

## اثر نانو ذرات آهن و روی و کودهای آلی بر رشد و عملکرد گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*)

### Effect of Zinc and Iron nano particles and organic fertilizers on quality and quantity yields of tomato (*Solanum lycopersicum*)

سعید جواهری<sup>۱</sup>، علیرضا آستارایی<sup>۲\*</sup>، رضا خراسانی<sup>۳</sup>، حمیدرضا ذبیحی<sup>۴</sup>، حجت امامی<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی دکتری پردیس دانشگاه فردوسی مشهد.
۲. دانشیار علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، (نگارنده مسئول)
۳. دانشیار علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۴. عضو هیئت علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی- سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد. ایران.
۵. دانشیار علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۵ - شناسانه برنمود رقمی: 10.22092/aj.2019.114953.1178

#### چکیده

جواهری، س.، آستارایی، ع.، خراسانی، ر.، ذبیحی، ح. ر.، امامی، ح.، اثر نانو ذرات آهن و روی و کودهای آلی بر رشد و عملکرد گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*)  
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۲ - شماره ۴- پیاوند ۱۲۵ زمستان ۱۳۹۸: صفحه ۳۲-۱۶  
بمنظور بررسی اثرات نانواکسید آهن، نانو اکسید روی، ترکیبات آلی ورمی کمپوست و اسید هیومیک بر عملکرد و جذب برخی از عناصر غذایی در گوجه فرنگی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی انجام شد. عامل اول، ترکیبات آلی در سه سطح: صفر، ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست و ۵ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک، و عامل های دوم و سوم، نانو ذرات اکسید آهن و اکسید روی، هر کدام در دو سطح: صفر و ۲/۶ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غلظت نیتروژن در برگ به طور معنی داری تحت تاثیر مصرف ورمی کمپوست و غلظت نیتروژن در میوه تحت تاثیر مصرف توأم نانواکسید آهن و روی و نیز نانو اکسید روی قرار گرفته، و به حداکثر مقدار رسید. مصرف ورمی کمپوست همراه با نانواکسید آهن و روی، غلظت آهن را در برگ و میوه به طور معنی داری افزایش داد. اثرات متقابل ترکیبات آلی و نانو اکسید آهن و روی بر عملکرد میوه معنی دار شد با کاربرد نانواکسید روی و ترکیبات آلی، عملکرد میوه ۷۴ درصد افزایش یافت و از ۶۱/۶۲۰ تن در هکتار در تیمار شاهد به ۱۰۷/۱۹۳ تن در تیمار دارای نانواکسید روی و اسید هیومیک افزایش پیدا کرد. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که نانواکسید آهن و روی منابع مناسبی برای تامین نیاز گیاه گوجه فرنگی به این دو عنصر بودند و مصرف نانواکسید روی همراه با اسید هیومیک نیز موجب افزایش عملکرد معنی دار میوه گوجه فرنگی شد.

واژه های کلیدی: تغذیه، عناصر کم مصرف، ورمی کمپوست، اسید هیومیک

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: alirezaastaraei@yahoo.com

## مقدمه

گوجه فرنگی با نام علمی Solanum lycopersicum گیاهی چند ساله است که به تیره سیبزمینیان تعلق دارد. این گیاه بومی آمریکای جنوبی و مرکزی است که بعداً از آنجا به سایر نقاط جهان منتقل شد (Zomorodi, 2010). گوجه فرنگی سرشار از ویتامین C و لیکوپن میباشد. سطح زیرکشت آن در ایران در سال زراعی ۹۵-۹۴، ۱۴۹ هزار هکتار، تولید آن ۵/۸ میلیون تن و میانگین عملکرد آبی آن در کل کشور ۳۹/۲ تن در هکتار بوده است (Report of crops statistics, 2016). استان فارس با ۱۸۶۱۹ هکتار سطح زیرکشت و ۹۳۱ هزار تن تولید، مقام اول و استان خراسان رضوی با ۱۳۹۱۸ هکتار سطح زیرکشت و ۵۷۱ هزار تن تولید، مقام چهارم تولید گوجه فرنگی در کشور را به خود اختصاص داده است (Report of crops statistics, 2016). به منظور افزایش عملکرد کمی و کیفی محصول این گیاه استراتژیک، طرح‌های تحقیقاتی متعددی در زمینه‌های مختلف از جمله تغذیه بهینه آن، اجرا گردیده است. در این راستا، برخی مطالعات نشان داده‌اند که دو عنصر آهن و روی در تغذیه گوجه فرنگی، نقش مهمی ایفا میکنند به طوری که این عناصر در فرآیندهای حیاتی از جمله سنتز اکسینها، فعالیت آنزیم‌ها، متابولیسم پروتئین و تقسیمات سلولی نقش داشته (Alloway, 2004)، و از طریق تاثیری که بر فرآیند فتوسنتز و تولید قند دارند عناصر ضروری در متابولیسم کربوهیدراتها محسوب میشوند (Taiz & Zeiger, 2006; Romheld & Marschner, 1991). به عنوان مثال، مشخص

شده که عناصر روی و آهن برای آنزیم سوپر اکسید دسموتاز به عنوان کوفاکتور عمل کرده، فراهمی آنها میتواند در بهبود فعالیت این آنزیم و ممانعت از بروز خسارات تنش اکسیداتیو در گیاه موثر باشد (Alscher et al., 2002). یکی دیگر از مواردی که در تغذیه گیاهان و در بهبود خواص کمی و کیفی آنها موثر است، استفاده از کودهای آلی است. بهبود و تسریع جوانه زنی بذر، افزایش بازیافت فسفر نامحلول خاک، افزایش جمعیت میکروبهای مفید خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، بهبود رشد و ساختار ریشه، و افزایش مقاومت گیاه در برابر انواع تنشها، از جمله مزایای ترکیبات آلی محسوب می‌شوند (Waqas et al., 2014). بررسی مصرف سولفات آهن و کود دامی در زراعت گوجه فرنگی نشان داد که سولفات آهن و کود دامی باعث بهبود تغذیه آهن در گوجه-فرنگی شد (Zolfi & Norowzi, 2005). از جمله ترکیبات آلی، میتوان به ورمی-کمپوست اشاره کرد. کاربرد ورمیکمپوست در بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تاثیر بسزایی داشته و علاوه بر وزن مخصوص کم، فاقد میکروارگانیسمهای بیماری‌زا، باکتریهای غیرهوازی، قارچها و علفهای هرز میباشد. ورمیکمپوست علاوه بر قابلیت جذب آب بالا، شرایط مناسب جهت دانه بندی و نگهداری مواد غذایی مورد نیاز گیاهان را فراهم مینماید (Samavat et al., 2007). ورمیکمپوست حاوی عناصر غذایی بسیار غنی به ویژه نیتروژن بوده که بتدریج آنها را در اختیار گیاه قرار میدهد. این کود در مقایسه با

مناسب (نانو کود شیمیایی، نانو کود آلی و نانو کود بیولوژیک) میتواند نقش مهمی را در این زمینه ایفا کند. استفاده از این فناوری در تولید کود، سبب افزایش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش روند تخریب محیط زیست میگردد (Hiyasmin Rose *et al.*, 2015).

