقتصادی و معضلات زیست‌محیطی، تقاضای آب آبیاری در بسیاری از مناطق جهان در آینده افزایش می‌یابد. Acar و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که استفاده از آب به‌ویژه 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 ماکزیمم عملکرد در واحد سطح است. همچنین استفاده زیاد از آب و مواد غذایی نیز منجر به بروز برخی مشکلات جدی خواهد شد. Bezerra و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که تولید نشاء گام مهمی در روند تولید سبزیجات می‌باشد. در طول دوره جوانه‌زنی، گیاهان در برابر عوامل محیطی بسیار حساس می‌باشند، به‌ویژه که در سینی‌های کشت مقدار کمی خاک نگهداری می‌شوند که باعث می‌شود دسترسی آب و مواد غذایی محدود شود. Isfahani و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که فناوری نانو تاثیرات زیادی در تولید و محیط زیست داشته و می‌تواند خطرات زیست محیطی را کاهش دهد و فرصت‌هایی برای تولید محصولات جدید فراهم کند. پس می‌توان آن را به عنوان یک فناوری سبز و ابزاری موثر برای دستیابی به توسعه پایدار در نظر گرفت. Sharifi و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که برای تولید محصولات زراعی، می‌توان از سموم دفع آفات و کودهای کم‌تری برای حفظ محصولات در دراز مدت استفاده شود. Liu و Lal (۲۰۱۵) گزارش کردند که توسعه و استفاده از انواع جدید کودها با استفاده از فناوری نانو، یکی از گزینه‌های بالقوه موثر برای افزایش قابل توجه تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان است که امکان پاسخ‌گویی به نیازهای آینده جمعیت رو به رشد دارد. درواقع، برخی از نانومواد‌های مهندسی شده می‌توانند رشد گیاه را در محدوده‌های خاصی افزایش دهند و می‌توانند بعنوان کود نانو در کشاورزی استفاده شوند تا محصول زراعی را افزایش دهند و یا آلودگی محیط زیست را کاهش دهند. Rui و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که نانوذرات SiO_2 یکی از محبوب‌ترین نانومواد است که در زمینه‌های مختلف از قبیل تصفیه فاضلاب، تصفیه محیط زیست، پردازش غذا، کاربرد صنعتی و خانگی، زیست پزشکی، برچسب‌گذاری بیماری، و بیوسنسور و غیره استفاده شده است. در کشاورزی، استفاده از SiO_2 نانوذرات به عنوان حشره‌کش، حامل‌های تحویل دارو یا در جذب و انتقال مواد عناصر غذایی و غیره، مورد توجه قرار گرفته است. Shams و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که کاهو یکی از مهم‌ترین سبزیجات است که در سراسر جهان کشت و مصرف می‌شود. کاهو دارای مقادیر بالای آنتی‌اکسیدان‌ها و فیتوشیمیایی از جمله اسید کافئیک و مشتقات آن، فلاونول‌ها، ویتامین‌های D و E، کلروفیل و کاروتنوئیدها می‌باشد. مصرف کاهو به سلامت انسان کمک خوبی می‌کند. کم‌آبیاری 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. طاهری و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که 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 احتمالا 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. 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، سیلویا ارگانیک و ویویان. کاهو، رقم ویویان[1] یک کاهو رومی سبز تیره تولید می‌کند که بافتی نزدیک به کاهو پیچ کلمی از نوع باتر هد[2] دارد. این نوع کاهو، با داشتن برگ‌های سبز تیره و ترد از بازارپسندی خوبی برخوردار بوده است. زمان کاشت تا برداشت حدود ۷۰ روز داشته که محل پرورش آن مزرعه و گلخانه می‌باشد. Kibbey و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای درباره تأثیر نانومواد بر باکتری‌های ریزوسفر از سه نانوذره برای بذر کاهو استفاده کردند. دو مورد از نانومواد مورد مطالعه، نانوسفرهای پلی‌استایرن اصلاح شده با آمین و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم، به طور قابل توجهی باعث کاهش تعداد باکتری‌های ریزوسفر و رشد ریشه و شاخساره گیاه می‌شوند. در مقابل، نانوسپورهای پلی‌استایرن اصلاح شده با سولفات باعث افزایش تعداد باکتری‌های ریزوسفر شدند. اما تأثیر قابل‌توجهی در رشد آن‌ها نداشت. فقط نانوسفرهای پلی‌استایرن اصلاح شده با آمین که به سطوح ریشه چسبیده‌اند، نشان می‌دهد که اتصال نانومواد به سطوح ریشه نیاز به رشد گیاه دارد. Dehghanipoodeh و همکاران (۲۰۱۸) 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 کاملا تصادفی، برای بررسی اثرات سه سطح آبیاری و چهار تیمار سیلیسیم شامل صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌مول 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 قابل‌توجهی بیش‌تر عوامل ذکر شده را افزایش داد. تنش آب باعث افزایش نشت الکترولیت، پرولین و راندمان مصرف آب شد. استفاده از سیلیسیم به طور قابل‌توجهی 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. Amin و همکاران (۲۰۱۸) یک آزمایش میدانی در سال ۲۰۱۱ در ایستگاه تحقیقاتی کارشناسی ارشد (PARS)، دانشگاه کشاورزی فیصل آباد، 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 قابل‌توجهی 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

