نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۲ شماره ۱/ سال ۱۴۰۱ صفحات ۲۹۲-۲۷۹

# Effect of Silica Nanoparticles on Yield of Cucumber (*Cucumis sativus L.*) in Ahvaz region

**Sanaz shokri[1], Abdolrahim Hooshmand[2]*, Mona Golabi[2], Naser Alemzadeansari[3], Dan Struve[4]**

Received: January 30, 2021 Accepted: June 3, 2021
1-PhD Student, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
2- Assoc. Prof., Dept. of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
3- Assoc. Prof., Dept. of Horticulture and Crop Science,
4- Prof., Ohio State University, USA.
*Corresponding Author Email: hooshmand_a@scu.ac.ir

## Abstract

**Objectives:** This study was conducted to investigate the effect of silica nanoparticles on the yield and water productivity of cucumber plant and to determine the most appropriate method of application of silica nanoparticles (leaf and root nutrition).

**Materials and Methods**: In order to investigate the effects of silica nanoparticles on cucumber yield, an experiment was conducted in a factorial design based on completely randomized block design with 4 replications in two growing seasons during 2018 and 2019 in the greenhouse of Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Treatments included silica nanoparticles with concentrations of 0, 25, 50, 75 and 100 ppm and two methods of foliar application on leaves and root feeding.

**Results**: The results showed that the highest and lowest values of fruit weight in the first and second crops were in the treatment of 50 $mg.l^{-1}$ nanoparticles by foliar application (first crop: weight 10484.3 and second crop: weight 8039 g) and 0 $mg.\ l^{-1}$ nanoparticles were obtained by root solution (first culture: weight 7700 g and second culture: weight 6280 g). Also, the highest amount of water productivity was related to the treatment of nanoparticles with a concentration of 50 ppm under foliar application (first culture: 71.32 and second culture: 64.83).

**Conclusion**: This study showed that the use of silica nanoparticles can have a positive effect on cucumber yield and caused a 32.11 and 21.2% increase in yield in the first and second crops, respectively, compared to the control treatment. The use of nanoparticles increases water productivity and increases cucumber plant yield, the use of silica nanoparticles with a concentration of 50 ppm as foliar application on the leaves can be a good option to increase yield in cucumber.

**Keywords**: Nanoparticles, Cucumber Yield, Biotechnology, Silica, Cucumber

# بررسی اثر نانو ذرات سیلیکا بر عملکرد خیار (*Cucumis sativus L.*) در منطقه اهواز

**ساناز شکری[۱]، عبدالرحیم هوشمند*[۲]، منا گلابی[۲]، ناصر عالم زاده انصاری[۳]، Dan Struve[4]**

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۱۳
۱- دانشجوی دکترای دانشگاه شهید چمران اهواز
۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز
۳-دانشیار گروه باغبانی دانشگاه شهید چمران اهواز
۴- استاد دانشگاه اوهایو امریکا
*مسئول مکاتبه : Email: hooshmand_a@scu.ac.ir

**چکیده**

**اهداف:** این پژوهش به منظور بررسی اثر نانو ذرات سیلیکا بر عملکرد و بهره‌وری آب گیاه خیار و تعیین مناسبترین روش کاربرد نانو ذرات سیلیکا (تغذیه برگ و ریشه) انجام گردید.

**مواد و روش‌ها:** آزمایشی در قالب طرح فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در دو فصل کشت طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در گلخانه دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران انجام شد. تیمارها شامل نانوذرات سیلیکا با غلظت‌های ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ppm و دو روش کاربرد محلول پاشی بر برگ و تغذیه ریشه‌ای انجام گرفت.

**یافته ها:** نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار وزن میوه در کشت اول و دوم به ترتیب در تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات به روش محلول پاشی برگی (کشت اول: وزن ۱۰۴۸۴/۳ گرم و کشت دوم:وزن ۸۰۳۹ گرم) و ۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات به روش محلول دهی ریشه‌ای (کشت اول: وزن ۷۷۰۰ گرم و کشت دوم: وزن ۶۲۸۰ گرم) رخ داده است. همچنین بیشترین مقداربهره‌وری مصرف آب مربوط به تیمار نانوذرات با غلظت ۵۰ ppm تحت محلول پاشی روی برگ (کشت اول: ۷۱/۳۲ و کشت دوم: ۶۴/۸۳) بود.

**نتیجه گیری:** این مطالعه نشان داده است که استفاده از نانوذرات سیلیکا می‌تواند روی رشد گیاه و عملکرد خیار تأثیر مثبت بگذارد و به ترتیب سبب افزایش ۳۲/۱۱ و ۲۱/۲ درصدی محصول در کشت اول و دوم نسبت به تیمار شاهد شد. کاربرد نانوذرات سبب افزایش بهره وری مصرف آب و افزایش عملکرد گیاه خیار شده و استفاده از نانوذرات سیلیکا با غلظت ۵۰ ppm به صورت محلول‌پاشی بر روی برگ می‌تواند گزینه مناسبی جهت افزایش عملکرد در خیار شود.

**واژه های کلیدی:** نانو ذرات، عملکرد خیار، فناوری زیستی، سیلیکا، خیار

**مقدمه**

نانوتکنولوژی یکی از پیشرفت‌های بسیار بدیع و نوظهوری است که با استفاده از نانوذرات که تغییرات فیزیکی و شیمیایی اساسی در آن‌ها ایجاد شده، جایگاه برجسته‌ای در علوم مختلف از جمله علوم گیاهی و کشاورزی پیدا کرده است (اسکرینیس و لیونس ۲۰۰۷). نانوتکنولوژی یکی از فناوری‌های نوین است که اخیراً وارد عرصه کشاورزی شده است نانو ذرات مجموعه‌های اتمی یا مولکولی با حداقل ابعاد بین ۱-۱۰۰ نانومتر هستند (لوپزمورنو و همکاران ۲۰۱۶). که خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوتی در مقابله با توده مواد خود دارند (مونیکا و همکاران ۲۰۰۹). تبدیل مواد به مقیاس نانو، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و فعالیت-های کاتالیزوری آن‌ها را تغییر می‌دهد. علاوه بر انحلال پذیری بیشتر، فعالیت‌های شیمیایی و قابلیت نفوذ در غشای سلولی در این نانو ذرات پدیدار می‌گردد

(مظاهری‌نیا و همکاران ۲۰۱۰). نانو ذرات به دلیل داشتن سطح ویژه بالا و واکنش شیمیایی دارای اثر متفاوتی نسبت به ذرات میکرو هستند (دو و همکاران ۲۰۱۸). داده‌های موجود نشان می‌دهد که زیست سازگاری برخی از نانوذرات و میکروذرات با مقدار یون‌های آزاد شده ارتباط دارد (زوررزامنا و همکاران ۲۰۱۵). این فناوری قابلیت متحول ساختن صنعت کشاورزی را از طریق تهیه فرمولاسیونی جدید برای سموم و کود، شناسایی و تشخیص بیماری‌های گیاهی، تأمین آب مورد نیاز کشاورزی، مدیریت و اصلاح خاک و بهداشت دام واصلاح نژاد دارد. به طور کلی، فناوری نانو با بهینه کردن مصرف نهاده‌های کشاورزی همچون آب، کود، سم و کاهش پساب و آلودگی‌ها، می‌تواند سهم بسزایی در رونق روزافزون این صنعت داشته باشد. برخی از گزارش‌ها اثرهای سودمند کاربرد نانومواد در کشاورزی، مربوط به استفاده از نانوذرات سیلیس می‌باشد. پژوهش یواکومار و همکاران (۲۰۱۱) بر گیاه ذرت در مدت ۶۵ روز نشان داد که اعمال نانو ذرات سیلیکا به صورت پودر و مخلوط با خاک گلدان‌ها موجب افزایش درصد جوانه‌زنی (۲ تا ۱۱ درصد)، ضریب بهره-وری آب (بیشتر از ۵۳ درصد) و مقدار کلروفیل (۱۳ تا ۱۷ درصد) شد. همچنین، تمامی شاخص‌های کمی گیاه نسبت به تیمار کنترل و تیمار سیلیکون افزایش یافت. حقیقی و همکاران (۲۰۱۲) با اعمال نانو ذرات سیلیکا بر بذر گیاه گوجه فرنگی تحت تنش شوری و بررسی آن در مدت زمان ۱۰ روز به این نتیجه رسیدند که نانو ذرات سیلیکا می‌تواند اثرهای منفی و مخرب شوری بر درصد جوانه‌زنی و طول و وزن ریشه را بهبود بخشد. نتایج تحقیقات احمد و همکاران (۲۰۰۸) نشان داده است که نانو ذرات سیلیکا در شرایط تنش خشکی نقش معنی‌داری در جذب آب و رشد ریشه دارد. همچنین تأثیر مثبت سیلیکا بر محتوای نسبی رطوبت در بررسی‌های گانس و همکاران (۲۰۰۸) و کایا و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش شده است همچنین صدیقی و آل وهیبی (۲۰۱۴) گزارش دادند که استفاده از نانوذرات سیلیکا به طور قابل توجهی ویژگی‌های جوانه زنی بذر در گوجه فرنگی را افزایش می‌دهد.