خوشپیک و همکاران (Khoshpeyk *et al.*, 2017) در بررسی تأثیر مصرف کود شیمیایی دارای نیتروژن و نانو کود دامی بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill) تأثیر چشمگیر و معیندار نانو کود دامی را گزارش کرده، عدم مصرف توأم نانو کود دامی با کود شیمیایی دارای نیتروژن و جایگزین کردن نانو کود دامی با کودهای شیمیایی دارای نیتروژن را توصیه نمودند.

در بررسی اثر مصرف کودهای آلی در زراعت گوجه فرنگی اثرات کودهای دارای نیتروژن و فسفر به همراه کودهای آلی کمپوست بطور معینداری باعث افزایش عملکرد محصول گوجه فرنگی شد (Noori Hoseiny & Khoogar, 2008) در تحقیقی دیگر، اثر محلول-پاشی آهن در مراحل مختلف رشدی برنج مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق، افزایش عملکرد و غلظت عناصر غذایی مختلف برنج در تیمار محلولپاشی آهن در مراحل اوایل پنجه زنی، اواخر ساقه رفتن و اواخر خوشه دهی گزارش گردید (Baghaie *et al.*, 2011). با توجه به عدم اطلاع کافی از کاربرد نانو ذرات در تغذیه گیاهان زراعی، در این پژوهش اثربخشی دو ترکیب اکسید آهن و اکسید روی در ابعاد نانو

سایر کودهای آلی دارای میزان عناصر اصلی غذایی بالاتری است بطوریکه علاوه بر عناصر پرمصرف که در فعالیتهای حیاتی گیاه نقش اساسی دارند، حاوی عناصر کم مصرف مانند آهن، مس، روی و منگنز میباشد. علاوه بر این با داشتن موادی مانند ویتامین B12 و اکسین عوامل محرک رشد گیاه را فراهم میآورد (Samavat *et al.*, 2007).

یکی دیگر از ترکیباتی که میتواند اثرات بسیار مثبتی بر رشد و نمو گیاهان داشته باشد اسیدهیومیک است. رشد قسمت هوایی و ریشه گیاه توسط اسیدهیومیک تحریک میشود ولی اثر آن بر روی ریشه بیشتر است بطوریکه حجم ریشه را افزایش داده و باعث اثربخشی سیستم ریشه میگردد. اسیدهیومیک جذب نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر را توسط گیاه بهبود میبخشد. این رفتار میتواند در خاکهای قلیایی و آهنکی که معمولاً کمبود آهن قابل-جذب و مواد آلی دارند بیشتر موثر باشد. مقادیر بسیار کم از اسیدهای آلی اثرات قابلملاحظه ای در بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک داشته، بدلیل وجود ترکیبات هورمونی، اثرات مفیدی در افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی دارند (Waqas *et al.*, 2014).

امروزه با استفاده از نانو ذرات عناصر غذایی، میتوان مدیریت تغذیه گیاهان را بهبود بخشید و علاوه بر آن میزان آلایندههایی همچون فلزات سنگین و بقایای سموم را به حداقل ممکن کاهش داد. فناوری نانو با تغییر و اثرگذاری در فرمولاسیون کودها و تولید موادی با ویژگیهای

بر افزایش کمی و کیفی محصول گوجه فرنگی و همچنین تاثیر ترکیبات آلی اسید هیومیک و ورمیکمپوست در افزایش قابلیت جذب این دو عنصر مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روشها

#### ۱- موقعیت اجرای طرح:

به منظور بررسی تاثیر کودهای آلی اسید- هیومیک و ورمیکمپوست و نانو ذرات آهن و روی بر خصوصیات کمی و کیفی گوجهفرنگی آزمایشی در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی طرق، واقع در پنج کیلومتری جنوب شرقی شهرستان مشهد انجام شد. این ایستگاه در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا قرار گرفته است. بر اساس اقلیم بندی آمبرژه، آب و هوای مشهد در طبقه خشک و سرد قرار دارد. میانگین بارنگی سالانه ایستگاه طرق ۲۵۴/۲ میلیمتر و متوسط دمای سالانه ۱۴/۵ درجه سانتیگراد میباشد.

#### ۲- عملیات اجرایی:

به منظور تعیین خصوصیات شیمیایی آب و خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک، یک نمونه آب و یک نمونه خاک مرکب از عمق ۰-۳۰ سانتیمتری محل اجرای طرح تهیه و در آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب مورد تجزیه قرار گرفت (جداول ۱ و ۲).

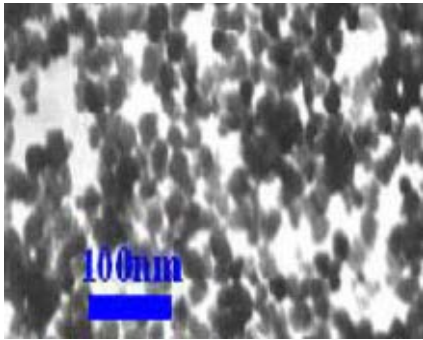
Table 2. Physical and chemical properties of soil at the experimental site

مس	روی	میکر	آهن	پتاس	فسفر	نیتروژن	رس	لای	شن	کربن آلی	آهک	هدایت الکتریکی	واکنش
Cu	Zn	Min	Fe	K	P	N	Clay	Silt	Sand	O.C	T.N.V	EC	pH
قسمت در میلیون													
1.76	0.98	8.10	3.46	197	9.6	0.028	22	51	27	0.32	18.8	0.94	8.0
ppm													
درصد													
%													
دسی زمینس بر متر													
dSm <sup>-1</sup>													

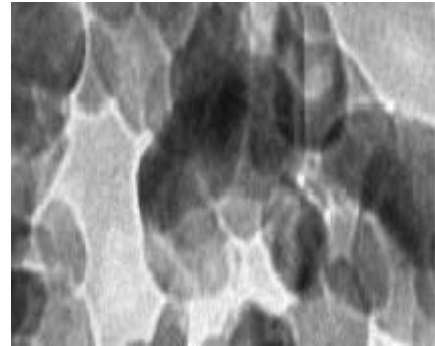
جدول ۱- خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در پژوهش

Table1. Chemical properties of water used in the research

اس ای آر	سدیم	منیزیم	کلسیم	سولفات	کلر	بیکربنات	کربنات	هدایت الکتریکی	واکنش
SAR	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	(SO4) <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	(HCO3) <sup>-</sup>	(CO3) <sup>2-</sup>	EC	pH
میلی اکی والان بر لیتر									
meq m <sup>-1</sup>									
1.7	3.2	3.8	2.8	2.9	3.2	3.7	0.0	1.05	7.2
دسی زمینس بر متر									
dSm <sup>-1</sup>									



شکل ۲-۱  
Figure1-2



شکل ۱-۱  
Figure1-1

شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی از نانو ذرات اکسید آهن (شکل ۱-۱) و نانو ذرات اکسید روی (شکل ۲-۱)

Figure 1. A scanning electron microscopy image of iron oxide (F.1-1) and zinc oxide (F.1-2) nanoparticles