[1] Baby Lettuce Vivian
[2] Butter head

و ۱/۲۲ سانتی‌متر)، تعداد برگ (۱۳/۲۶ و۱۳/۲۰)، تعداد دانه / کاسه (۲۳۵/۰۵ و ۲۱۵/۳۵)، وزن ۱۰۰ دانه (۱۹/۶۵ گرم و۱۸/۵۱ گرم)، عملکرد دانه (۴۶/۱۸ گرم و ۳۹/۸۸ گرم) و عملکرد بیولوژیکی (۱۱۵/۴۶ گرم و ۱۰۲/۳۴ گرم) شد. درنتیجه، استفاده از سیلیکون در گیاهان ذرت تحت تاثیر خشکسالی باعث بهبود رشد و عملکرد می‌شود که می‌تواند به بهبود سرعت فتوسنتزی و تعرق منجر شود. Ahmad و همکاران (۲۰۱۶) 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. Davarpanah و همکاران (۲۰۱۶) به منظور تعیین بررسی تاثیر کاربرد محلول پاشی نانوذرات 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 بر لیتر نانو ذرات روی و ۰، ۳/۲۵ و ۶/۵ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات بر استفاده شد. نتایج نشان داد نانو ذرات سبب افزایش عملکرد و کیفیت میوه انار می‌شود. 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 هیچ کدام از صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، رقم مورد مطالعه قابلیت تحمل شوری نسبت به رقم‌های معمول کاهو را دارد. هدف از انجام این تحقیق بررسی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب تحت شرایط رژیم‌های کم‌آبیاری و نانوذره سیلیکا بر روی گیاه کاهو می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر نانوذرات سیلیکا و روش‌های آبیاری معمولی (CI) و کم‌آبیاری تنظیم شده (RDI) بر بهره‌وری آب و عملکرد کاهو، آزمایشی در قالب طرح کرت‌های خرد شده 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 مهر ماه 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 I_{100} ، I_{85} و I_{75}) و سه سطح نانوذره ۱۰۰، ۵۰

و ۰ میلی‌گرم در لیتر (به ترتیب F_{100} ، F_{50} و F_0) به صـورت تغذیه ریشـه‌ای بود. طرح این آزمایش در جدول (۱) نشـان داده شده است.