اولین کاربرد فناوری نانو در کشاورزی به‌وسیله وزارت کشاورزی آمریکا در سال ۲۰۰۳ منتشر شد (اسکات و چن ۲۰۱۳). در حال حاضر تحقیق و توسعه در این راستا کشاورزی را کارآمدتر ساخته و باعث افزایش عملکرد و کیفیت محصولات و در نتیجه افزایش سود مواد غذایی شده است. به‌هر حال در زمینه‌های کشاورزی استفاده از نانوذرات بسیار جدید بوده و نیاز به تحقیقات بیشتری دارد. عملکرد نانوذرات در سطح مولکولی در سیستم‌های بیولوژیکی تا حد زیادی ناشناخته مانده است. همچنین درک کاملی از نقش نانو ذرات مهندسی شده در فیزیولوژیکی و عملکرد گیاهان وجود ندارد (صیدیقی و آل وهیبی ۲۰۱۴).

ما و همکاران (۲۰۰۱) دریافتند که فرآیند سیلیکاسیون در ساقه‌های برنج سبب افزایش استحکام ساقه برنج می‌شود. آنها به این نتیجه رسیدند که استفاده از سیلیکا به عنوان کود به توسعه سلول‌های اندودرم کمک می‌کند و باعث ایجاد مقاومت بهتر ریشه در خاک های خشک و رشد سریع‌تر ریشه‌ها می‌شود (هاتوری و همکاران ۲۰۰۵). ژائو و همکاران (۲۰۱۸) از نانو ذرات سیلیکا به عنوان حاملین آفتکش در خیار استفاده کردند. برای این منظور از دو غلظت ۲۰۰ و ۱۰۰۰ میلیگرم در لیتر نانوذرات سیلیکا استفاده کردند. نتایج نشان داد استفاده از نانومواد به عنوان حامل یک روش جایگزین برای افزایش بهره وری موثرو کاهش خطر آفت کش می‌باشد.

جیانفنگ و همکاران (۱۹۸۹) نشان دادند که کاربرد سیلیسیم طی رشد زایشی و در مرحله گلدهی گیاه برنج بیشترین تأثیر را در افزایش وزن هزاردانه، عملکرد و تعداد سنبله داشت . مالی و همکاران (۲۰۰۸) اثرات سیلیسیم در غلظتهای مختلف را روی رشد دانه، تولید ماده خشک و تغذیه معدنی لوبیای چشم بلبلی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که سیلیسیم در مقادیر کم به طور معنی‌داری تعداد دانه، وزن تر و خشک

دانه، عملکرد نسبی ریشه و ساقه، غلظت‌های نیتروژن، فسفر وکلسیم را افزایش داد. انجی و همکاران (۲۰۰۸) مشاهده کردند که سیلیکا جذب عناصر اساسی عمده توسط گیاهان در معرض شرایط تنش آبی را افزایش می‌دهد. گزارش شده است که کودهای سیلیکاتی ظرفیت تحمل سرما در لیمو و نیشکر را افزایش می‌دهد (ماتیچنکو و کالورت ۲۰۰۲).

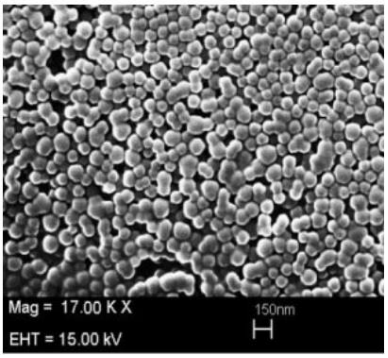
با توجه به نوظهور بودن فناوری نانو و روند روبه رشد تحقیقات در زمینه نانو گزارش‌های کمی در مورد اثر نانوذرات در افزایش کمی و کیفی رشد گیاهان موجود می‌باشد لذا در این تحقیق، به بررسی اثرات نانوساختار سیلیکا بر عملکرد و بهره‌وری آب خیار در منطقه اهواز پرداخته شد.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز ایران انجام شد. از نظر موقعیت جغرافیایی در ۴۸ درجه و ۳۹ دقیقه ۳۰ ثانیه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۱۸ دقیقه و ۲۲ ثانیه عرض شمالی واقع گردیده است. به منظور بررسی اثر نانوذرات سیلیکا بر بهره‌وری مصرف آب و عملکرد خیار آزمایشی در قالب طرح فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در دو فصل کشت طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ انجام شد. ابتدا نشاءهای خیار گلخانه‌ای که در ظروف یکبار مصرف کشت شده بودند انتخاب شده و سپس جهت کشت از خزانه به گلدان‌هایی که با بستر کوکوپیت و پرلایت به نسبت ۱:۱ پر شده منتقل شدند و از ابتدای کشت خیار تا مرحله پایانی رشد به دلیل نبود مواد غذایی در بستر هیدروپونیک، عناصر غذایی ماکرو المنت شامل نیترات کلسیم، مونوپتاسیم فسفات، سولفات منیزیم و سولفات پتاسیم و همچنین میکرو المنت‌ها شامل سولفات منگنز، سولفات روی، اسید بوریک، سولفات مس، مولیبدات سدیم و کلات آهن به میزان مشخص به بستر کشت داده شد. در این تحقیق از دستور محلول غذایی رش (۲۰۰۵) استفاده شد (جدول ۱). کنترل دما در گلخانه توسط فن، پد سلولزی و بخاری (محدوده دمای ۱۸-۳۲ درجه سانتی‌گراد) انجام گرفت. فاصله ردیف‌های کشت ۱۰۰ سانتیمتر و فاصله بوته‌ها روی ردیف‌ها ۲۵ سانتی متر در نظر گرفته شد.برای تیمارها شامل نانوذرات سیلیکا در ۵ سطح ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر به دو صورت تغذیه ریشه ای و محلول‌پاشی روی برگ بود (مشخصات نانو مواد مورد استفاده در جدول ۲ آمده است). استفاده از نانوذرات سیلیکا در سه مرحله ابتدا، میانه و انتهای فصل صورت گرفت. محلول غذایی مورد نیاز گیاه از طریق سیستم آبیاری قطره ای اتوماتیک در اختیار گیاه قرار گرفت.

**جدول ۱- ترکیب محلول غذایی پیشنهادی رش (۲۰۰۵ ) مورد استفاده خیار هیدروپونیک**

| عناصر کم مصرف | غلظت(ppm) | عناصر پرمصرف | غلظت(ppm) |
|---|---|---|---|
| Mn | ۰/۸ | N | ۱۴۰ |
| Cu | ۰/۰۷ | P | ۵۰ |
| Zn | ۰/۱ | K | ۳۵۰ |
| B | ۰/۳ | Mg | ۵۰ |
| Mo | ۰/۰۳ | Ca | ۲۰۰ |
| Fe | ۳ | S | ۱۵۰ |




**شکل ۱- تصویر SEM نانوذرات سیلیکا مورد استفاده**

جدول ۲- مشخصات نانو مواد سیلیکا

| Silicon oxide nanoparticel | |
|---|---|
| **خلوص** | %۹۹/۹ |
| **اندازه ذرات** | ۱۵-۲۰nm |
| **فرمول** | $SiO_2$ |
| **وزن مولکولی** | ۶۰/۰۸ g/mol |
| **رنگ** | سفید |
| **چگالی** | ۲/۴ $g/cm^3$ |
| **نقطه ذوب** | ۱۶۱۰°C |
| **نقطه جوش** | ۲۲۳۰°C |

جهت به دست آوردن نیاز آبی خیار بایستی این گیاه در محیطی کشت گردد که بتوان بیلان آبی آن را تحت کنترل داشت. برای این منظور از ۳ عدد میکرولایسیمتر استفاده شد.