بلوک ۱۰ متری تقسیم شد و فاصله بین تکرارها نیز ۲ متر تعیین گردید. در هر بلوک، ۱۲ کرت (جمعاً ۳۶ کرت) و در هر کرت، ۵ ردیف با فاصله ۱/۵ متر ایجاد شد. در هر کرت، دو ردیف کناره به عنوان حاشیه و سه ردیف وسط جهت نمونه برداری و اندازه گیری محصول در نظر گرفته شدند. تیمار ورمیکمپوست بر اساس ۵ تن در هکتار در کرت های مربوطه بطور یکنواخت با خاک مخلوط شد. بذور گوجه فرنگی رقم موبیل که اواخر سال ۹۴ در خزانه کشت شده بودند، دوم اردیبهشت ۹۵ در قالب نشاء به زمین اصلی منتقل و روی پشته ها با فاصله ۶۰ سانتیمتری کاشته شد. تیمار اسید هیومیک بر اساس ۵ کیلوگرم در هکتار در بطریهای ۱/۵ لیتری با آب مخلوط و پای بوته ها مصرف شد. نانو ذرات اکسید آهن و اکسید روی نیز پس از کاشت و زمانی که بوته ها استقرار پیدا کردند، بر اساس ۲/۶ کیلوگرم در هکتار به مقدار لازم برای هر ردیف توزین و در بطریهای ۱/۵ لیتری با آب بصورت سوسپانسیون در آمده و پای بوته ها مصرف شد. عملیات داشت از دوم

این پژوهش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار در سه تکرار انجام گردید عامل اول، ترکیبات-آلی در سه سطح صفر، ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست و ۵ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک، و عامل های دوم و سوم، نانو ذرات اکسید آهن و اکسید روی، هر کدام در دو سطح صفر و ۲/۶ کیلوگرم در هکتار بود. خصوصیات ذرات نانو مورد استفاده در این پژوهش که از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه گردید در جدول ۳ آمده است.

جهت انجام آزمایش، قطعه زمینی به مساحت ۴۰۰۰ مترمربع به ابعاد ۱۰۰ در ۴۰ متر در نظر گرفته شد. بعد از آماده سازی زمین کودهای N، P و K بر اساس آزمون خاک به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در سه نوبت (هر نوبت ۱۰۰ کیلوگرم)، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم بطور یکنواخت پخش شده و بوسیله دیسک با خاک مخلوط شدند. سپس، در زمین جوی پشته ایجاد گردید. عرض زمین به ۳

جدول ۳- خصوصیات نانو ذرات اکسید آهن و روی مورد استفاده در این آزمایش

Table 3. Characteristics of zinc and iron oxide nanoparticles used in the study

خصوصیات	نانوذرات اکسید آهن	نانوذرات اکسید روی
Properties	Iron oxide nanoparticles	Zinc oxide nanoparticles
خلوص(درصد)	98	99
Purity (%)		
اندازه ذرات(نانومتر)	20-40	10-30
Particle size(nm)		
سطح ویژه(متر مربع بر گرم)	40-60	20-60
Specific area(m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )		
رنگ	قرمز قهوه ای	سفید شیری
Color	Brown red	Milky with
فاز بلور	منفرد	منفرد
Crystalin phase	Single	Single
شکل بلور	کروی	تقریباً کروی
Crystalin form	Spherical	Almost Spherical

آب مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی منتقل گردید. نیتروژن به روش کجلدال (Bremner & Mulvaney, 1982) و آهن و روی به روش سوزاندن خشک نمونه های گیاه، هضم و عصاره گیری شدند. به این منظور ۲ گرم نمونه گیاه خشک شده توزین، در کروزه سیلیسی ریخته و در کوره قرار داده شد. درجه حرارت کوره را بتدریج و در مدت ۲ ساعت به ۵۵۰ درجه رسانده، ۸ ساعت در این حرارت نگه داشته شد. سپس کروزه ها را از کوره خارج کرده، ۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک ۲ مولار به آن اضافه کرده، آنها را در حمام آبی قرار داده، تا ۸۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شد. سپس محتویات کروزه از کاغذ واتمن شماره ۴۰ به داخل بالن ژوژه ۱۰۰ میلی لیتری صاف و با آب مقطر به حجم رسانده شد (Emami, 1996). غلظت آهن و روی نمونه ها بوسیله دستگاه

اردیبهشت ۹۵ به مدت شش ماه انجام گردید بدین ترتیب که وجین علفهای هرز بصورت دستی و سه مرتبه در طول دوره رشد انجام شد. جهت مبارزه با شته، یک مرتبه سمپاشی در زمان ۶۴ روز پس از کاشت با استفاده از دیازینون و با غلظت دو در هزار انجام شد. آبیاری با استفاده از لوله های تیپ بامدار ۵ روزه و کاملاً کنترل شده برای جلوگیری از روان آب انجام گردید. در طول دوره رشد، سه چین محصول در تاریخ- های ۳۰ خردادماه، ۱۲ مردادماه و ۲۸ شهریورماه برداشت شد. عملکرد محصول از هر کرت جداگانه و از سه ردیف وسط با حذف یک متر از بالا و پایین هر ردیف تعیین شد. قبل از برداشت چین دوم، یک نمونه برگ و همچنین یک نمونه ۰/۵ کیلوگرمی از محصول چین دوم به تفکیک از هر کرت تهیه و جهت تعیین غلظت عناصر غذایی به آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و

جذب اتمی اندازه گیری شدند. (Page *et al.*, 1982). داده های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار C-MSTAT مورد تجزیه آماری قرار گرفت ، مقایسه میانگین ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ صورت گرفت و برای

رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده ها (جدول ۴) نشان داد که اثر ساده ترکیبات آلی، اثر ساده نانو روی، اثر متقابل ترکیبات آلی و نانو روی و اثر

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمايش بر عملکرد و غلظت نیتروژن، آهن و روی برگ و میوه گوجه فرنگی

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد	نیتروژن برگ	نیتروژن میوه	آهن برگ	آهن میوه	روی برگ	روی میوه
Source of Variation	df	Yield	Leaf N concentration	Fruit N concentration	Leaf Fe concentration	Fruit Fe concentration	Leaf Zn concentration	Fruit Zn concentration
Mean squares								
تکرار Replication	2	150.47246 <sup>ns</sup>	0.128 <sup>ns</sup>	0.144 <sup>ns</sup>	1140.194 <sup>ns</sup>	2.3126 <sup>ns</sup>	2.778 <sup>ns</sup>	0.750 <sup>ns</sup>
ترکیبات آلی Organic compounds	2	1185.16450 <sup>*</sup>	0.158 <sup>ns</sup>	0.162 <sup>ns</sup>	18276.028 <sup>**</sup>	267.250 <sup>*</sup>	0.861 <sup>ns</sup>	21.333 <sup>**</sup>
Nano-Fe	1	467.18093 <sup>*</sup>	0.063 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	86926.694 <sup>**</sup>	1877.778 <sup>**</sup>	1.778 <sup>ns</sup>	14.694 <sup>**</sup>
Nano-Zn	1	4136.31506 <sup>**</sup>	0.015 <sup>ns</sup>	1.287 <sup>**</sup>	3192.250 <sup>*</sup>	256.0 <sup>*</sup>	312.111 <sup>**</sup>	220.028 <sup>**</sup>
ترکیبات آلی × نانو آهن OM × Nano-Fe	2	78.3518 <sup>ns</sup>	0.060 <sup>ns</sup>	0.433 <sup>ns</sup>	4979.194 <sup>**</sup>	128.583 <sup>**</sup>	3.694 <sup>ns</sup>	6.778 <sup>*</sup>
ترکیبات آلی × نانو روی OM × Nano-Zn	2	1046.39597 <sup>**</sup>	0.281 <sup>ns</sup>	0.515 <sup>*</sup>	2587.583 <sup>ns</sup>	128.583 <sup>**</sup>	5.361 <sup>ns</sup>	18.778 <sup>**</sup>
نانو آهن × نانو روی Nano-Fe × Nano-Zn	1	2233.15564 <sup>**</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.460 <sup>*</sup>	6534.0280 <sup>*</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	13.444 <sup>ns</sup>	72.250 <sup>**</sup>
ترکیبات آلی × نانو آهن × نانو روی OM × Nano-Fe × Nano-Zn	2	46.50841 <sup>ns</sup>	0.041 <sup>ns</sup>	0.097 <sup>ns</sup>	10655.194 <sup>**</sup>	274.583 <sup>**</sup>	22.528 <sup>ns</sup>	7.000 <sup>*</sup>
خطا Error	22	64.30	0.094	0.102	4589.99	70.89	6.99	3.80
CV(%)	9.5	6.35	13.21	5.90	4.45	9.75	4.66	

ns: non-significant      \*: significant in 5% level      \*\*: significant in 1% level

