پژوهش و فناوری محیط زیست، دوره چهارم، شماره شش، پاییز و زمستان ۹۸، صفحه‌ی ۱۳-۲۰

مقایسه‌ی کاربرد ضایعات نانو و میکرو به عنوان منبع تامین کننده‌ی فلز روی در کشت هیدروپونیک خیار

سحر مقدسی بروجنی[۱*]، فتح‌اله کریم‌زاده[۲]
smoghadasy@gmail.com

چکیده

دفع تایرهای فرسوده یکی از چالش‌های محیط زیستی سال‌های اخیر بسیاری از کشورها است. پژوهش‌های پیشین نشان دادند خاکستر ضایعات لاستیک و نانوذرات آن منبع مناسبی از روی برای گیاه هستند. در پژوهش حاضر سعی بر آن شده تا ضمن امکان کاربرد ضایعات لاستیکی و نانوذرات آن (به عنوان منبع تامین کننده روی گیاه) و مقایسه آن با کود سولفات روی تجاری موجود در بازار امکان‌سنجی استفاده از نانوذرات در گیاه مورد بحث و بررسی قرار گیرد. به این منظور ضمن تولید نانوذرات و مشخصه یابی آن با میکروسکوپ الکترونی روبشی و عبوری، این ضایعات در کشت هیدروپونیک خیار به کار گرفته شده و عملکرد کمی و کیفی محصولات تغذیه شده با نانوذرات تولیدی، ذرات میکرونی لاستیک و نیز کود سولفات روی تجاری موجود در بازار مقایسه گردید. براساس نتایج بدست آمده با کوچک شدن اندازه ذرات لاستیک از میکرون به نانو درصد روی قابل عصاره‌گیری از ۱.۵ به ۲.۵ درصد افزایش یافت. نتایج این پژوهش نشان داد استفاده از نانوذرات لاستیک سبب افزایش عملکرد گیاه ضمن افزایش غلظت روی گیاه در مقایسه با کود سولفات روی تجاری موجود در بازار و نیز تیمار شاهد می‌گردند.

کلید واژه‌ها: *Cucumis sativus*، روی، نانوذرات لاستیک و هیدروپونیک

Compare of the Application of Nano and Micro Wastes as Supplying Source of Zinc in Cucumber Hydroponic Culture

Sahar Moghaddasi[*1], Fathallah Karimzadeh[2]

1. Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
2. Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Abstract

In recent years, disposal of waste tires is an environmental challenge in many countries. Previous researches has been shown that rubber waste ash and its nanoparticles can be used as an effective source of zinc (Zn) for plant. In this research, feasibility of using nanoparticles and rubber waste (as zinc supplying source in plant) is studied moreover comparing the nanoparticles of rubber waste with commercial zinc sulfate fertilizer available in the market. In this regard, moreover nanoparticles production and characterization them by scanning and transient electron microscope, these wastes were used in cucumber hydroponic culture, then the quantitative and qualitative performance of the fed products were compared with the commercial zinc sulfate fertilizer available in the market. According to the obtained results, by reducing the particle size of the rubber from micron to nano, Zn extractable percentage increased from 1.5 to 2.5%. So, using rubber nanoparticles increased plant performance and also, increased Zn concentration in plant tissues compared with commercial zinc sulfate fertilizer and those grown in control.

Keywords: Cucumis sativus, Zn, rubber nanoparticles, hydroponic

۱- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲- گروه مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان

مقدمه

امروزه اهمیت بازیافت تایرها و قطعات لاستیکی فرسوده، بر کسی پوشیده نیست. دفن یا انبار کردن تایرهای فرسوده با توجه به هزینه‌های زیادی که برای تولید هر حلقه تایر مصرف می‌شود و نیز به دلیل خطرات و مشکلات زیست محیطی ناشی از تجمع آن‌ها در محیط، در بسیاری از کشورهای پیشرفته ممنوع است. از سوی دیگر نتایج تعدادی از پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد این ضایعات با وجود دارا بودن درصد بالای روی، حاوی مقدار بسیار ناچیزی از ناخالصی فلزات سنگین سمی، مانند سرب و کادمیم می‌باشند (چنی ۲۰۰۷). اخیراً برخی محققان نشان داده‌اند ضایعات پلیمری منبع مناسب روی بوده و کارایی خوبی در تامین نیاز گیاه به این عنصر دارند (طاهری و همکاران، ۲۰۱۱) (چنی ۲۰۰۷). اگرچه سولفات روی یکی از مهم‌ترین منابع کودی مورد استفاده برای برطرف کردن کمبود روی در خاک و کشت هیدروپونیک می‌باشد، اما نتایج برخی گزارش‌ها (افیونی و همکاران، ۲۰۰۷) نشان‌دهنده وجود مقدار به نسبت زیاد ناخالصی کادمیم در برخی از این کودها بوده که سبب انباشتگی این فلز سمی در خاک‌ها می‌شود. این پژوهشگران نشان دادند غلظت روی اغلب کودهای سولفات روی تجاری مورد استفاده در ایران کمتر از حد مجاز این عنصر (۲۰-۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) بوده درحالی که در اغلب موارد، غلظت ناخالصی کادمیم در این کودها بیشتر از حد مجاز (۲۰-۲۵ میکروگرم در کیلوگرم) است. بر اساس نتایج پژوهش‌های پیشین، هر چه اندازه ذرات ضایعات لاستیک کوچکتر باشد، سرعت آزادسازی عناصر روی و آهن آن‌ها بیشتر است به طوری که ذرات بسیار ریز این ضایعات می‌تواند به‌عنوان یک منبع محلول روی برای برطرف کردن نیاز گیاه استفاده شود (خوشگفتارمنش و سنایی ۱۳۸۸). این فرضیه مطرح است که کودهای نانو به سرعت و به‌صورت کامل جذب بافت‌های مورد نظر گیاه شده و به خوبی نیازها و کمبودهای غذایی آن را مرتفع می‌سازند. نانوذرات نسبت سطح به حجم بسیار بالایی داشته و ویژگی‌های منحصر بفرد آن‌ها در بیشتر مواقع مربوط به سطح ویژه‌ی بسیار بالای آن‌ها است. سطح ویژه بالای نانوذرات و در نتیجه درصد مولکول‌های سطحی زیاد سبب افزایش حلالیت و به دنبال آن افزایش مقدار عنصر قابل عصاره‌گیری و قابلیت دسترسی گیاه به آن می‌گردد. برخی از مطالعات (کارپیتا و همکاران، ۱۹۷۹) نیز بیانگر ورود نانوذرات به سلول‌های گیاهی بوده است که این موضوع سبب افزایش کارایی نانو کودها شده است (رمیا و همکاران ۲۰۱۰). لین و زینگ در مطالعات خود نشان دادند نانوذرات اکسید روی در سلول‌های گیاه ریگراس نفوذ کرده و در آن انتقال می‌یابند (لین و همکاران ۲۰۰۸). تحقیقات متعدد در زمینه تاثیر نانوذرات بر جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه و عملکرد گیاه، بیانگر اثر مثبت و منفی ناشی از نانوذرات مختلف و گیاهان متفاوت است (لین و زینگ۲۰۰۷) (زانگ و همکاران۲۰۰۷) (تورنی و همکاران ۲۰۰۷). در پژوهش حاضر سعی بر آن شده تا امکان استفاده از نانوذرات لاستیک به‌عنوان منبع تامین کننده‌ی روی در کشت هیدروپونیک خیار و نیز تاثیر و سرنوشت این نانوذرات در گیاه مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