جهت تعیین زمان آبیاری میکرو لایسیمترها از روش وزنی استفاده (پلسکو و آلاگائو ۲۰۱۴) و میزان آب آبیاری به صورت زیر محاسبه گردید :

معادله[۱] $WU = W_I - W_D - \Delta W_L$

WU=آب مصرفی (گرم)

$W_I$ =وزن آب آبیاری در ۲۴ ساعت قبل از آبیاری (گرم)

$\Delta W_L$ =تغییرات وزن میکرولایسیمتر (گرم)

$W_D$ =وزن زهاب در روز انجام آبیاری (گرم)

توزل و همکاران (۲۰۰۶) اعلام کردند به دلیل اینکه در شرایط هیدروپونیک گیاه دچار کمبود املاح نشود و به منظور اطمینان از تأمین آب بهینه برای گیاهان بهتر است میزان زهکشی ۲۰-۲۵٪ در نظر گرفته شود.

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 بهره‌وری از آب مصرفی برای عملکرد به قرار زیر می‌باشد:

معادله[۲] $WP_y = \frac{Y}{I}$

$WP_y$= بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب.

**Y**= عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم

I= میزان آب آبیاری برحسب مترمکعب

شاخص بهره‌وری از آب مصرفی برای کل قسمت‌های هوایی گیاه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$WP_B = \frac{B}{I}$$ معادله[۳]

$WP_B$= بهره‌وری آب آبیاری برای کل قسمت‌های هوایی گیاه بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب

B= عملکرد کل قسمت هوایی گیاه بر حسب کیلوگرم

I= میزان آب آبیاری برحسب مترمکعب

یکی از پارامترهای مهم درتحلیل های زراعی، تعیین و مقایسه شاخص برداشت است. عملکرد یک گیاه را می-توان 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) و عملکرد بیولوژیکی گیاه استفاده می‌شود که به طور خلاصه روابط مربوط به آن بیان می‌شود. لازم به ذکر است که این روابط توسط دونالد و هامبلین (۱۹۷۶) بیان گردیده‌اند.

$$\boldsymbol{H_i = Y(P_S + Y)^{-1}}$$ معادله[۴]

$H_i$ =شاخص برداشت

Y=عملکرد اقتصادی (کیلوگرم در هکتار)

$P_S$ =عملکرد قسمت هوایی گیاه (کیلوگرم در هکتار).

از روش لوتسو همکاران (۱۹۹۶) برای اندازه گیری درصد نشت الکترولیت استفاده شد. نمونه‌های برگ به اندازه یک سانتی متر بریده و با آب مقطر شسته شدند. نمونه‌ها بعد از شستشو، در داخل لوله‌های شیشه‌ای درپوش دار شامل ۱۰ میلی لیتر آب مقطر، به مدت دو ساعت و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد به مدت دو ساعت قرار داده شد و هدایت الکتریکی اولیه ($EC_۱$ ) را با EC متر اندازه‌گیری گردید. نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در حمام آب گرم در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد قرار گرفتند و پس از خنک شدن تا دمای محیط، هدایت الکتریکی ثانویه ($EC_۲$ ) اندازه‌گیری شد. درصد نشت الکترولیت (ELP) از معادله زیر محاسبه شد.

$$ELP = (\frac{EC_۱}{EC_۲})۱۰۰$$ معادله[۵]

به منظور اندازه‌گیری نیترات در میوه و برگ گیاه نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد. سپس ۱۰۰ گرم از نمونه جدا و با استفاده از آون $^{o}$ C ۸۰ به مدت ۲۴ تا ۷۲ ساعت خشک گردید. نمونه خشک شده با استفاده از دستگاه مکانیکی بصورت پودر درآمده و از یک الک ۴۰ مشی عبور داده شد. برای انجام آزمایش ۰/۱ گرم از نمونه توزین و به آن ml ۱۰ آب مقطر اضافه نموده و به مدت یک ساعت در دمای $^{o}$C ۴۵ نگهداری گردید. مایع مورد نظر به هم زده شده و با کاغذ صافی و یا دستگاه سانتریفیوژ صاف و سپس ml ۰/۲ از عصاره صاف شده فوق به ml ۰/۸ اسید سالیسیلیک ٪۵ موجود در اسید سولفوریک غلیظ اضافه گردید. ماده فوق را خوب به هم زده و پس از ۲۰ دقیقه به آن ml ۱۹ سود ۲ نرمال افزوده و بعد از سرد شدن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج nm ۴۱۰ میزان جذب نور آن قرائت گردید (کاتالدوو همکاران، ۱۹۷۵). به منظور اندازه گیری ملسیم ومنیزیم از روش تیتراسیون استفاده شد.

به منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب (RWC)، ابتدا قطعات برگ با شعاع یک سانتی‌متر تهیه و وزن تازه آن‌ها (FW) تعیین شد. پس از قرار دادن قطعات برگ در آب مقطر (۲۴ ساعت در یخچال)، وزن اشباع برگ‌ها (SW) تعیین شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک (DW)، قطعات برگ در آون با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۵۱ ساعت قرار داده شد و سپس وزن خشک برگ ها اندازه گیری شد (کرناک و همکاران ۲۰۰۱).

$$RWC = (\frac{FW-DW}{SW-DW})۱۰۰$$ معادله[۶]

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های دو فصل کشت در جداول ۳تا ۵ نشان داده شده و بر اساس این جداول می‌توان روی نتایج به صورت زیر بحث نمود.

**جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس برای کشت اول (میانگین مربعات)**

| منابع تغییر | RWC | قطر ساقه(cm) | HI | وزن تر بیوماس (g) | وزن خشک بیوماس (g) | ELP | قطر میوه (mm) | ارتفاع (cm) | تعداد میوه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تکرار | ۶$^{ns}$ | ۰/۰۰۲$^{ns}$ | ۰/۰۰۴۵$^{ns}$ | ۳۲۴۵$^{ns}$ | ۱۰/۵$^{ns}$ | ۸/۶۲$^{ns}$ | ۱۲/۶$^{ns}$ | ۱۸۲$^{ns}$ | ۱۰/۱۸$^{ns}$ |
| نانو ذرات(N) | ۲۴۱* | ۱/۱* | ۰/۳۲* | ۵۳۴۶۵* | ۶۸۹* | ۴۹* | ۱۳۸/۴* | ۲۸۷* | ۴۸/۶* |
| نوع کاربرد(A) | ۱۵۲* | ۱* | ۰/۰۰۰۸$^{ns}$ | ۴۱۲۵۳* | ۱۴۱* | ۲۹* | ۱۰۰/۱$^{ns}$ | ۲۰۰/۱* | ۳۷* |
| N*A | ۲۹* | ۰/۱۲* | ۰/۲۱* | ۶۱۵۴** | ۱۰۳/۹* | ۹/۸* | ۷۸/۶$^{ns}$ | ۷۸$^{ns}$ | ۱۹/۱* |
| خطا | ۱۶ | ۰/۰۴ | ۰/۰۰۰۳ | ۱۲۸۹ | ۱۲ | ۲/۳ | ۳/۶۶ | ۸/۹ | ۰/۷ |
| ضریب تغییرات (٪) | ۳/۲ | ۱/۲ | ۰/۸ | ۶/۳ | ۳/۱۱ | ۲/۵ | ۲/۹ | ۲ | ۱/۱ |

**: معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، *: معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار می باشد.

**جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس برای کشت اول (میانگین مربعات)**

| منابع تغییر | منیزیم میوه (mg /kg) | منیزیم برگ (mg /kg) | کلسیم میوه (mg /kg) | کلسیم برگ (mg /kg) | نیترات برگ (mg /kg) | نیترات میوه (mg /kg) | $WP_B$ (kg/m۳) | WP (kg/m۳) | وزن میوه (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تکرار | ۸۵$^{ns}$ | ۴۵$^{ns}$ | ۳/۴$^{ns}$ | ۱۸$^{ns}$ | ۲۳/۸$^{ns}$ | ۱۱/۱$^{ns}$ | ۳۸/۲$^{ns}$ | ۴/۹$^{ns}$ | ۵۱۴۵$^{ns}$ |
| نانو ذرات(N) | ۹۸۷* | ۲۳۲* | ۱۲۶* | ۱۷۹* | ۶۷/۵$^{ns}$ | ۲۶۱$^{ns}$ | ۱۸۶* | ۲۵۶۱* | ۷۸۹۵۴* |
| نوع کاربرد(A) | ۷۸۶/۴۸* | ۱۴۸/۵* | ۱۰۹* | ۱۴۵/۲* | ۳۵/۵$^{ns}$ | ۳/۳۶$^{ns}$ | ۷۸/۶* | ۸۶/۷* | ۴۶۱۵۴* |
| N*A | ۳۹۵* | ۱۰۳/۲* | ۲۲/۲۲* | ۴۸/۶۲* | ۱۹/۲$^{ns}$ | ۴/۷$^{ns}$ | ۶۱* | ۱۰/۳۵* | ۳۲۱۴۵* |
| خطا | ۱۶ | ۳۲ | ۴۲ | ۶/۲ | ۳ | ۱/۴ | ۲۲/۲ | ۲/۲ | ۱۲۴۵۱ |
| ضریب تغییرات (٪) | ۳/۴ | ۲/۲ | ۲/۶ | ۱/۳ | ۱/۲ | ۳/۸ | ۱/۶ | ۳/۵ | ۳/۶ |

**: معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، *: معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار می باشد.

**جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس برای کشت دوم (میانگین مربعات)**

| منابع تغییر | RWC | قطر ساقه(cm) | HI | وزن تر بیوماس (g) | ارتفاع (cm) | وزن خشک بیوماس (g) | ELP | قطر میوه (mm) | تعداد میوه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تکرار | ۳۹ns | ۰/۰۲۲ns | ۰/۰۰۰۹ns | ۶۲۵۸ns | ۱۲۲ns | ۱۵۲/۲ns | ۷/۶ns | ۱۲/۶ns | ۱۸/۸ns |
| نانو ذرات(N) | ۳۶۱* | ۲/۱* | ۰/۰۰۱۶* | ۸۹۴۵۰* | ۳۴۸* | ۱۴۵۰* | ۲۴۷* | ۱۳۸/۴* | ۴۹۸* |
| نوع کاربرد(A) | ۱۸۲* | ۰/۳* | ۰/۰۰۰۰۶۵ns | ۶۲۴۵۱* | ۲۲۰* | ۷۸۴/۵* | ۱۴۸* | ۱۰۰/۱ns | ۲۰۵* |
| N*A | ۵۶* | ۰/۰۲* | ۰/۰۰۱۴* | ۶۸۵۹** | ۲۹ns | ۲۰۹/۹* | ۲۹* | ۷۸/۶ns | ۱۴۲* |
| خطا | ۶ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۰۴۵ | ۲۴۳۱ | ۱۲ | ۸۴ | ۹/۱ | ۳/۶۶ | ۱۱/۲ |
| ضریب تغییرات (٪) | ۱/۲۱ | ۲/۴ | ۱/۰۱ | ۷/۸ | ۳/۲ | ۵/۲ | ۴/۳ | ۲/۹ | ۲/۸ |

**: معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، *: معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار می باشد.

**جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس برای کشت دوم (میانگین مربعات)**

| منابع تغییر | منیزیم میوه | منیزیم برگ | کلسیم میوه ($mg.kg^{-1}$) | کلسیم برگ | نیترات برگ | نیترات میوه | WPB ($kg.m^{-3}$) | WP ($kg.m^{-3}$) | وزن میوه(g) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تکرار | ۷۹ns | ۸۲/۵ns | ۱۲۵/۴ns | ۴۵/۲ns | ۷۶/۴ns | ۲۲/۱۲ns | ns۲/۲ | ۱۰/۲۳ns | ۱۲۶۵۳ns |
| نانو ذرات(N) | ۱۲۴۵* | ۳۴۲* | ۲۴۸/۳* | ۱۹۶* | ۲۵۵ns | ۱۵۸/۱۴ns | ۱۱۲* | ۱۲۶/۱* | ۹۴۵۶۲* |
| نوع کاربرد(A) | ۴۳۹* | ۲۸۶* | ۱۸۹/۲* | ۱۳۲/۲* | ۱۴۵ns | ۶۶ns | ۷۸/۶* | ۴۶/۷* | ۶۵۵۶۴* |
| N*A | ۲۵۶* | ۱۵۴/۱۲* | ۱۵۲* | ۵۲/۳* | ۸۷/۶۸ns | ۳۶/۴۸ns | ۴۹* | ۲۰/۵* | ۲۵۲۳۱/۹* |
| خطا | ۴۳ | ۲۸ | ۸۴ | ۱۶ | ۶/۸ | ۱۲/۲ | ۹/۲ | ۷ | ۲۵۹۱ |
| ضریب تغییرات (٪) | ۶/۴ | ۶/۲ | ۶/۱ | ۲/۴ | ۲ | ۵/۶ | ۲/۷ | ۴/۸ | ۶ |

**: معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، *: معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار می باشد.

**جدول۷ - نتایج مقایسه میانگین به روش دانکن در کشت اول**

| نانو | نوع کاربرد | RWC | قطر ساقه(cm) | HI | وزن تر بیوماس (g) | ارتفاع (cm) | وزن خشک بیوماس (g) | ELP | قطر میوه (mm) | تعداد میوه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰ | برگی | ۸۵/۲$^{j}$ | ۱/۲۳$^{fe}$ | ۰/۸۷۴۰$^{f}$ | ۱۱۴۰/۷$^{h}$ | ۱۹۴/۲۵$^{fgh}$ | ۲۲۱/۷۹$^{ef}$ | ۳۲$^{a}$ | ۳۲/۳$^{ef}$ | ۸۹/۲۵$^{g}$ |
| ۰ | ریشه‌ای | ۸۵$^{h}$ | ۱/۲۱$^{f}$ | ۰/۸۷۴۰$^{f}$ | ۱۱۱۰$^{hi}$ | ۱۹۲/۵$^{h}$ | ۲۲۰/۳$^{f}$ | ۳۲/۱$^{a}$ | ۳۲/۲$^{f}$ | ۸۸$^{h}$ |
| ۲۵ | برگی | ۸۸$^{cd}$ | ۱/۴۴$^{ab}$ | ۰/۸۷۵۲$^{c}$ | ۱۳۶۳/۸$^{c}$ | ۲۰۶/۲۵$^{cd}$ | ۲۲۴/۰۲$^{d}$ | ۲۶/۵۴$^{de}$ | ۳۶/۶$^{b}$ | ۱۰۰/۲۵$^{c}$ |
| ۲۵ | ریشه‌ای | ۸۶/۳$^{f}$ | ۱/۳۵$^{c}$ | ۰/۸۷۴۸$^{e}$ | ۱۲۴۶/۸$^{gh}$ | ۲۰۲/۵$^{cde}$ | ۲۲۴$^{d}$ | ۲۸/۱۲$^{d}$ | ۳۵/۷$^{cd}$ | ۹۱/۷۵$^{f}$ |
| ۵۰ | برگی | ۹۲$^{a}$ | ۱/۵۱$^{a}$ | ۰/۸۷۷۷$^{a}$ | ۱۴۶۰/۵$^{a}$ | ۲۲۰/۵$^{a}$ | ۲۳۲/۱۲$^{a}$ | ۲۴/۳$^{g}$ | ۳۷/۹$^{a}$ | ۱۱۰$^{a}$ |
| ۵۰ | ریشه‌ای | ۹۱/۴$^{b}$ | ۱/۴۳$^{abcd}$ | ۰/۸۷۵۰$^{c}$ | ۱۳۲۱/۹$^{d}$ | ۲۱۵/۵$^{ab}$ | ۲۲۷$^{b}$ | ۲۵$^{ef}$ | ۳۶/۵$^{b}$ | ۱۰۲$^{bc}$ |
| ۷۵ | برگی | ۹۰/۹$^{c}$ | ۱/۴۵$^{ab}$ | ۰/۸۷۶۳$^{b}$ | ۱۳۷۶/۲$^{b}$ | ۲۱۳/۷۵$^{ab}$ | ۲۳۱/۹۱$^{ab}$ | ۲۴/۸$^{f}$ | ۳۷/۳$^{a}$ | ۱۰۳/۷۵$^{b}$ |
| ۷۵ | ریشه‌ای | ۸۷/۴$^{d}$ | ۱/۳۵$^{cde}$ | ۰/۸۷۴۸$^{ab}$ | ۱۳۰۷/۷$^{f}$ | ۲۱۰/۵$^{b}$ | ۲۲۵$^{b}$ | ۲۵/۲۲$^{def}$ | ۳۶/۳$^{bc}$ | ۹۵/۵$^{e}$ |
| ۱۰۰ | برگی | ۸۷/۱$^{de}$ | ۱/۴۱$^{b}$ | ۰/۸۷۴۹$^{d}$ | ۱۳۱۷$^{e}$ | ۱۹۸/۵$^{efg}$ | ۲۲۵$^{c}$ | ۳۰/۲$^{c}$ | ۳۶/۳$^{bc}$ | ۹۸$^{d}$ |
| ۱۰۰ | ریشه‌ای | ۸۶/۵$^{e}$ | ۱/۳۳$^{de}$ | ۰/۸۷۴۸$^{e}$ | ۱۲۴۰/۸$^{g}$ | ۱۹۷$^{efg}$ | ۲۲۲$^{e}$ | ۳۰/۸$^{b}$ | ۳۵/۷$^{cd}$ | ۹۱/۲۵$^{fg}$ |