در تیمار مصرف نانو اکسید روی بدون ترکیبات آلی (۳/۳۶) حاصل شد که با تیمار مصرف توام اسید هیومیک و نانو اکسید روی در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۵). روی از جمله عناصر کم مصرفی است که در متابولیسم یا سوخت و ساز نیتروژن موثر می باشد، لذا مصرف نانو اکسید روی باعث تامین روی مورد نیاز برای متابولیسم نیتروژن در گیاه شده و از برگ به عنوان منبع به میوه گوجه فرنگی به عنوان ذخیره گاه منتقل شده است (Price, 1972). چنانچه میزان روی برای گیاه به اندازه کافی تامین شود، متابولیت های گیاه افزایش یافته در اندام های ذخیره ای تجمع میابند و از افزایش غلظت عناصری مانند نیتروژن در برگ جلوگیری می شود (Marshener, 1995). به نظر می رسد که مصرف ترکیبات آلی همچون اسید هیومیک همزمان با مصرف نانو اکسید روی توانسته شرایط مناسبی را برای جذب بهتر نیتروژن بوسیله گیاه فراهم نماید. ملکوتی و همکاران (Malakouti

متقابل نانو آهن و نانو روی، بر عملکرد میوه در سطح یک در صد و اثر ساده نانو آهن، در سطح پنج درصد معنی دار شد. کاربرد نانو اکسید روی بر غلظت نیتروژن میوه در سطح یک درصد و اثرات متقابل ترکیبات آلی و نانو روی و نیز نانو روی و نانو آهن در سطح ۵ درصد معنی دار شد. اثر ترکیبات آلی، نانو آهن، ترکیبات آلی و نانو آهن، ترکیبات آلی و نانو آهن و نانو روی، بر غلظت آهن برگ در سطح یک درصد و نانو روی، نانو آهن و نانو روی در سطح پنج درصد معنی دار شد. همه تیمارها بجز اثر متقابل نانو آهن و نانو روی، بر آهن میوه در سطح یک درصد معنی دار شدند. اثر ساده نانو اکسید روی، بر مقدار روی برگ در سطح یک درصد و همه تیمارهای آزمایشی بر درصد روی میوه در سطح یک درصد معنی دار شدند.

بیشترین درصد نیتروژن برگ از تیمار ورمی کمپوست (۵/۹) و کمترین آن از تیمار شاهد (۴/۵۶) حاصل شد. بیشترین درصد نیتروژن میوه

جدول ۵- اثر متقابل ترکیبات آلی و نانو اکسید روی بر عملکرد و غلظت نیتروژن برگ و میوه گوجه فرنگی

Table 5. Interactive effect of organic compounds and Zn-oxide nanoparticles on yield and N concentration of leaf and fruit of tomato

ترکیبات آلی Organic compounds	نانو اکسید روی (کیلوگرم در هکتار) Zn-oxide nano (kg.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد (تن در هکتار) Yield (ton.ha <sup>-1</sup> )	نیتروژن برگ (%) Leaf N (%)	نیتروژن میوه (%) Fruit N (%)
اسید هیومیک (۵ کیلوگرم در هکتار) Humic acid (5 kg.ha <sup>-1</sup> )	0	115.02 <sup>a</sup>	4.86 <sup>ab</sup>	2.63 <sup>c</sup>
	2.6	116.45 <sup>a</sup>	4.79 <sup>ab</sup>	3.22 <sup>ab</sup>
ورمی کمپوست (۵ تن در هکتار) Vermicompost (5 ton.ha <sup>-1</sup> )	0	100.45 <sup>b</sup>	5.90 <sup>a</sup>	2.86 <sup>bc</sup>
	2.6	115.25 <sup>a</sup>	4.76 <sup>ab</sup>	2.76 <sup>bc</sup>
عدم مصرف No consumption	0	88.45 <sup>c</sup>	4.56 <sup>b</sup>	2.72 <sup>bc</sup>
	2.6	116.20 <sup>a</sup>	4.84 <sup>ab</sup>	3.36 <sup>a</sup>

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی داری به روش دانکن در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Means with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level using Duncan 's method



کمبود روی، کاهش زیاد RNA و مقدار ریبوزم سلولها است که منجر به جلوگیری از تشکیل پروتئین میشود (Price et al., 1972).

نتایج مقایسه میانگین ها همچنین نشان داد که بیشترین عملکرد میوه گوجه فرنگی از تیمار مصرف توام اسید هیومیک و نانو اکسید روی (۱۱۶/۴۵ تن در هکتار) حاصل شد که نسبت به شاهد (۸۸/۴۵ تن در هکتار) افزایش معنی داری داشت (جدول ۵).

جیونگ و همکاران (Jyung et al., 1975) گزارش کردند که روی نقش قابل قبولی در تشکیل نشاسته دارد. این عنصر همچنین برای ساخته شدن تریپتوفان لازم است. تریپتوفان ماده اولیه در ساخت اسید ایندول استیک است بنابراین ساخته شدن این ماده رشدی بطور غیر مستقیم تحت تاثیر روی خواهد که به نوبه خود باعث افزایش عملکرد میشود. اسید هیومیک باعث بهبود جذب عناصر غذایی از محیط ریشه شده و در نهایت منجر به افزایش عملکرد گیاه میگردد.

(et al., 2005) اعلام نمودند در مرحله تشکیل میوه در گوجه فرنگی، میوه ها به عنوان مصرف کننده مواد تولید شده در برگها عمل نموده و چون قدرت جذب بالایی دارند، مواد مصرفی از جمله نیتروژن را از منبع (برگها) به طرف خود جذب کرده و احیا مینمایند. به نظر می رسد که وجود روی برای بالا بردن میزان احیای نیتروژن امری ضروری میباشد. لذا مصرف توأم یک منبع نیتروژن مانند اسید هیومیک و یک منبع مناسب روی مانند نانو اکسید روی میتواند ظرفیت جذب و احیای نیتروژن را تا حد زیادی بالا برده، باعث افزایش معنی دار نیتروژن در میوه گوجه فرنگی شود (Price et al., 1972). روی به عنوان یک عنصر کم مصرف نقشهای زیادی در متابولیسم گیاهی دارد. در چند دهه اخیر علاوه بر آنزیم کربونیک انیدراز، آنزیم های دیگری نیز شناخته شده اند که برای فعال شدن به روی نیاز دارند. از جمله این آنزیم ها می توان برخی دهیدروژنازها، پروتئینازها و پپتیدها را نام برد. (Vallee et al., 1970) عنصر روی در متابولیسم نیتروژن در گیاه مشارکت دارد. اولین نتیجه