تولید نانوذرات لاستیک از تایرهای فرسوده و مشخصه‌یابی آن‌ها به منظور تولید نانوذرات، پودر لاستیک تایرهای فرسوده کامیون و سواری تولیدی کارخانه‌ی کویر تایر یزد با آسیاب شیاردار، از آسیاب‌کاری این ضایعات به روش پیشنهادی همین محققان (مقدسی و همکاران، ۲۰۱۳) با استفاده از آسیاب گلوله‌ای سیاره‌ای استفاده شد. سپس نانوذرات تولیدی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی و عبوری مشخصه‌یابی شدند. بدین منظور حدود ۵۰ میلی‌گرم از ذرات تیمار شده به روش‌های مختلف، به مدت ۴۰۰ ثانیه روکش طلا داده شده و سپس با میکروسکوپ الکترونی روبشی (مدل 30PHILLIPS XL) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین نمونه‌ای از ذرات معلق در محلول غذایی پس از ۱۰ دقیقه التراسونیک (مدل UP200H ساخت آلمان) تهیه و با میکروسکوپ الکترونی عبوری (مدل EM10C-80KV ساخت آلمان)، مورد مطالعه قرار گرفت.

به منظور تعیین غلظت عناصر روی، آهن، سرب و کادمیم در این ضایعات، از عصاره‌گیرهای پیشنهادی توسط طاهری و همکاران (۲۰۱۱)، اسید سولفوریک ۱ مولار برای خاکستر تایر و نانوذرات آن و نیز اسید نیتریک ۴ نرمال برای پودر لاستیک و نانوذرات آن، استفاده شد. به این منظور ۱ گرم از تیمارهای موردنظر را در ۲۰ میلی‌لیتر از عصاره‌گیرهای مذکور حل شده و به مدت ۱ ساعت بر روی گرم کن با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. سپس محلول حاصل به مدت ۲۴ ساعت بر روی

همزن الکتریکی با دور۱۲۰ دور در دقیقه قرار گرفته و در پایان از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شده و غلظت آهن، روی، سرب و کادمیم در عصاره حاصل به وسیله دستگاه جذب اتمی (مدل PerkinElmer 3030) اندازه‌گیری شد.

- **کشت آبی خیار**

در این مرحله به منظور ارزیابی سمیت نانوذرات ضایعات لاستیک و خاکستر آن در مقایسه با ذرات میکرونی این ضایعات و کود سولفات روی، یک آزمایش در قالب طرح فاکتویل کاملاً تصادفی و با سه منبع تامین کننده روی هر یک در پنج سطح و سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی مرکز کشت بدون خاک دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا شد. به این منظور ابتدا هشتاد عدد بذر گیاه خیار (*Cucumis sativus* L) رقم سوپردامینوس در جعبه نشاء حاوی ترکیب ۸۰ درصد پیت ماس و ۲۰ درصد شن کشت شد. در هر حفره از جعبه نشاء یک بذر در عمق یک سانتی-متری قرار داده شد. سپس جعبه نشاء زیر پوشش پلاستیکی قرار گرفت و محیط زیر پوشش پلاستیکی و سطح خزانه هر روز به کمک آبفشان کاملاً مرطوب نگه‌داشته شد. پس از گذشت دو هفته از کاشت بذر، نشاءهای همگن انتخاب و به ظروف ۱/۵ لیتری حاوی محلول غذایی نیم جانسون فاقد روی منتقل شد. به منظور جلوگیری از عبور نور، ظروف کشت با پوشش پلاستیکی پوشانده شده بودند و در هر ظرف دو سوراخ به منظور هوادهی و استقرار گیاه ایجاد شده بود. ترکیب عناصر موجود در محلول کامل غذایی جانسون (جاسون ۱۹۵۷) فاقد روی در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی و غلظت عناصر مورد استفاده در محلول غذایی پایه