**جدول۸ - نتایج مقایسه میانگین به روش دانکن در کشت اول**

| نانو | نوع کاربرد | $WP_B$ ($kg.m^{-3}$) | WP ($kg.m^{-3}$) | وزن میوه(g) | منیزیم میوه | منیزیم برگ | کلسیم میوه ($mg.kg^{-1}$) | کلسیم برگ | نیترات برگ | نیترات میوه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰ | برگی | ۶۱/۵۹$^{g}$ | ۵۳/۸۳$^{ef}$ | ۷۹۱۳$^{g}$ | ۴۹/۸$^{efg}$ | ۱۶۳/۳$^{ef}$ | ۶۰/۵$^{gh}$ | ۲۶۷/۶$^{f}$ | ۲۷۰/۸۶$^{ab}$ | ۹۳/۴$^{a}$ |
| ۰ | ریشه‌ای | ۵۹/۹۳$^{h}$ | ۵۲/۳۸$^{g}$ | ۷۷۰۰$^{h}$ | ۴۰/۰۲$^{fgh}$ | ۱۲۰/۱$^{gh}$ | ۵۲$^{h}$ | ۲۶۶$^{g}$ | ۲۳۶/۵۶$^{ab}$ | ۸۸/۶$^{a}$ |
| ۲۵ | برگی | ۷۴/۳۴$^{c}$ | ۶۵/۰۶$^{bc}$ | ۹۵۶۳/۴۵$^{c}$ | ۵۷/۸۶$^{c}$ | ۲۲۱/۴$^{bc}$ | ۸۰$^{d}$ | ۳۵۰$^{c}$ | ۳۵۳/۴۴$^{a}$ | ۱۳۹/۶$^{a}$ |
| ۲۵ | ریشه‌ای | ۶۷/۷۳$^{cd}$ | ۵۹/۲۵$^{ef}$ | ۸۷۱۰/۰۵$^{ef}$ | ۵۳/۲۵$^{d}$ | ۱۹۴/۴$^{de}$ | ۷۰/۱$^{ef}$ | ۳۰۰$^{de}$ | ۲۷۰/۵$^{ab}$ | ۱۱۷/۴$^{a}$ |
| ۵۰ | برگی | ۸۱/۲۶$^{a}$ | ۷۱/۳۲$^{a}$ | ۱۰۴۸۴/۳$^{a}$ | ۶۶/۲$^{a}$ | ۲۵۶$^{a}$ | ۹۰$^{a}$ | ۳۸۰$^{a}$ | ۳۹۸/۲$^{a}$ | ۱۴۷$^{a}$ |
| ۵۰ | ریشه‌ای | ۷۱/۹۴$^{d}$ | ۶۲/۹۵$^{bc}$ | ۹۲۵۳/۳۷$^{d}$ | ۶۰/۰۲$^{bc}$ | ۲۲۴/۶$^{b}$ | ۸۳$^{c}$ | ۳۵۳/۲$^{bc}$ | ۳۶۲/۹۷$^{a}$ | ۱۳۷/۲$^{a}$ |
| ۷۵ | برگی | ۷۵/۶۹$^{b}$ | ۶۶/۳۳$^{b}$ | ۹۷۵۰/۳۲$^{b}$ | ۶۰/۹۵$^{b}$ | ۲۳۱/۴$^{ab}$ | ۸۴/۲$^{b}$ | ۳۵۸/۴$^{b}$ | ۳۸۱/۴$^{a}$ | ۱۴۳/۸$^{a}$ |
| ۷۵ | ریشه‌ای | ۷۱/۰۵$^{ef}$ | ۶۲/۱۵$^{d}$ | ۹۱۳۶$^{bc}$ | ۵۴/۸۹$^{d}$ | ۱۹۷/۹$^{d}$ | ۷۳$^{e}$ | ۳۰۵/۶$^{d}$ | ۳۲۲$^{a}$ | ۱۲۴$^{a}$ |
| ۱۰۰ | برگی | ۷۱/۶۰$^{e}$ | ۶۲/۶۴$^{cd}$ | ۹۲۰۸/۸۱$^{e}$ | ۵۶/۳$^{cd}$ | ۲۱۰/۶$^{bcd}$ | ۷۸$^{de}$ | ۳۲۴/۵$^{cd}$ | ۳۴۵/۶$^{a}$ | ۱۳۳/۲$^{a}$ |
| ۱۰۰ | ریشه‌ای | ۶۷/۴۰$^{f}$ | ۵۸/۹۶$^{e}$ | ۸۶۶۷/۳۳$^{f}$ | ۵۲/۰۸$^{def}$ | ۱۷۹$^{def}$ | ۶۵$^{f}$ | ۲۹۱/۴$^{e}$ | ۲۴۵/۳۶$^{ab}$ | ۱۰۴$^{a}$ |

در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون دانکن ندارند.

**جدول ۹- نتایج مقایسه میانگین به روش دانکن در کشت دوم**

| نانو | نوع کاربرد | RWC | قطر ساقه(cm) | HI | وزن تر بیوماس (g) | ارتفاع (cm) | وزن خشک بیوماس (g) | ELP | قطر میوه (mm) | تعداد میوه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰ | برگی | ۸۵/۳$^{e}$ | ۰/۹۶$^{ef}$ | ۰/۸۶۶۷$^{abcd}$ | ۱۰۲۰$^{g}$ | ۲۱۴/۰۱$^{bc}$ | ۱۹۰/۴$^{g}$ | ۳۶$^{fg}$ | ۲۶/۵$^{e}$ | ۵۹/۱$^{h}$ |
| ۰ | ریشه‌ای | ۸۳/۰$^{e}$ | ۰/۹۴$^{f}$ | ۰/۸۶۶۶$^{bcd}$ | ۹۶۵$^{i}$ | ۱۹۳/۷۴$^{f}$ | ۱۸۷/۵$^{h}$ | ۳۶/۰۴$^{fg}$ | ۲۶$^{e}$ | ۵۹/۰$^{h}$ |
| ۲۵ | برگی | ۸۶/۷$^{b}$ | ۱/۱۷$^{ab}$ | ۰/۸۷۰۹$^{a}$ | ۱۱۵۷/۵$^{c}$ | ۲۱۳/۶۶$^{b}$ | ۲۱۶/۵$^{b}$ | ۳۰/۷$^{i}$ | ۳۱/۸$^{ab}$ | ۸۲/۰$^{c}$ |
| ۲۵ | ریشه‌ای | ۸۵/۹$^{de}$ | ۱/۰۷$^{bcd}$ | ۰/۸۶۸۲$^{ab}$ | ۱۰۲۱$^{c}$ | ۲۰۱/۳۸$^{d}$ | ۱۹۹/۳$^{f}$ | ۳۲/۱$^{h}$ | ۲۹/۷$^{c}$ | ۶۸/۰$^{f}$ |
| ۵۰ | برگی | ۸۸/۰$^{a}$ | ۱/۲۰$^{a}$ | ۰/۸۷۲۰$^{a}$ | ۱۱۸۰$^{a}$ | ۲۲۰$^{a}$ | ۲۲۲$^{a}$ | ۲۵/۶$^{k}$ | ۳۳/۲$^{a}$ | ۹۰/۰$^{a}$ |
| ۵۰ | ریشه‌ای | ۸۷/۲$^{ab}$ | ۱/۱۴$^{abc}$ | ۰/۸۷۰۵$^{a}$ | ۱۱۲۳/۴$^{d}$ | ۲۰۹/۱$^{bc}$ | ۲۱۱/۸$^{c}$ | ۲۷/۸$^{jk}$ | ۳۱/۱$^{b}$ | ۷۸/۰$^{d}$ |
| ۷۵ | برگی | ۸۶/۸$^{b}$ | ۱/۱۹$^{a}$ | ۰/۸۷۱۰$^{a}$ | ۱۱۶۹/۶$^{b}$ | ۲۱۵/۵$^{ab}$ | ۲۰۰/۲$^{ab}$ | ۲۸/۶$^{j}$ | ۳۲$^{ab}$ | ۸۵/۱$^{ab}$ |
| ۷۵ | ریشه‌ای | ۸۶/۶$^{c}$ | ۱/۱۳$^{abc}$ | ۰/۸۶۹۳$^{ab}$ | ۱۰۳۰$^{f}$ | ۲۰۲/۶۲$^{cd}$ | ۲۱۴/۶$^{d}$ | ۳۰/۱۵$^{i}$ | ۳۰$^{bc}$ | ۷۰/۰$^{ef}$ |
| ۱۰۰ | برگی | ۸۶/۵$^{cd}$ | ۱/۱۶$^{abc}$ | ۰/۸۷۰۴$^{a}$ | ۱۱۱۰$^{e}$ | ۲۰۸/۹$^{bc}$ | ۲۰۵$^{e}$ | ۳۳/۸$^{h}$ | ۳۰/۵$^{b}$ | ۷۵/۵$^{e}$ |
| ۱۰۰ | ریشه‌ای | ۸۶/۴$^{d}$ | ۱/۰۵$^{cde}$ | ۰/۸۶۸۰$^{abc}$ | ۱۰۰۰$^{h}$ | ۱۹۸/۵$^{e}$ | ۱۹۹/۴$^{f}$ | ۳۴/۷۵$^{gh}$ | ۲۹$^{c}$ | ۶۵/۵$^{g}$ |