جدول ۱: نحوه جانمایی تیمارهای طرح

تکرار اول			تکرار دوم			تکرار سوم		
$r_1I_{100}\ F_{50}$	$r_1I_{75}\ F_{50}$	$r_1I_{85}\ F_{50}$	$r_2I_{85}\ F_{100}$	$r_2I_{100}\ F_{100}$	$r_2I_{75}\ F_{100}$	$r_3I_{100}\ F_0$	$r_3I_{85}\ F_0$	$r_3I_{75}\ F_0$
$r_1I_{100}\ F_0$	$r_1I_{75}\ F_0$	$r_1I_{85}\ F_0$	$r_2I_{85}\ F_{50}$	$r_2I_{100}\ F_{50}$	$r_2I_{75}\ F_{50}$	$r_3I_{100}\ F_{100}$	$r_3I_{85}\ F_{100}$	$r_3I_{75}\ F_{100}$
$r_1I_{100}\ F_{100}$	$r_1I_{75}\ F_{100}$	$r_1I_{85}\ F_{100}$	$r_2I_{85}F_0$	$r_2I_{100}F_0$	$r_2I_{75}\ F_0$	$r_3I_{100}F_{50}$	$r_3I_{85}F_{50}$	$r_3I_{75}F_{50}$

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 r (تکرار) می‌باشد. براساس نتایج آزمایش‌های انجام شده، بافت خاک لومی بوده که در طبقه خاک‌های میان بافت قرار می‌گیرد. هم‌چنین هدایت 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.

جدول ۲: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی مترمکعب)	$\theta_{V_{PWP}}$ (درصد)	$\theta_{V_{FC}}$ (درصد)	pH	هـدایـت للکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	بافت خاک	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)
۱/۳۷	۱۵/۶۱	۳۰/۳۴	۷/۷۳	۳/۶۵	لوم	۱۸/۴	۳۲/۴	۴۹/۲

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. هم‌چنین 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 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.

شکل ۱: چیدمان گلدان‌های حاوی کاهو رقم ویویان

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. جهت تعیین زمان آبیاری میکرولایسیمترها از روش وزنی استفاده گردید Pelesco و Alagao (۲۰۱۴)، و میزان آب آبیاری به صورت زیر محاسبه می‌گردد :

رابطه ۱: $$d_n = (W_L + W_2) - (W_1 + W_D)$$

d_n، W_L، W_2، W_1 و W_D به ترتیب آب مصرفی، وزن میکرولایسیمتر قبل از آبیاری، وزن آب آبیاری در ۲۴ ساعت، وزن میکرولایسیمتر 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 (۲) استفاده می‌گردد:

رابطه ۲: $$d_g = (1 + LR)d_n$$

که LR نیاز آبشویی می‌باشد. 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 به علاوه بارش می‌باشد. بهره‌وری از آب مصرفی بیانگر میزان تولید به ازای واحد آب است. شاخص بهره‌وری از آب مصرفی برای عملکرد به قرار زیر می‌باشد:

رابطه ۳: $$WP_y = \frac{Y}{I}$$

که WP_y، Y و I به ترتیب بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد (کیلوگرم بر مترمکعب)، عملکرد محصـــول (کیلوگرم) و میزان آب آبیاری (مترمکعب) می‌باشد. 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 و Hamblin (۱۹۷۶) بیان شدند.

رابطه ۴: $H_i = B/Y$،

H_i، B و Y به ترتیب شاخص برداشت (درصد)، عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار) و عملکرد کل (کیلوگرم در هکتار) می‌باشد. در پایان آزمایش، اطلاعات گردآوری شده در نرم افزار Excel ثبت شدند. آنالیز آماری توسط نرم افزار SAS انجام شد. جهت مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس و اجزای عملکرد گیاه کاهو تحت اثرات جداگانه و توامان تنش کم‌آبی و نانوذره 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 معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بود. در این مطالعه اثر استفاده از نانوذره بر روی هیچ یک از شاخص‌های بررسی شده، معنی‌دار یافت نشد. اثر توامان تنش کم‌آبی و استفاده از نانوذره 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.