جدول ۶- اثر متقابل نانو اکسید آهن و نانو اکسید روی بر عملکرد و غلظت نیتروژن میوه گوجه فرنگی

Table 6. Interactive effect of Fe-oxide nanoparticles and Zn-oxide nanoparticles on yield and fruit N concentration of tomato

نانو اکسید آهن (کیلو گرم در هکتار) Fe-oxide nano (kg.ha-1)	نانو اکسید روی (کیلو گرم در هکتار) Zn-oxide nano (kg.ha-1)	عملکرد (تن در هکتار) Yield (ton.ha <sup>-1</sup> )	نیتروژن میوه (%) Fruit N (%)
0	0	92.12 <sup>c</sup>	2.88 <sup>ab</sup>
	2.6	118.40 <sup>a</sup>	2.99 <sup>ab</sup>
2.6	0	108.33 <sup>b</sup>	2.60 <sup>b</sup>
	2.6	112.35 <sup>b</sup>	3.44 <sup>a</sup>

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی داری به روش دانکن در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Means with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level using Duncan 's method

حالت میزان نیتروژن میوه که ماده اصلی سنتز پروتئین است نیز کاهش می یابد، لذا کاهش نیتروژن میوه در تیمار عدم مصرف روی (حتی در زمان مصرف آهن) می تواند مرتبط با این نقش عنصر روی باشد.

نتایج مقایسه میانگین ها (جدول ۶) نشان داد که بیشترین عملکرد میوه از تیمار مصرف نانو روی (۱۱۸/۴۰ تن در هکتار) حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد (۹۲/۱۲ تن در هکتار) افزایش معناداری داشت. نتایج مشابهی از تاثیر روی در افزایش عملکرد گیاهان توسط محققان متعددی گزارش شده است (Malakuti *et al.*, 2005)

مقایسه میانگین ها در این اثر متقابل نشان داد که بیشترین غلظت آهن برگ در تیمار مصرف ترکیبات آلی (اعم از اسید هیومیک یا ورمیکمپوست) و نانو آهن (۵۶۱/۷۰ و ۵۵۷/۰۰) و کمترین آن در تیمار شاهد (۳۸۳/۲۰) بود. بیشترین غلظت آهن میوه نیز در تیمار مصرف ورمیکمپوست و نانو آهن (۷۰/۳۳) و کمترین آن در تیمار شاهد (۴۳/۸۳) مشاهده شد. (جدول ۷) اثر ترکیبات آلی بر فراهمی و افزایش قابلیت

نتایج مقایسه میانگین ها (جدول ۶) نشان داد که بیشترین مقدار نیتروژن میوه از تیمار مصرف توام نانو اکسید آهن و روی (۳/۴۴ درصد) حاصل شد. مقدار نیتروژن میوه پس از مصرف نانو اکسید آهن کمتر از تیماری است که آهن مصرف نشده است (۲/۶۰ نسبت به ۲/۸۸). این نتایج با گزارشات سایر محققان مطابقت دارد. خولدبرین و اسلام زاده & Kholdebarin (Esslamzadeh)

(۲۰۰۱) ضمن بررسی اثر مصرف آهن بر میزان کلرفیل برگهای گوجه فرنگی اعلام کردند که مصرف آهن باعث افزایش معنیدار کلرفیل شده، در این صورت میزان بیشتری از نیتروژن صرف تشکیل کلروفیل گردیده و مقدار کمتری از آن به میوه منتقل میشود. از طرفی، افزایش کلروفیل برگ میتواند باعث افزایش عملکرد میوه گوجه فرنگی شده، بدلیل اثر رقت، غلظت نیتروژن میوه کاهش میابد. خولد برین و اسلام زاده & Esslamzadeh (2001) ضمن حیاتی دانستن نقش روی در سنتز پروتئین، کاهش شدید پروتئین گیاهی را در شرایط کمبود روی گزارش نمودند. در این

جدول ۷- اثر متقابل ترکیبات آلی و نانو اکسید آهن بر غلظت آهن برگ و میوه گوجه فرنگی

Table 7. Interactive effect of organic compounds and Fe-oxide nanoparticles on Fe concentration in leaf and fruit of tomato

ترکیبات آلی Organic compounds	نانو اکسید آهن (کیلو گرم در هکتار) Fe-oxide nano (kg.ha <sup>-1</sup> )	آهن برگ (میلی گرم در کیلوگرم) Leaf Fe (mg.kg <sup>-1</sup> )	آهن میوه (میلی گرم در کیلوگرم) Fruit Fe (mg.kg <sup>-1</sup> )
اسید هیومیک (۵ کیلو گرم در هکتار)	0	495.80b <sup>c</sup>	53.17 <sup>c</sup>
Humic acid ( 5 kg.ha <sup>-1</sup> )	2.6	561.70 <sup>a</sup>	62.00 <sup>c</sup>
ورمیکمپوست (۵ تن در هکتار)	0	472.00 <sup>c</sup>	57.33 <sup>d</sup>
Vermicompost (5 ton.ha <sup>-1</sup> )	2.6	557.00 <sup>a</sup>	70.33 <sup>a</sup>
عدم مصرف	0	383.20 <sup>d</sup>	43.83 <sup>f</sup>
No consumption	2.6	527.20 <sup>ab</sup>	65.33 <sup>b</sup>

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معناداری به روش دانکن در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Means with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level using Duncan 's method

جذب عناصر کممصرف بویژه آهن توسط محققین زیادی گزارش شده است. ترکیبات آلی با بهبود شرایط شیمیایی خاک

از طریق تولید اسیدهای آلی و همچنین تولید مواد کلات کننده و تسهیل تحرک آهن در خاک، منجر به افزایش جذب آهن در گیاه می-

جدول ۸- اثر متقابل ترکیبات آلی و نانو اکسید آهن و نانو اکسید روی، بر عملکرد و غلظت آهن و روی برگ و میوه گوجه فرنگی  
Table 8. Interactive effect of organic compounds and Fe-oxide nanoparticles and Zn-oxide nanoparticles on yield and Fe and Zn concentration in leaf and fruit of tomato