**جدول ۱۰- نتایج مقایسه میانگین به روش دانکن در کشت دوم**

| نانو | نوع کاربرد | $WP_B$ ($kg.m^{-3}$) | WP ($kg.m^{-3}$) | وزن میوه(g) | منیزیم میوه | منیزیم برگ | کلسیم میوه ($mg.kg^{-1}$) | کلسیم برگ | نیترات برگ | نیترات میوه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰ | برگی | ۶۱/۷۱$^{g}$ | ۵۳/۴۸$^{f}$ | ۶۶۳۲$^{cd}$ | ۳۶/۴$^{fg}$ | ۸۶/۳$^{g}$ | ۴۲/۴$^{g}$ | ۲۱۵$^{f}$ | ۲۵۰/۴۳$^{a}$ | ۸۷$^{a}$ |
| ۰ | ریشه‌ای | ۵۸/۳۳$^{i}$ | ۵۰/۵۵$^{g}$ | ۶۲۶۸$^{def}$ | ۳۵/۹$^{h}$ | ۸۵/۷$^{fg}$ | ۴۱/۶$^{gh}$ | ۱۹۹$^{g}$ | ۲۲۷/۸۴$^{a}$ | ۷۸/۸$^{a}$ |
| ۲۵ | برگی | ۷۲/۳۱$^{b}$ | ۶۲/۹۷$^{b}$ | ۷۸۰۸$^{b}$ | ۴۴/۱$^{d}$ | ۱۲۷/۰۸$^{c}$ | ۶۲/۱$^{c}$ | ۳۰۸/۱۰$^{c}$ | ۳۱۱/۷۳$^{a}$ | ۱۱۲/۳$^{a}$ |
| ۲۵ | ریشه‌ای | ۶۲/۴۹$^{f}$ | ۵۴/۲۶$^{ef}$ | ۶۷۲۸$^{cd}$ | ۴۰$^{bcde}$ | ۱۰۷/۶$^{ef}$ | ۵۴/۳$^{de}$ | ۲۷۲/۳۶$^{e}$ | ۲۸۵/۸۲$^{a}$ | ۱۰۳/۴$^{a}$ |
| ۵۰ | برگی | ۷۴/۳۴$^{a}$ | ۶۴/۸۳$^{a}$ | ۸۰۳۹$^{a}$ | ۵۰$^{a}$ | ۱۴۸$^{a}$ | ۷۴$^{a}$ | ۳۴۹/۰۵$^{a}$ | ۳۵۹$^{a}$ | ۱۳۰$^{a}$ |
| ۵۰ | ریشه‌ای | ۶۹/۹۷$^{c}$ | ۶۰/۹۱$^{c}$ | ۷۵۵۳$^{bc}$ | ۴۵/۲$^{c}$ | ۱۲۹/۲۲$^{abc}$ | ۶۳$^{b}$ | ۳۰۹/۲۲$^{ab}$ | ۳۲۰/۰۱$^{a}$ | ۱۱۳/۶$^{a}$ |
| ۷۵ | برگی | ۷۳/۱۲$^{ab}$ | ۶۳/۶۹$^{ab}$ | ۷۸۹۷$^{b}$ | ۴۶/۸۸$^{b}$ | ۱۳۵/۴۲$^{b}$ | ۶۵/۲$^{ab}$ | ۳۱۴/۷۲$^{b}$ | ۳۳۴/۴۶$^{a}$ | ۱۱۷/۲$^{a}$ |
| ۷۵ | ریشه‌ای | ۶۳/۵۷$^{e}$ | ۵۵/۲۷$^{e}$ | ۶۸۵۳$^{cd}$ | ۴۱/۶$^{bcd}$ | ۱۱۵/۶۸$^{e}$ | ۵۷/۰۲$^{d}$ | ۲۹۲/۱۶$^{d}$ | ۳۰۱/۵۱$^{a}$ | ۱۰۶/۶$^{a}$ |
| ۱۰۰ | برگی | ۶۹/۰۴$^{d}$ | ۶۰/۰۹$^{cd}$ | ۷۴۵۲$^{bc}$ | ۴۲/۵$^{cd}$ | ۱۱۹$^{d}$ | ۶۰$^{cd}$ | ۲۹۵/۸۶$^{cd}$ | ۳۱۳/۶۴$^{a}$ | ۱۰۸/۴$^{a}$ |
| ۱۰۰ | ریشه‌ای | ۶۱/۱۰$^{hi}$ | ۵۳/۰۴$^{fg}$ | ۶۵۷۷$^{cde}$ | ۳۹$^{ef}$ | ۱۰۱/۴$^{f}$ | ۵۰/۹۰$^{ef}$ | ۲۴۵/۷۸$^{ef}$ | ۲۷۹/۰۷$^{a}$ | ۸۹/۸$^{a}$ |

در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون دانکن ندارند.

براساس نتایج مندرج در جداول ۵ و ۳ می‌توان بیان کرد که اثر تیمارهای نانوذرات و نیز نوع کاربرد آن‌ها بر میزان وزن خشک و تر بیوماس در هر دو فصل کشت ارتباط معنی دار دارد. همچنین اثرات متقابل تیمارها در کشت اول بر میزان وزن خشک و تر بیوماس تأثیر معنی‌دار داشته است. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار وزن تر و خشک بیوماس در هر دو کشت به ترتیب در تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات به روش محلول پاشی برگی (کشت اول: وزن خشک۲۳۲/۱۲ گرم و وزن تر۱۴۶۰/۵گرم، کشت دوم:وزن خشک ۲۲۲ گرم و وزن تر ۱۱۸۰ گرم) و ۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات به روش محلول دهی ریشه

ای (کشت اول: وزن خشک۲۲۰/۳ گرم و وزن تر۱۱۱۰گرم، کشت دوم: وزن خشک ۱۸۷/۵ گرم و وزن تر ۹۶۵ گرم) رخ داده است (جداول ۷ و ۹ ). با توجه به نوع کاربرد نانوذرات برای گیاه، می‌توان گفت که استفاده از نانوذرات سیلیکا به عنوان محلول‌پاشی بر روی برگ‌ها تأثیر معناداری بر وزن تر و خشک زیست توده خیار نسبت به حالت تغذیه ریشه داشت .بر اساس نتایج مندرج در جداول ۹ و ۷ می‌توان بیان کرد که کاربرد نانوذرات با غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر به روش محلول پاشی بر برگ به ترتیب سبب افزایش ۲۸/۱ و ۱۵/۶درصدی وزن تر بیوماس نسبت به تیمار شاهد در کشت اول و دوم شده است. السعیدی و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که استفاده از نانوذرات سیلیس در غلظت ۲۰۰ PPM باعث افزایش وزن تازه و خشک خیار در کشت خاک می‌شود. یکی از تأثیرات مثبت ذرات نانو روی گیاه، تجمع مواد مغذی روی سطح آن است. نانوذرات با سطح ویژه بالا پتانسیل زیادی در حفظ مواد مغذی برای استفاده گیاه دارند (تاهاکار ۲۰۰۹). این باعث افزایش وزن خشک کل گیاه شده است. افزایش وزن خشک کل گیاه احتمالاً به دلیل افزایش جذب عناصر معدنی و تسریع روند فتوسنتز توسط نانوذرات سیلیکا است.