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

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد کل	عملکرد زیست توده	بهره‌وری مصرف آب	شاخص برداشت
بلوک	۲	^{ns}۵۸/۸۸	^{ns}۲۹/۸۱	^{ns}۱۰/۱۸	^{ns}۱۰/۵۱
تنش کم‌آبی (I)	۲	**۱۷۲۴/۳۴	**۱۷۷۱/۱۲	**۲۱۳/۴۳	**۵۶۸/۱۲
نانوذره (F)	۲	^{ns}۱۱۸/۵۸	^{ns}۲۵/۵۴	^{ns}۵/۸۲	^{ns}۱۴/۸۱
I*F	۴	*۳۵۷/۷۷	*۲۲۷/۴۸	*۶۵/۳۸	^{ns}۴۶/۵۴
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 نانوذره

		عملکرد کل (گرم بر بوته)	عملکرد زیست توده (گرم بر بوته)	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)	شاخص برداشت (درصد)
سطوح آبیاری	۱۰۰ درصد (I_{100})	۷۹/۸۲ a	۵۷/۶۷ a	۲۷/۲۸ a	۷۲/۳۵ a
	۸۵ درصد (I_{85})	۵۹/۵ b	۳۸/۰۶ b	۲۰/۰۷ b	۶۳/۰۱ b
	۷۵ درصد (I_{75})	۵۳/۲۸ b	۳۰/۵۰ b	۱۷/۹۶ b	۵۶/۴۹ c
نانوذره	۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر (F_{100})	۶۷/۹۶ a	۴۳/۵۰ a	۲۲/۳۸ a	۶۲/۴۹ a
	۵۰ میلی‌گرم در لیتر (F_{50})	۶۴/۰۶ a	۴۲/۵۰ a	۲۲/۰۹ a	۶۴/۶۶ a
	بدون نانوذره (F_0)	۶۰/۶۴ a	۴۰/۲۲ a	۲۰/۸۵ a	۶۴/۷۰ 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 توامان کم‌آبی و نانوذره

سطوح کم‌آبی	نانوذره	عملکرد کل (گرم بر بوته)	عملکرد زیست‌توده (گرم بر بوته)	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)	شاخص برداشت (درصد)
۱۰۰	۱۰۰	۸۷/۸۸ a	۶۰/۸۳ a	۲۸/۷۹ a	۶۹/۶۷ ab
	۵۰	۸۲/۳۳ ab	۶۱/۳۳ a	۲۹/۰۱ a	۷۴/۶۸ a
	۰	۶۹/۲۵ bc	۵۰/۸۳ ab	۲۴/۰۴ a	۷۲/۷۰ a
۸۵	۱۰۰	۶۶/۸۳ bc	۴۳/۶۷ b	۲۳/۰۳ a	۶۵/۲۱ abc
	۵۰	۴۷/۰۰ e	۲۷/۸۳ c	۱۴/۶۸ c	۵۸/۷۶ cd
	۰	۶۴/۸۳ bcd	۴۲/۶۷ b	۲۲/۵۰ ab	۶۵/۰۵ abc
۷۵	۱۰۰	۴۹/۱۷ ed	۲۶/۰۰ c	۱۵/۳۱ c	۵۲/۶۱ d
	۵۰	۶۲/۸۳ cde	۳۸/۳۳ bc	۲۲/۵۷ ab	۶۰/۵۳ bcd
	۰	۴۷/۸۳ de	۲۷/۱۷ c	۱۵/۹۹ bc	۵۶/۳۴ cd

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

عملکرد کل

بنابر جدول (۴)، عملکرد کل کاهو در شـرایط آبیاری کامل برابر ۷۹/۳۲ گرم به‌دسـت آمد اما با اعمال ضـریب کم‌آبی ۸۵ درصد به ۵۹/۵ گرم و ۷۵ درصد به ۵۳/۲۸ گرم رسید که نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار تنش کم‌آبی بر روی عملکرد کل در سطح احتمال یک درصـد می‌باشـد. Nagaz و همکاران (۲۰۱۳) 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 نانوذره سبب افزایش عملکرد کل شد اما این افزایش معنی‌دار یافت نشد (جدول ۴). در شرایط بدون نانوذره عملکرد کل ۶۰/۶۴ گرم، استفاده از ۵۰ میلی‌گرم نانوذره ۶۴/۰۶ گرم و استفاده از ۱۰۰ میلی‌گرم نانوذره ۶۷/۹۶ به‌دسـت آمد. Amin و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی به بررسـی اثر نانوذره سـیلیکا بر گیاه ذرت پرداختند که متوجه شـدند نانوذره باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شـود. Yassen و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که کاربرد نانوذره سیلیکا می‌تواند تاثیر مثبتی بر رشد گیاه و عملکرد خیار داشته باشد. Javadimoghadam و همکاران (۲۰۱۵) نیز همین نتیجه را با اسـتفاده از اثر محلول پاشـی نانوکود کلات آهن و روی بر گیاه خیار به دسـت آوردند. مطابق نتایج، اثر متقابل تیمارهای آبیاری و نانوذره بر روی عملکرد کل در سـطح احتمال پنج درصـد معنی‌دار بود. در میان تیمارهای نه‌گانه، تیمار I100F100 با ۸۷/۸۸ گرم بالاترین عملکرد و تیمار I85F50 با ۴۷/۰۰ گرم پایین‌ترین عملکرد را داشتند.