ترکیبات آلی Organic compounds	نانو اکسید آهن (کیلوگرم در هکتار) Fe-oxide nano (kg ha <sup>-1</sup> )	نانو اکسید روی (کیلوگرم در هکتار) Zn-oxide nano (kg ha <sup>-1</sup> )	عملکرد (تن در هکتار) Yield (ton ha <sup>-1</sup> )	آهن برگ (میلی گرم در کیلوگرم) Leaf Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	آهن میوه (میلی گرم در کیلوگرم) Fruit Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	روی برگ (میلی گرم در کیلوگرم) Leaf Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	روی میوه (میلی گرم در کیلوگرم) Fruit Zn (mg kg <sup>-1</sup> )
اسید هیومیک (۵ کیلوگرم در هکتار) Humic acid (5 kg ha <sup>-1</sup> )	0	2.6	107.83 <sup>a</sup>	495.70 <sup>b</sup>	55.00 <sup>c</sup>	28.67 <sup>abc</sup>	27.67 <sup>a</sup>
ورمی کمپوست (۵ تن در هکتار) Vermicompost (5 ton ha <sup>-1</sup> )	0	2.6	98 <sup>a</sup>	544.30 <sup>ab</sup>	60.00 <sup>d</sup>	24.33 <sup>cd</sup>	22.67 <sup>b</sup>
عدم مصرف	0	2.6	96 <sup>a</sup>	579.00 <sup>a</sup>	64.00 <sup>bcd</sup>	29.67 <sup>ab</sup>	26.00 <sup>a</sup>
No consumption	2.6	0	71 <sup>cd</sup>	475.00 <sup>c</sup>	62.00 <sup>cd</sup>	24.00 <sup>cd</sup>	22.67 <sup>b</sup>
	2.6	2.6	106 <sup>d</sup>	469.00 <sup>c</sup>	52.67 <sup>e</sup>	31.33 <sup>a</sup>	27.67 <sup>a</sup>
	0	0	96 <sup>a</sup>	563.70 <sup>a</sup>	66.00 <sup>bc</sup>	23.67 <sup>cd</sup>	26.33 <sup>a</sup>
	2.6	2.6	105 <sup>a</sup>	550.30 <sup>ab</sup>	74.67 <sup>a</sup>	30.67 <sup>a</sup>	26.33 <sup>a</sup>
	0	0	61.67 <sup>d</sup>	311.30 <sup>d</sup>	33.00 <sup>f</sup>	21.00 <sup>d</sup>	15.67 <sup>e</sup>
	2.6	2.6	97 <sup>a</sup>	455.00 <sup>c</sup>	54.67 <sup>e</sup>	31.33 <sup>a</sup>	27.67 <sup>a</sup>
	0	0	82 <sup>b</sup>	550.00 <sup>ab</sup>	63.67 <sup>bcd</sup>	27.00 <sup>abc</sup>	23.00 <sup>b</sup>
	2.6	2.6	100 <sup>a</sup>	504.30 <sup>bc</sup>	67.00 <sup>b</sup>	28.67 <sup>abc</sup>	26.00 <sup>a</sup>

Means with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level using Duncan's method

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی داری به روش دانکن در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند.

در این شرایط توصیه می شود که از ترکیبات آلی (بشکل اسید هیومیک یا ورمیکمپوست) استفاده شود چرا که این ترکیبات با تاثیر مثبت بر قابلیت جذب عناصر کم مصرف بویژه روی و آهن باعث افزایش عملکرد گیاهان خواهند شد. در عین حال مصرف شکل قابل جذب عنصر غذایی که در محیط خاک پایدار باشد و بتواند به خوبی جذب گیاه شده و نیاز آن را برطرف نماید نیز میتواند عملکرد را افزایش دهد. مصرف نانواکسید روی و آهن به همین دلیل که قابلیت جذب بالایی دارند، به تنهایی توانستند منجر به افزایش عملکرد گیاه گوجه-فرنگی شوند.

بیشترین جذب آهن در برگ و میوه در تیمارهای مصرف توام ترکیبات آلی و نانو اکسید آهن و نانو اکسید روی (۵۷۹/۰۰ در برگ و ۵۴/۶۷ در میوه) و بیشترین جذب روی در برگ و میوه در تیمارهای مصرف توام ترکیبات آلی و نانو اکسید روی (۳۱/۳۳ در برگ و ۲۷/۶۷ در میوه) مشاهده شد (جدول ۸). با توجه به شرایط اقلیمی و خاکی هنگامیکه شرایط خاک در اثر افزایش ترکیبات آلی بهبود پیدا کند و عناصر کم مصرف به فرم قابل جذب استفاده شوند باید انتظار داشت که اثرات متقابل آنها به افزایش جذب عناصر غذایی بویژه عناصر کم مصرف که قابلیت جذب کمتری در خاک دارند منجر شود.

نتایج نشان داد که جذب آهن تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی به خوبی افزایش یافته که این نتایج با نتایج محققان دیگر مطابقت دارد ( Hong *et al.*, 2015; Khater, 2015; )

گردد (Marcote *et al.*, 2001; Mobarki *et al.*, 2008). جذب آهن بوسیله گیاه در خاک های مناطق خشک به دلیل بالا بودن آهک و pH خاک یک مسئله چالش بر انگیز است و کود مصرفی در این مناطق باید در طول دوره رشد گیاه، قابلیت جذب بالایی داشته باشد تا کارایی آن بالا باشد. به نظر میرسد نانواکسید آهن بکار رفته در این آزمایش دارای کارایی جذب مناسبی بوده است که باعث بالا رفتن معنی دار غلظت آهن در برگ و به طبع آن میوه گوجه فرنگی شده است. بارقی و همکاران (Barghi *et al.*, 2014) در مورد سیب زمینی و بقایای و ملکوتی (Baghai & Malki 2013) در مورد زعفران نتایج مشابهی را گزارش کردند.

جدول ۸ نشان می دهد که در کلیه تیمارهای آزمایشی عملکرد میوه نسبت به شاهد افزایش یافت.. بیشترین افزایش مربوط به تیمار مصرف توام اسید هیومیک و نانواکسید روی بود که به ۱۰۷/۸۳ تن در هکتار رسید و نسبت به تیمار شاهد (۶۱/۶۷ تن در هکتار) عملکرد میوه را قریب ۷۵٪ افزایش داد. بعد از آن، کلیه تیمارهایی که در آنها نانواکسید روی همراه با یک ترکیب آلی مصرف شد ( مثلا نانو اکسید روی و ورمی کمپوست یا نانو اکسید روی و نانو اکسید آهن و ورمی کمپوست ) با تیمار مصرف توام اسید هیومیک و نانو اکسید روی در یک سطح آماری قرار گرفت. با توجه به شرایط شیمیایی خاکهای منطقه، قابلیت جذب عناصر کم مصرف مانند روی بشدت محدود میباشد و منجر به کاهش عملکرد گیاهان زراعی می شود (Malakuti *et al.*, 2005).

(Lin&Xing,2008).

در اثر تیمارهای مختلف اگر چه به طور معنی - داری افزایش نیافت، اما علایم کمبود این عنصر نیز در برگ مشاهده نشد که می تواند حاکی از جذب کافی روی در برگ باشد. افزایش غلظت روی در میوه نشان داد که برگ توانسته روی جذب شده بوسیله ریشه را به میوه منتقل نماید تا در فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه مشارکت نماید. هرناندز و همکاران ( Hernandez *et al.*, 2011) با بررسی اثرات نانو اکسید روی در شرایط آبکشت نشان داد که گیاهان روی را از نانو ذرات روی جذب کرده و موجب افزایش فعالیت آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز میشوند. زائو و همکاران (Zhao *et al.*, 2014) گزارش کردند که کاربرد نانو اکسید روی در خاک باعث افزایش مقدار نشاسته، گلوتن و روی در میوه خیار شد اما بر غلظت روی برگ تاثیری نداشت. اثر ساده نانو اکسید روی، بر مقدار روی برگ و میوه در سطح یک درصد معنی - دار شد که خود حاکی از قابل جذب بودن روی به شکل نانو ذرات از خاک میباشد. این نتایج با یافته های دیگر محققان مطابقت دارد (Abdollahi *et al.*, 2018).