نتایج جداول ۶ و ۴ نشان می‌دهد که تیمارهای نانوذرات سیلیکا و نوع کاربرد آن‌ها بر وزن میوه اثر معنی‌داری دارد. با توجه به جداول ۸ و ۱۰ می‌توان بیان داشت که نانوذرات سیلیکا به ترتیب با غلظت ۵۰، ۷۵، ۲۵، ۱۰۰ و ۰ بیشترین تأثیر را بر میزان وزن میوه داشته است. بر اساس نتایج جداول ۸ و ۱۰ می‌توان بیان کرد که کاربرد نانوذرات با غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر به روش محلول پاشی بر برگ به ترتیب سبب افزایش ۳۲/۱ و ۲۱/۲ درصدی وزن میوه نسبت به تیمار شاهد در کشت اول و دوم شده است. نتایج نشان می‌دهد که کاربرد نانو ذرات به صورت محلول پاشی تأثیر بیشتری بر میزان وزن میوه در گیاه خیار داشته است. جان محمدی و همکاران (۲۰۱۶)، شریفی (۲۰۱۷)، محمود و همکاران (۲۰۱۷)، امین و همکاران (۲۰۱۸) و اشکاوند و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقات خود نشان دادند که کاربرد نانوذرات سیلیکا باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شود.

نتایج جدول ۴ و ۶ نشان می‌دهد که در کشت اول و دوم اثر تیمارها و اثرات متقابل تیمارها برWP و $WP_B$ در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین کشت اول و دوم (جداول ۸ و ۱۰) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار WPو $WP_B$ مربوط به تیمار نانوذرات با غلظت ۵۰ ppm تحت محلول پاشی روی برگ (WP: کشت اول ۷۱/۳۲ و کشت دوم۶۴/۸۳، $WP_B$: کشت اول۸۱/۲۸ و کشت دوم۷۴/۳۳) می‌باشد. با توجه به جداول ۸ و ۱۰ می‌توان بیان داشت که نانوذرات سیلیکا به ترتیب با غلظت ۵۰، ۷۵، ۲۵، ۱۰۰ و ۰ بیشترین تأثیر را بر WP و $WP_B$ داشته است. نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات محمود و همکاران (۲۰۱۷) و دهقانی پوده و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد.

با توجه به جداول ۳ و ۵ اثر تیمارهای آبیاری و نانوذرات سیلیکا بر میزان قطر ساقه در دو فصل کشت معنی‌دار بود. نتایج مندرج در جداول ۷ و ۹ نشان می‌دهد بیشترین قطر ساقه مربوط به تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات به روش محلول پاشی برگی بوده و استفاده از نانو ذرات سیلیکا سبب افزایش قطر ساقه شده است.

نتایج نشان می‌دهد که تیمار نانو ذرات سیلیکا بر میزان شاخص برداشت اثر معنی‌دار داشته است. .همچنین اثر متقابل تیمارها بر شاخص برداشت در هر دو فصل کشت در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جداول ۳ و ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین شاخص برداشت در تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات به روش محلول پاشی برگی اتفاق افتاده است.

در مورد سطح نیترات میوه و برگ در هر دو فصل رشد، تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد (جداول ۶ و ۴). با این حال طبق جداول ۸ و ۱۰ مشاهده می‌شود که استفاده از نانوذرات سیلیکا باعث افزایش نیترات در میوه و برگ خیار نسبت به تیمار شاهد می‌شود که با نتایج تحقیق یاسین و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد.

کلسیم در حفظ ساختار و عملکرد غشای سلولی، استحکام دیواره سلول، تنظیم انتخابی انتقال یون و کنترل تبادل یونی آنزیم‌های دیواره سلول نقش مهم و ضروری دارد (لیانگ ۱۹۹۹). با توجه به نتایج تجزیه واریانس

داده‌ها (جدول ۶ و ۴)، مشاهده شد که اثرات نانوذرات، روش کاربرد و اثر متقابل تیمارها در سطح احتمال ۱٪ برمیزان کلسیم برگ و میوه معنی‌دار بود (جداول ۱۰ و ۸) و مشاهده شد که استفاده از نانو سیلیس با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به روش پاشش نتایج بهتری را به همراه داشته است. افزایش کلسیم در نتیجه استفاده از سیلیکون توسط لیانگ و همکاران (۲۰۰۵) و میاکه و تاکاهاشی (۱۹۸۶) گزارش شده است.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جداول ۶ و ۴)، مشاهده شد که اثرات جداگانه و متقابل تیمارها در هر دو فصل کاشت در سطح ۱٪ بر میزان منیزیم برگ و میوه قابل توجه است . استفاده از نانوذرات باعث افزایش قابل توجه منیزیم برگ و میوه در مقایسه با تیمار شاهد شد و بیشترین مقدار منیزیم در تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد (جداول ۱۰ و ۸).

بر اساس نتایج جداول ۳ و ۵ تیمار نانو ذرات سیلیکا و روش کاربرد آن‌ها بر میزان محتوای نسبی آب برگ اثر معنی‌دار داشت. مطابق جداول ۷ و ۹ استفاده از نانوذرات سیلیکا باعث بهبود و افزایش محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با تیمار شاهد شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار محتوای نسبی آب برگ مربوط به تیمار ۵۰ میلی گرم در لیتربوده است. بیشترین افزایش محتوای نسبی آب برگ به ترتیب مربوط به تیمارهای نانوذرات با غلظت ۵۰، ۷۵، ۲۵، ۱۰۰ و ۰ می‌باشد. اثر مثبت سیلیس بر رطوبت نسبی در پژوهش گانس و همکاران. (۲۰۰۸) و کایا و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شده.

با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها (جداول ۳ و ۵)، مشاهده شد که اثر نانوذرات، روش‌های کاربرد و اثر متقابل تیمارها در سطح احتمال ۱٪ بر میزان نشت الکترولیت معنی‌دار بود. طبق جداول ۷ و ۹ کاربرد نانوذرات باعث کاهش نشت الکترولیت در مقایسه با شاهد می‌شود.

طبق جداول ۳ و ۵ تیمار نانوذرات در دو فصل کشت روی قطر میوه اثر معنی‌دار دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که تیمار نانو ذرات سیلیکا و روش کاربرد آن بر تعداد میوه اثر معنی‌دار داشته است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از نانوذرات وضعیت تعداد میوه را بهبود می‌بخشد و بیشترین مقادیر مربوط به نانوذرات با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتربوده است. مطابق جدول ۶ و ۴ در هر دو فصل کشت، تأثیر تیمارها بر ارتفاع بوته خیار در سطح ۱٪ معنی‌دار بود و کاربرد نانوذرات باعث افزایش ارتفاع در خیار نسبت به تیمار شاهد شده که با نتایج تحقیقات بائو شان و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که کاربرد نانو ذرات سیلیکا عملکرد و بهره‌وری مصرف آب را بهبود می‌بخشد و به طور میانگین سبب اقزایش ۲۷ درصدی عملکرد و و استفاده از نانوذرات سیلیکا اثرات مثبتی بر غلظت کلسیم، منیزیم و نیترات در برگ و میوه‌های خیار دارد. به طور کلی، با توجه به نتایج این مطالعه، غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات سیلیکا به روش محلول‌پاشی در مورد تولید گلخانه‌ای خیار و کشت آن در محیط کشت بدون خاک پیشنهاد می‌شود. این مطالعه نشان داده است که استفاده از نانوذرات سیلیکا می‌تواند روی رشد گیاه و عملکرد خیار تأثیر مثبت بگذارد.

## سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GN SCU.W199.144) در انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می گردد.

## منابع مورد استفاده

Ahmed AH, Harb EM, Higazy MA and Morgan S. 2008. Effect of silicon and boron foliar applications on wheat plants grown under saline soil conditions. International Journal of Agricultural Research, 3(1):1-26.

All-saeedi A, El-Ramady H, Alshaal T, El-Garawani M, Elhawat N and Al-Otaibi A. 2018. Exogenous nanosilica improves germination and growth of cucumber by maintaining K+/Na+ ratio under elevated Na+ stress. Plant Physiology and Biochemistry, 125 (2018) 164–171.

Amin A, Ahmad R, Ali A, Hussain I, Mahmood R, Aslam M and Lee D. 2018. Influence of Silicon Fertilization on Maize Performance Under LimitedWater Supply. Silicon, 10:177–183. DOI 10.1007/s12633-015-9372-x.

Ashkavand P, Zarafshar M, Tabari M, Mirzaie J, Nikpour AR, Bordbar K, Struve D and Striker GG. 2018. Application of SiO2 nanoparticles as pretreatment alleviates the impact of drought on the physiological performance of Prunus mahaleb L. (Rosa ceae). Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 53 (2):1-13.

Bao-shan L, shao-q D, Chun-hui L, Lijun F, Shu-chun Q and Min Y. 2004. Effect of TMS (nanostructured silicon dioxide) on growth of Changbai larch seedlings. Journal of Forestry Research, 15(2): 138-140.

Cataldo DA, Maroon M, Schrader LE and Youngs VL. 1975. Rapid Colorimetric Determination of Nitrate in Plant-Tissue by Nitration of Salicylic-Acid. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 6(1):71-80.

Dehghanipoodeh S, Ghobadi C, Baninasab B, Gheysari M and Shirani Bidabadi S. 2018. Effect of Silicon on Growth and Development of Strawberry under Water Depcit Conditions. Horticultural Plant Journal, 4(6):226-232.

Donald CM and Hamblin J. 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. Advances in Agronomy Journal, 28:361-405.

Du W, Tan W, Yina Y, Ji R, Peralta-Videa JR, Guo H. and Gardea-Torresdey JL. 2018. Differential effects of copper nanoparticles/microparticles in agronomic and physiological parameters of oregano (*Origanum vulgare*). Science of the Total Environment, 618 (2018) 306–312.

Eneji AE, Inanaga S, Muranaka S, Li J, Hattori T, An P and Tsuji,W. 2008. Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilisers. Journal of Plant Nutrition, 31:355-365.

Gunes A, Pilbeam DJ, Inal A and Coban S. 2008. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: growth, antioxidant me,chanisms, and lipid peroxidation, Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39(13- 14):1885–1903.

Haghighi M, Afifipour Z and Mozafarian M. 2012. The effect of N-Si on tomato seed germination under salinity levels. Journal of Biological and Environmental Sciences, 6(16): 87-90.

Hattori T, Inanaga H, Araki H, An P, Morita S, Luxova M and Lux A. 2005. Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. Physiology of Plant, 123:459-466.

Janmohammadi M, Amanzadeh T, Sabaghnia N and Ion V. 2016. Effect of NANO-SILICON foliar application on safflower growth under organic and inorganic fertilizer regimes. BOTANICA LITHUANICA, 22(1): 53–64.

Jianfeng M, Kazuo N and Eiichi T. 1989. Effect of silicon on the growth of rice plant at different growth stages. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 35(3): 347-356.

Kaya C, Tuna L and Higgs D. 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. Journal of Plant Nutrition, 29(8):1469–1480.

Kirnak H, Kaya C, Tas I and Higgs D. 2001. The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in egg plants. Plant Physiology, 27: 34-46.

Lee J. 2002. Overview of Nano-technology in Korea–10 years blueprint. Journal of Nanoparticle Research, 4: 473-476.

Liang YC. 1999. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. Plant Soil, 29: 217-224.

Liang YC, Sun WC, Si J and Romheld V. 2005. Effects of foliar and root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in cucumis sativus. Journal Plant Pathology, 54: 678-685.

Lopez-Moreno ML, Aviles LL, Perez NG, Irizarry BA, Perales O, Cedeno-Mattei Y and Román F. 2016. Effect of cobalt ferrite (CoFe2O4) nanoparticles on the growth and development of Lycopersicon lycopersicum (tomato plants). Science Total Environment, 550:45-52.

Lopez-Moreno ML, Aviles LL, Perez NG, Irizarry BA, Perales O, Cedeno-Mattei Y and Roman F. 2016. Effect of cobalt ferrite (CoFe2O4) nanoparticles on the growth and development of *Lycopersicon lycopersicum* (tomato plants). Science Total Environ, 550:45-52.

Ma JF, Miyake Y and Takahashi E. 2001. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndorfer GH. (edition) Silicon in agriculture. Studies in Plant Science, 8. Elsevier, Amsterdam.17-39.

Mahmoud MA, Shala AY and Rashed NM. 2017. The mutual effect of irrigation and foliar spray of Silics nanoparticles on Basil Plant. Journal Plant Production, 8 (12): 1303 – 1313.

Mali M and Arey NC. 2008. Silicon effects on nodule growth, dry matter production and mineral nutrition of cowpea (*vigna unguiculata*). Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 171: 835-840.

Matichenkov VV and Calvert DV. 2002. Silicon as a beneficial element for sugarcane. Journal of American Society, Sugarcane Technology, 22:21-30.

Mazaherinia S, Astaraei AR, Fotovat A and Monshi A. 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. World Applied Sciences Journal, 7(1):36- 40.

Miyake Y and Takahashi E. 1986. Effect of silicon on the growth and fruit production of strawberry plants in a solution culture. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 32: 321-326.

Monica RC and Cremonini R. 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia, 62(2):161-165.

Pelesco VA and Alagao FB. 2014. Evapotranspiration Rate of Lettuce *(Lactuca sativa L., Asteraceae*) in a Non-Circulating Hydroponics System. Journal of Society & Technology, 4:1-6.

Resh HM. 2005. Hydroponic Food Prodution. Woodbring Press, Santa Barrs, CA 288.

Scott N and Chen H. 2013. Industrial Biotechnology, 18(17):1- 9.

Scrinis G and Lyons K. 2007. The Emerging Nano-Corporate Paradigm: Nanotechnology and the Transformation of Nature, Food and Agri-Food Systems. International Journal of Sociology of Food and Agriculture, 15(2):22-44.

Sharifi P. 2017. Effect of Silicon Nutrition on Yield and Physiological Characteristics of Canola(*Brassica napus*) under Water Stress Conditions. International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR), 8(1):144-153.

Siddiqui MH andAl-Whaibi MH. 2014. Role of nano-SiO2 in germination of tomato (*Lycopersicum esculentum* seeds Mill.). Saudi Journal of Biological Sciences, 21:13–17.

Thakkar KN, Snehit S, Mhatre MS, Rasesh Y and Parikh MS. 2009. Biological synthesis of metallic nanoparticles. Nanomedicine: Nanotechnology Biology and Medicine, 6(2):257-262.

Tuzel IH, Meric KM. and Tuzel Y. 2006. Crop Coefficients in Simplified Hydroponic Systems. Acta Horticulturae, 719: 551–556.

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): 130-135.

Yuvakkumar R, Elango V, Rajendran V, Kannan NS and Prabu P. 2011. Influence of Nanosilica Powder on the Growth of Maize Crop (*Zea Mays L.*). International Journal of Green Nanotechnology, 3(3): 180-190.

Zhao P, Yuan W, Xu C, Li F, Cao L and Huang Q. 2018. Enhancement of Spirotetramat Transfer in Cucumber Plant Using Mesoporous Silica Nanoparticles as Carriers. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 66:11592−11600.

Zuverza-Mena N, Medina-Velo IA, Barrios AC, Tan W, Peralta-Videa JR and Gardea- Torresdey JL. 2015. Copper nanoparticles/compounds impact agronomic and physiological parameters in cilantro (*Coriandrum sativum*). Environmental Science, 17:1783–1793.