عملکرد زیست‌توده

اعمال تنش کم‌آبی سبب تاثیر 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 در حالی که 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. محتشمی و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیق خود اعلام نمودند که تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد زیست‌توده ژنوتیپ‌های گلرنگ شده است. استفاده از نانوذره اگرچه تاثیر معنی‌داری بر روی عملکرد زیست‌توده نداشت اما سبب افزایش عملکرد شد. عملکرد زیست‌توده در سطوح آبیاری F0، F50 و F100 به‌ترتیب برابر ۴۰/۲۲، ۴۲/۵۰ و ۴۳/۵۰ گرم بود. Xu و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی افزایش زیست‌توده کاهو را در اثر استفاده از نانوذره اکسید روی گزارش دادند. Rizwan و همکاران (۲۰۱۹) نیز افزایش میزان زیست‌توده گیاه گندم در اثر استفاده از نانوذرات اکسید روی و آهن تایید کردند. اثر متقابل کم‌آبی و استفاده از نانوذره سبب تاثیر معنی‌دار بر روی عملکرد زیست‌توده در سطح احتمال پنج درصد شد. عملکرد زیست‌توده 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 تاثیر 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 به‌ترتیب 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 از نانوذره تاثیر معنی‌داری بر بهره‌وری مصرف آب نداشت اما سبب افزایش در این پارامتر شد. در حالی که 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. Mahmoud و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی اعلام نمودند که کاربرد نانوذرات سیلیکا سبب افزایش بهره‌وری مصرف گیاه ریحان می‌شود. 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. در حالی که شاخص برداشت در شرایط آبیاری کامل، برابر ۷۲/۳۵ درصد بود، با کاهش سطح آبیاری به ۸۵ و ۷۵ درصد نیاز آبی، شاخص برداشت به‌ترتیب 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 ژنوتیپ‌های گلرنگ شده است. هم‌چنین گلستانی کرمانی و همکاران (۱۳۹۳) 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 نانوذرات اکسید مس و اکسید روی باعث کاهش شاخص برداشت لوبیاچیتی 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 تاثیر 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 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 کیوگرم 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، به‌ترتیب برابر ۷۴/۶۸ و ۵۲/۶۱ درصد بود.

منابع

بهبودی، ف.، اله دادی، ا. و محمدی‌گل‌تپه، ا. (۱۳۹۲). اثر ورمی‌کمپوست حاوی نانو ذرات اکسید مس و اکسید روی بر برخی ویژگی‌های زراعی لوبیا چیتی. مجله تولید گیاهان زراعی، دوره ۳، شماره ۶، ص ۴۹-۳۳.

ذرتی‌پور، ا.، سلطانی‌محمدی، ا. و عالم‌زاده‌انصاری، ن. (۱۳۹۶). ارزیابی توابع کاهش جذب آب کاهو برگی (Red Salad Bowl) تحت تنش خشکی در شرایط گلخانه‌ای. آب و خاک، دوره ۲، شماره ۳۳، ص ۳۳۱-۳۱۷.