### نتیجه گیری :

نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف ترکیبات آلی توام با نانو اکسید روی شرایط مناسبی را برای جذب بهتر نیتروژن بوسیله گیاه گوجه فرنگی فراهم نمود. همچنین نانو اکسید آهن منبع کودی مناسبی برای تامین نیاز این گیاه به آهن می باشد. استفاده از نانو اکسید روی توانست نیاز گیاه به این عنصر غذایی را در طول فصل رشد تامین کند و باعث افزایش

فراهمی و قابلیت جذب روی نیز همانند آهن در بهبود رشد گیاه موثر است. کاربرد نانو اکسید روی به دلیل بهبود قابلیت جذب روی بوسیله گیاه باعث کمک به جذب سایر عناصر غذایی مانند آهن توسط گیاه می شود و به همین دلیل باعث افزایش غلظت آهن در برگ و میوه شده است. جوادی مقدم و همکاران (Javadimoghdam *et al.*, 2005) نتایج مشابهی را در گیاه خیار گزارش نمودند.

در خصوص عملکرد، باید دانست که فعالیت های متابولیکی گیاه در طول دوره رشد، با تولید محصول اقتصادی همبستگی مستقیم دارد. استفاده از ماده آلی به هردو شکل آن (اسید هیومیک یا ورمی کمپوست) باعث بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی ریشه و در نتیجه جذب بهتر عناصر غذایی می شود. همانطور که جدول ۸ نشان می دهد مصرف اسید هومیک یا ورمی کمپوست همراه با نانو اکسید روی و همچنین مصرف توام نانو اکسید آهن و روی باعث افزایش عملکرد میوه گوجه فرنگی نسبت به شاهد شد که این امر به دلیل افزایش فراهمی و جذب عناصر غذایی مختلف بویژه روی برای گیاه می باشد. نتایج بدست آمده با نتایج تحقیقات سایر محققان مطابقت میکند (Mengel & Kirkby, 1978).

نتایج این تحقیق نشان داد که هیچیک از تیمارها (بجز تیمار نانو روی) افزایش معنی داری در غلظت روی در برگ نداشت ولی همه تیمارها باعث افزایش معنی دار غلظت روی در میوه شدند (جدول ۴). غلظت روی در برگ

عملکرد آن شود. علاوه بر این، مصرف ترکیبات آلی بخصوص اسید هیومیک همراه با نانو اکسید روی، در افزایش عملکرد گیاه گوجه فرنگی موثر بود بطوریکه در این آزمایش عملکرد میوه را تا ۷۴ درصد افزایش داد.

## References

- Abdollahi, A., Norouzi Masir, M., Taghavi zahedkolaei, M., and Moezzi, A. 2018. The effectiveness of synthesized ZnO nanoparticles on Zn uptake and some growth indices of wheat. *Soil management and sustainable production journal*, 8(1), 125-141 (In Persian with English Summary).
- Alloway, B.J. 2004. *Zinc in Soils and Crop Nutrition*. International Zinc Association. Publications Brussels, Belgium.
- Baghaie, M. and Maleki Farahani, S. 2013. Evaluation of comparison of iron chelate with iron nanoparticles on the yield and photosynthetic material allocation in Saffron. *Saffron Research Journal*, 2: 156-169 (In Persian with English Summary).
- Baghaie, N., Keshavarz, N. and Nazaran, M.H. 2011. Effect of nano iron chelate fertilizer on yield and yield components of rice (*Shiroudi cultivar*). The First National Conference on Modern Topics in Agriculture. Islamic Azad University of Saveh, p. 1-10 (In Persian with English Summary).
- Barghi, A., Gholipour, A., Tobe, A., Jahanbakhsh, S., and Jamaati, S.H. 2014. Investigation the effect of nano Fe oxide spraying on nutrient absorption in potato tuber. *Plant Echo Physiology Journal*, 16: 1-12 (In Persian with English Summary).
- Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S. 1982. *Nitrogen-Total*. PP: 591-622, In: A.L. Page ed, *Methods of soil analysis, part 2*. American Society of Agronomy Madison, Wisconsin.
- Emami, A. 1996. *Methods of plant analysis. Part 1. Technical publication*. Soil and Water Research Institute, Tehran. Iran (In Persian).
- Hernandez, V.J.A., Castillo-Michel, H., Servin, A.D., Peralta Vide, J.R., and Gardea torresdey, J.L. 2011. Spectroscopic verification of zinc absorption and distribution in the desert plant *Prosopis juliflora-velutina* treated with ZnO nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 170(1-3), 346-352.
- Hiyasmin Rose, L., Benzon, M., Rosnah, U., Rubenecia, V.U., Litra, J.R., and Sang Chul, L. 2015. Nano fertilizer affects on the growth, development, and chemical properties of rice. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 7(1), 105-117.
- Hong, G., Wang, L., Sun, Y., Zhao, L., Niu, G., Tan, W., Rico, C.M., Peralta-Videa, J.R., and Gardea-Torresdey, J.L. 2016. Foliar applied nano scale and micro scale CeO<sub>2</sub> and CuO alter cucumber fruit quality. *Science of Total Environment*, 1: 563-564.
- Javadi Moghadam, A., Moghadam. A.L., and Danaee, E. 2015. Response of

- growth and yield of cucumber plants to different foliar applications of Nano Iron-Zinc. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 9(9), 1435-1477.
- Jyung, W.H., Ehmann, A., Schlender, K.K., and Scal, A.J. 1975. Zinc nutrition and starch metabolism in *phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiology*, 55: 414-420.
- Khater, M.S. 2015. Magnetite-nano particles effects on growth and essential oil of peppermint. *Current Science International*, 4(2), 2077-4435.
- Kholdebarin, B., Esslamzadeh, T. 2001. Mineral nutrition of higher plants. (Translat), Shiraz University press. Shiraz
- Khoshpeyk, S., Sadrabadi Haghighi, R., and Ahmadian, A. 2017. The effect of application of nitrogen fertilizer and nano-organic manure on yield, yield Components and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(4), 775-787 (In Persian with English Summary).
- Lin, D. and Xing, B. 2008. Root uptake and phyto toxicity of ZnO nano particles. *Environmental Science and Technology*, 42(15), 5580-5585.
- Malakuti, M.J., Nouri, N., Samavat, S., and Basirat, M. 2005. The causes of nitrate accumulation in vegetables (cucumber and tomato) and ways to control it. *Technical Journal of Water and Soil Research Institute*, 414: 1-23 (In Persian with English Summary).
- Marcote, I., Hernandez, T., Garcia, C., and Polo. A. 2001. Influence of one or two successive annual application of organic fertilizers on the enzyme activity of a soil under barley cultivation. *Bio resource Technology*, 79: 147-154.
- Marshener, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. 2<sup>nd</sup> ed., Academic press, London, England.
- Mobarki, S., Labidi, N., Mahmoudi, H., Jadidi, N., and Abdelly, C. 2008. Contrasting effects of municipal compost on alfalfa growth in clay and in sandy soils: N, P, K content and heavy metal toxicity. *Bio Resource Technology*, 99(15), 6745-6750.
- Noorihoseiny, M. and Khoogar, Z. 2008. Investigaton the effects of organic fertilizer application in tomato cultivation. First congress on tomato production and prossesing p.125-126. Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
- Price, C.A., Clark. H.E., and Funkhouser, H.E. 1972. Functions of micronutrients in Plants: Micronutrients in Agriculture. Soil Science Society of America, Madison/Wisconsin. P. 731-742.