غلظت (میلی‌گرم در لیتر)	عناصر کم مصرف	غلظت (میلی‌گرم در لیتر)	عناصر پر مصرف
۰/۲۷	H_3BO_3	۲۲۴	KNO_3
۱/۷۷	KCL	۲۳۵	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$
۰/۰۳	$CuSO_4.7H_2O$	۱۶۰	$NH_4H_2PO_4$
۲/۸۰	Fe-EDTA	۲۴	$MgSO_4.7H_2O$
۰/۱۱	$MnSO_4$		
۰/۰۵	H_2MoO_4		

pH محلول غذایی در طول آزمایش با استفاده از اسید-کلریدریک و سود در حدود ۵/۵ تنظیم شد. بوته‌های خیار پس از یک هفته به محلول غذایی جانسون کامل انتقال یافتند. محلول غذایی هفته‌ای یک بار عوض شد. پس از گذشت سه هفته، تیمارهای کودی شامل سه منبع مختلف روی (کود سولفات روی تجاری، پودر لاستیک، نانوذرات حاصل از پودر لاستیک) و پنج سطح روی (صفر، ۱، ۵، ۲۵، ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر) اعمال گردید.

قبل از اضافه کردن تیمارهای نانو، نانوذرات ده دقیقه با استفاده از دستگاه التراسونیک (مدل UP200H ساخت آلمان) از یکدیگر جدا شدند. محلول غذایی حاوی تیمار، روزانه سه بار با همزن شیشه هم زده شد. پس از گذشت ۶ هفته از انتقال نشاء، و در مرحله‌ی زایشی، بوته‌های خیار برداشت گردید.

اندازه‌گیری عملکرد وزن خشک کل، وزن تر میوه و غلظت عناصر روی، آهن، سرب و کادمیم گیاه

در پایان آزمایش، گیاهان با آب مقطر شستشو داده شده و ریشه، شاخساره و میوه از یکدیگر جدا گردید. پس از تعیین وزن تر میوه، نمونه‌های گیاهی به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک‌کن خشک و وزن خشک ریشه و شاخساره تعیین شد. جهت اندازه‌گیری غلظت عناصر، نمونه گیاهی آسیاب شده و ۱ گرم از هر نمونه به مدت ۵ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس کوره الکتریکی قرار گرفت. خاکستر حاصل با استفاده از ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال عصاره‌گیری شد و غلظت عناصر روی، آهن، سرب و کادمیم آن با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدلPerkin Elmer 3030) تعیین گردید (لینزی و همکاران ۱۹۷۸).

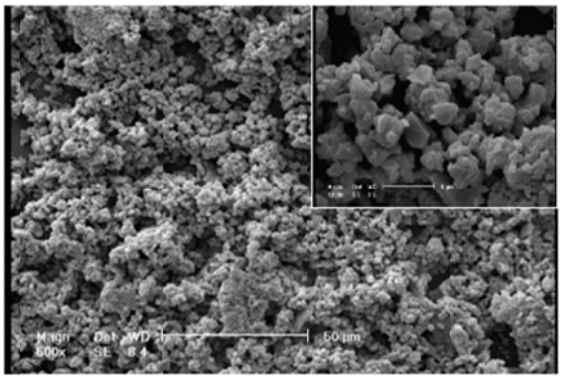
این آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. عوامل پژوهش شامل پنج سطح روی (صفر، ۱، ۵، ۲۵، ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر) از سه منبع کودی (کود سولفات روی تجاری، پودر لاستیک و نانوذرات حاصل از پودر لاستیک) بود. تجزیه آماری نتایج با استفاده از نرم‌افزار Statistix 8 و spss و آزمون t-student آنالیز گردیده. همچنین برای مقایسه‌ی میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح پنج درصد استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

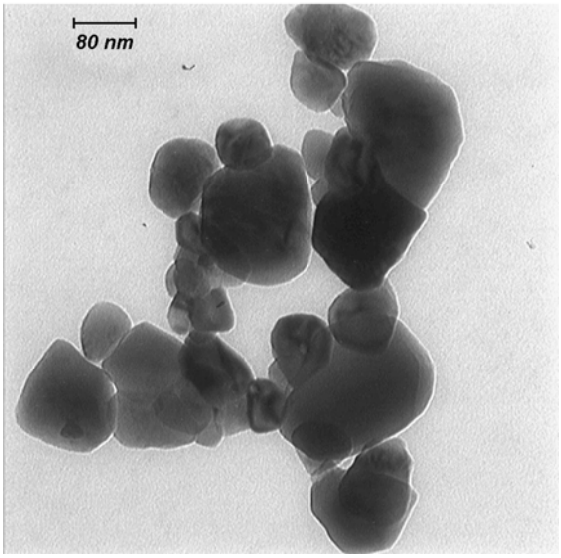
- **ویژگی‌های نانوذرات تولیدی**

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و عبوری بیانگر تولید موفقیت‌آمیز نانوذرات حاصل از آسیابکاری پودر لاستیک است (شکل ۱ و۲). حدود اندازه‌ی ذرات تولیدی با کمک