گلستانی‌کرمانی، س.، نوری‌امام‌زاده‌ای، م. ر.، شایانی‌نسب، م.، شاه‌نظری، 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، دوره ۳، شماره ۳۷، ص ۱۳۵-۱۲۳.

طاهری، ه.، سلطانی‌محمدی، ا. و عالم‌زاده‌انصاری، ن. (۱۳۹۶). ارزیابی کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد و کارایی مصرف آب کاهو. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

محتشمی، ف.، تدین، م. ر. و روشندل، پ. (۱۳۹۷). ارزیابی تأثیر سطوح کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های گلرنگ. به زراعی کشاورزی، دوره ۲، شماره ۲۰، ص ۵۶۱-۵۴۷.

هوشمندزاده، ع.، هوشمند، ع.، برومندنسب، س.، عالم‌زاده‌انصاری، ن. و سیاهپوش، م. (۱۳۹۲). تاثیر 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 محیط زیست، ۲۱ شهریور ۱۳۹۲، همدان، ایران.

Acar, B., Paksoy, M., Türkmen, Ö. and Seymen, M. (2008). Irrigation And Nitrogen Level Affect Lettuce Yield In Greenhouse Condition. African Journal Of Biotechnology, 24 (7), pp: 4450-4453.

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), pp: 177-189.

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), pp: 1283-1291.

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), pp: 333-341.

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), pp: 179-189.

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), pp: 232-226.

Davarpanah, S., Tehranifara, A., Davarynejad, G.H., Abadí, 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, pp: 57-64.

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, pp: 405-361.

Isfahani, F.M., Tahmourespour, A., Hoodaji, M., Ataabadi, M. and Mohammadi, A. (2019). Influence of Exopolysaccharide-Producing Bacteria and Sio_2 Nanoparticles on Proline Content and Antioxidant Enzyme Activities of Tomato Seedlings (*Solanum Lycopersicum* L.) under Salinity Stress. Polish Journal of Environmental Studies, 28 (1), pp: 153-163.

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), pp: 1477-1478.

Kibbey, T.C. and Strevett, K.A. (2019). The Effect of Nanoparticles on Soil and Rhizosphere Bacteria and Plant Growth in Lettuce Seedlings. Chemosphere, 221, pp: 703-707.

Liu, R. and Lal, R. (2015). Potentials of Engineered Nanoparticles as Fertilizers for Increasing Agronomic Productions. Science of the Total Environment, 514, pp: 131-139.

Mahmoud, M.A., Shala, A.Y. and Rashed, N.M. (2017). The Mutual Effect of Irrigation and Foliar Spray of Silics Nanoparticles on Basil Plant. Journal Plant Production, Mansoura Univ, 8 (12), pp: 1303-1313.

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), pp: 892-900.

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), pp: 1-6.

Rui, Y., Gui, X., Li, X., Liu, S. and Han, Y. (2014). Uptake, Transport, Distribution and Bio-Effects of Sio_2 Nanoparticles in Bt-Transgenic Cotton. Journal of Nanobiotechnology, 12 (1), pp: 2-15.

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, pp: 269-277.

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), pp: 67-73.

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* F.H. Wigg) Exposed To Sio_2 Nanoparticles. J. Agr. Sci. Tech, 18, pp: 1027-1040.

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), pp: 6026-6035.

Yassen, A., Abdallah, E., Gaballah, M. and Zaghloul, 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), pp: 130-135.

Effect of low irrigation regimes and silica nanoparticles on yield and water productivity index of lettuce (*Baby lettuce Vivian*)

Sh. Tafi[1]*, A. Hoshmand[2] and N. Alemzadeh Ansari[3]

1) M.Sc. Student, Department of Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

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

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

*__Correspondence author__: shakoor73tafi@yahoo.com

Received Data: 2020. 10. 19 **Accepted Data: 2021. 04. 01**

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 87.88g / plant and the lowest amount was recorded in I85F50 treatment with 47g / 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 / m^3 had the highest water consumption efficiency. The highest and lowest harvest indices in this study were 74.68 and 52.61%, respectively.

Keywords: Irrigation, Lettuce, Nanoparticles, Silica, Vivian.