- Romheld, V., and Marschner, H. 1991. *Function of micronutrients in plants*. In: Mortvedt, J.J. Cox, F.R. Shuman, L.M. Welch, R.M. (Eds.), *Micronutrients in Agriculture*. Soil Science Society of America, Book Series No. 4: Madison, USA. p. 297-328.
- Report of crops statistics. 2016. Agriculture ministry of Iran. Department of programming and economic. Information and communication technology center (In Persian).
- Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. *Methods of Soil Analysis: Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy Series No 9. American Society of Agronomy Madison, WI.
- Samavat, S., Lakzian, A., and Zamirpour, A. 2007. Effect of vermicompost on some growth indices of tomato. *Agriculture Science and Industries Journal*, 15(2), 83-89 (In Persian with English Summary).
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*. Sinauer Associates. Inc. Publishers.
- Tsui, C. 1948. The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plant. *American Journal of Botany*, 35: 172-179.
- Vallee, B.L. and Wacker, W.E.C. 1970. *Metalloprotein, the Proteins (2<sup>nd</sup> ed.)*. Academic press, New York, p. 192
- Waqas, M., Ahmad, B., Arif, M., Munsif, F., Khan, A.L., Amin, M., Kang, S.M., Kim, Y.H., and Lee, I.J. 2014. Evaluation of humic acid application methods for yield and yield components of mungbean. *American Journal of Plant Sciences*, 5: 2269-2276.
- Zhao, L., Peralta-vidua, J.R., Ricod, C.M., Hernandez, V.J.A., Sun, Y., Niu, G., Servin, A., Nunez, J.E., Duarte Gardea, M., and Gardea Torresdey, J.L. 2014. CeO<sub>2</sub> and ZnO nano particles change the nutritional qualities of cucumber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62: 2752-2755.
- Zolfi, B., and Norowzi, M. 2005. Effect of iron sulphate and manure on the improvement of tomato nutrition. The 9<sup>th</sup> Iranian soil science congress. Tehran, Iran (In Persian with English Summary).
- Zomorodi, M. 2010. *The effects of seed priming and artificial ageing on germination and vigour of tomato cultivars*. MSc Thesis. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad. Iran (In Persian with English Summary).

## **Effect of Zinc and Iron nano particles and organic fertilizers on quality and quantity yields of tomato (*Solanum lycopersicum*)**

Saeid Javaheri<sup>1</sup>, Ali Reza Astarai<sup>\*2</sup>, Reza Khorassani<sup>3</sup>, Hamidreza Zabihi<sup>4</sup>, Hojat Emami<sup>5</sup>

1. PhD student of Soil Science of Ferdowsi University of Mashhad.
2. Associate Professor of Soil Science - Department of Soil Science- Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. . (Corresponding author)
3. Associate Professor of Soil Science, Department of Soil Science- Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.
4. researcher of Soil and Water Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources, Research and Education Centre, Agricultural Research, Education and Extension Organization(AREEO), Mashhad.
5. Associate Professor of Soil Science, Department of Soil Science- Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

Received: August 2017 Accepted: June 2019 - DOI:10.22092/aj.2019.114953.1178

### **Extended Abstract**

**Javaheri, S., Astarai, A. R., Khorassani, R., Zabihi, H., Emami, H.,** Effect of Zinc and Iron nano particles and organic fertilizers on quality and quantity yields of tomato (*Solanum lycopersicum*)  
**Applied Research in Field Crops Vol 32, No. 4, 2020 Page:4-06:** 16-32(in Persian)

### **Introduction:**

Nanoparticles are tiny materials smaller than 100 nm (Hong *et al.*, 2015). The study and application of nanoparticles have rapidly grown in the last few years. Applications for nanoparticles are found in a wide variety of disciplines, including medicine biology, electronic and agriculture (Zolfi & Norowzi, 2005). Application of nanoparticles as a fertilizer is a new area of interest, while application of vermicompost and acid humic has now become a source for plant nutrition. Vermicompost (VC) and acid humic improve soil physical and chemical properties (Samavat *et al.*, 2007). Vermicompost as the product of an accelerated biooxidation of organic matter by the use of high densities of earthworm populations without for peat passing a thermophilic stage has early been suggested as a substitute of in substrates. Iron concentration of the soil solution for a balanced growth plants is estimated to be about  $10^{-8}$  M (Marschner, 1995). Humic acid (HA) is a heterogeneous mixture of many compounds, a mixture of weak aliphatic and aromatic organic acids, which are not soluble in water under acid conditions but are soluble in water under alkaline conditions. The aim of this experiment was to determine the effects of organic materials (humic acid and vermicompost) and iron and zinc nano-oxide particles on growth and yield of tomato.

---

**Email address of the corresponding author: alirezaastarai@yahoo.com**

**Materials and Methods:**

A Field experiment was conducted at Torough Agricultural research station in Mashhad. The experiment was laid out in a randomized complete block design in a factorial arrangement with three replications. The first factor was organic fertilizer at 3 levels (5 ton/ha of vermicompost, 5 kg/ha of humic acid, 5 kg/ha and a control without application), the second factor was the application of zinc nanoparticles at 2 levels (1 kg/ha of nano zincoxid and no application), and the third factor was the application of Fe nanoparticles at 2 levels (1kg/ha of nano feoxid and no application). Tomato seedlings were planted on May 22<sup>th</sup> in plots and the fertilizers were applied according to the soil test results. The yield of tomato fruit was determined at the three harvest times and tomato leaf and fruit samples were taken and analyzed for nutrient element concentration.

**Results and Discussion:**

The results of analysis variance showed that nitrogen concentration in leaf was significantly affected by vermicompost application and nitrogen concentration in fruit was significantly affected by the combined application of nano-oxides of Fe and Zn and the sole application of nano zinc oxide. The use of vermicompost along with Fe and Zn-nano oxide resulted in a significant increase in leaf Fe concentration, fruit Fe concentration and Zn fruit concentration. The application of Zn nanoparticle along with organic compounds increased fruit Zn concentration significantly. The interaction effects of organic compounds, Fe and Zn-nano oxide particles was significant on fruit yield. The application of Zn-nano oxide and organic compounds increased tomato yield by 74%, which meant a rise of 107.193 ton per hectare under Zn-nano oxide and humic acide treatment as compared to 61.620 ton per hectare under control.

**Conclusion:**

The results of this study showed that the simultaneous application of organic compounds and zinc nanoparticles could provide suitable conditions for better absorption of nitrogen by the plant. The results of this study showed that, Fe and Zn-nano oxides are suitable sources for supplying tomato plants with the required nutrients. The application of Zn-nano oxide along with humic acid significantly increased tomato yield. Under our experimental conditions, due to low soil organic matter, the application of organic compounds at any form resulted in the enhanced plant growth. Therefore, the use of organic matter is recommended to farmers. Micronutrients deficiency (Fe and Zn) condition is prevlanet and thus, the application of effective sources of these elements including nano-oxide particles is strongly advised.

**Keywords:** Nutrition, micronutrient, vermicompost, humic acid

**References:**

- Hong, G., Wang, L., Sun, Y., Zhao, L., Niu, G., Tan, W., Rico, C.M., Peralta-Videa, J.R., and Gardea-Torresdey, J.L. 2016. Foliar applied nano scale and micro scale CeO<sub>2</sub> and CuO alter cucumber fruit quality. *Science of Total Environment*, 1: 563-564.
- Samavat, S., Lakzian, A., and Zamirpour, A. 2007. Effect of vermicompost on some growth indices of tomato. *Agriculture Science and Industries Journal*, 15(2), 83-89 (In Persian with English Summary).
- Zolfi, B., and Norowzi, M. 2005. Effect of iron sulphate and manure on the improvement of tomato nutrition. The 9th Iranian soil science congress. Tehran, Iran (In Persian with English Summary).