میکروسکوپ الکترونی روبشی و عبوری مدل (PHILLIPS XL30 Robeahi) تخمین زده شد که در جدول ۲ قابل مشاهده است.



شکل ۱- تصویر SEM ضایعات لاستیک ۵ ساعت آسیاب‌کاری شده همراه با ضایعات سیلیسی با نسبت ۱:۱ (کوچکتر از ۱۰۰ نانو متر) (GR_1)

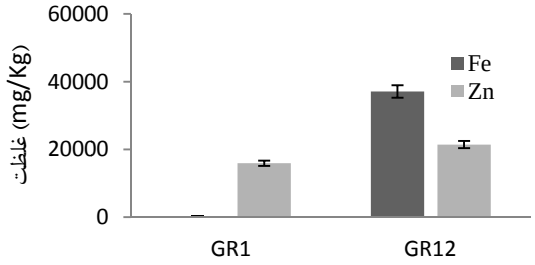


شکل ۲- تصویر TEM ضایعات لاستیک ۵ ساعت آسیابکاری شده همراه با ضایعات سیلیسی با نسبت ۱:۱ (کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر) (1GR2-Si).

جدول ۲- حدود اندازه‌های نمونه‌های لاستیک میکرونی (GR2)، نانوذرات لاستیک (GR2-Si)،

نمونه	اندازه ذره
GR_2	۱ میکرومتر
GR_2-Si	۱۰۰ نانومتر>

نتایج این آزمایش نشان داد ذرات لاستیک ($1GR_2$) دارای ۱/۵ تا ۲ درصد و نانوذرات آن ($1GR_2$-Si) ۲ تا ۲/۵ درصد روی قابل عصاره‌گیری با اسید نیتریک هستند (شکل۳). کینوشیتا و همکاران (۲۰۰۵) پس از سوزاندن تایرهای فرسوده در کوره و عصاره‌گیری خاکستر حاصل از آن با اسیدهای آلی و معدنی مختلف و آب، توانستند مقدار قابل توجهی از عناصر از جمله روی را از این ذرات استخراج کنند. سمولدر و همکاران (۲۰۰۲) نیز بیان داشتند که سالانه مقدار زیادی روی از تایرهای فرسوده به محیط اضافه می‌شود. غلظت آهن قابل عصاره‌گیری در ذرات لاستیک ($1GR_2$) قابل صرف‌نظر کردن بود در حالی که غلظت آهن در نانوذرات تولیدی ($1GR_2$-Si) تا ۳/۷ درصد افزایش یافته که البته این مقدار مربوط به آهن آزاد شده از آسیاب گلوله‌ای سیاره‌ای در حین آسیاب کاری نمونه می‌باشد (شکل ۳). از طرف دیگر کادمیم عصاره‌گیری شده از ضایعات لاستیک و نانوذرات آن در حد تشخیص دستگاه جذب اتمی نبود. غلظت سرب ذرات لاستیک ۱۲/۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و نانوذرات آن ۱۹/۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. براساس گزارش EPA در سال‌های ۱۹۹۹- ۲۰۰۰ نسبت روی به کادمیم نسبت (Cd:Zn) در برخی کودهای چینی خریداری شده ۰/۱ الی ۰/۸ بوده در حالی که این نسبت در کودهایی نظیر سولفات روی و بلومتین به ترتیب ۰/۰۰۰۰۲۲ و ۰/۰۰۰۱۲ بوده است (اسکوبل ۱۹۹۱). با توجه به گزارش USEPA، حداکثر غلظت قابل قبول کادمیم در کود به ازای واحد مقدار روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)، ۱/۴ است (اسکوبل ۱۹۹۱). طاهری و همکاران (۲۰۱۱) نیز بیان کردند که غلظت کادمیم موجود در این ضایعات کمتر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی بوده است.



شکل۳- غلظت آهن و روی عصارگیری شده با اسید نیتریک ۴ نرمال در نمونه‌های لاستیک میکرونی (GR1) و نانوذرات لاستیک (GR12)

- **عملکرد وزن خشک کل گیاه تحت تاثیر منبع و سطوح مختلف روی**

نتایج پژوهش نشان داد افزایش سطح روی تا غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش وزن خشک کل گیاه و پس از آن تا غلظت ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر به سبب سمیت روی سبب کاهش وزن خشک گیاه شد. براساس نتایج پژوهش حاضر، کمترین وزن خشک گیاه در تیمار بدون روی تولید شد (شکل ۴). نیاز گیاه

به روی به‌طور معمول کمتر از آهن است و افزایش بیش از حد روی به سبب رقابت این عناصر با یکدیگر، مانع از جذب و انتقال آهن می‌شود. حمزه‌پور و همکاران (۱۳۸۹) بیان داشتند در نتیجه‌ی بر هم زدن توازن عناصر روی و آهن در گیاه رشد کلی گیاه کم شده و عملکرد کاهش می‌یابد.

شکل ۴- اثر اصلی سطوح مختلف روی بر وزن خشک کل گیاه

ستون‌هایی که حداقل یک حرف مشترک با یکدیگر دارند اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد ندارند.

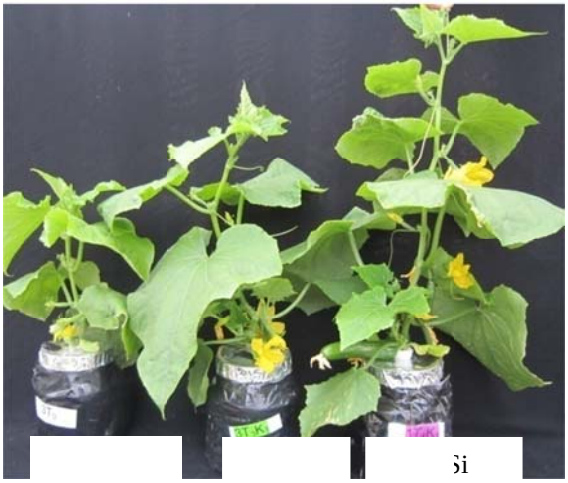
براساس نتایج حاصل از این پژوهش، استفاده از ذرات لاستیک، صرف‌نظر از اندازه ذرات، سبب افزایش معنی‌دار عملکرد وزن خشک کل خیار در مقایسه با تیمار شاهد (بدون روی) و تیمار سولفات روی شد. براساس نتایج ارائه شده توسط طاهری (۱۳۸۷) کاربرد ذرات لاستیک با تأمین نیاز روی گیاه گوجه فرنگی سبب افزایش وزن خشک گیاه نسبت به تیمار شاهد (محلول جانسون) شد. نتایج کاربرد پودر لاستیک به عنوان کود روی (در سطح ۱ میکرو مولار روی) در کشت محلول خیار نشان داد که استفاده از این ضایعات سبب افزایش عملکرد وزن خشک شاخساره گیاه در مقایسه با تیمار شاهد (بدون روی) شد. در پژوهش حاضر، تاثیر کاربرد نانوذرات لاستیک بر عملکرد خیار نه‌تنها موجب کاهش عملکرد نشد بلکه سبب افزایش عملکرد خشک گیاه نسبت به تیمار بدون مصرف نانوذرات گردید. همچنین تاثیر کاربرد نانوذرات لاستیک در افزایش عملکرد بیشتر از ذرات درشت‌تر این ضایعات و کود سولفات روی بود (شکل ۵). به نظر می‌رسد ضایعات لاستیک در اندازه نانو علاوه بر تجزیه‌پذیری سریع‌تر، نفوذ بیشتری به سلول‌های گیاهی دارند. کمترین عملکرد خیار مربوط به گیاه رشد کرده در محلول غذایی بدون تیمار روی و غلظت ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر کود سولفات روی بود. کاهش عملکرد گیاه در تیمار ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر به علت سمیت ناشی از روی بوده است. در این سطح کاربرد روی، کود سولفات روی بیشترین سمیت روی را در بوته‌های خیار سبب شد در حالی که ذرات لاستیک در اندازه میکرون کمترین سمیت را از خود نشان دادند. به نظر می‌رسد یکی از دلایل کمتر بودن سمیت ذرات لاستیک در مقایسه با کود سولفات روی حضور هر چند ناچیز آهن و سیلیس در نمونه‌ی ضایعات می‌باشد. تعدادی از محققان در مطالعات خود نشان دادند سیلیسیم به عنوان عنصری مفید سبب بهبود رشد و عملکرد گیاه خیار می‌شود. بر اساس نتایج ارائه شده توسط اپستتین (۱۹۹۹) یکی از سازوکارهای افزایش ظرفیت آنتی اکسیداتیو گیاه، استفاده از عناصر مفیدی نظیر سیلیسیم می‌باشد. لیانگ و همکاران (۲۰۰۵) گزارش دادند که سیلسیم می‌تواند سبب تحمل ذرت در برابر سمیت فلزات سنگین شود. اهمیت تعادل تغذیه آهن و روی نیز به سبب رقابت این عناصر بر سر انتقال از ریشه به اندام هوایی توسط محققان بسیاری گزارش شده است. بسیاری از محققان با مطالعه رابطه روی و آهن، نشان دادند مصرف هر یک از این دو عنصر، غلظت عنصر دیگر را پایین می‌آورد (آلووی ۲۰۰۸). با توجه به غنی بودن نانوذرات از آهن و احتمالاً سیلیس، به نظر می‌رسد این منابع نسبت به کود سولفات روی و پودر و خاکستر لاستیک تعادل تغذیه‌ای مناسب‌تری را در گیاه پدید آورده و مانع از بروز کمبود آهن در گیاه به ویژه اندام هوایی شوند. از سوی دیگر این امکان وجود دارد که نانوذرات نفوذی در گیاه عنصر روی را به مرور آزاد و در نتیجه آثار سمی روی کمتر ایجاد می‌شود.

جدول ۳- تاثیر کاربرد سطوح مختلف روی از منابع مختلف کودی بر وزن خشک کل خیار

تیمار	غلظت روی(mg L^{-1})				
	۰	۱	۵	۲۵	۱۲۵
$1GR_2$	۹/۵۳ ^{k}	۱۸/۶۳ $^{e-i}$	۲۳/۶۱ $^{a-e}$	۲۱/۵۱ $^{b-f}$	۱۷/۱۱ $^{f-j}$
$1GR_2$-Si	۹/۵۳ ^{k}	۲۱/۹۱ $^{a-f}$	۲۶/۸۴ ^{ab}	۱۹/۸۳ $^{d-h}$	۱۳/۹۴ ^{ijk}
$ZnSO_4$	۹/۵۳ ^{k}	۱۵/۱۴ $^{g-k}$	۲۰/۶۳ $^{c-g}$	۱۸/۸۲ $^{e-i}$	۹/۶۵ ^{k}

($1GR_2$: لاستیک در اندازه حدود ۱ میکرون، $1GR_2$-Si: نانوذرات لاستیک حاصل از ۵ ساعت آسیابکاری ضایعات ۱ میکرونی لاستیک $ZnSO_4$: کود سولفات روی)

اعدادی که حداقل یک حرف مشترک با یکدیگر دارند اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد ندارند.



شکل ۵- وضعیت ظاهری بوته‌های خیار تحت تاثیر تیمارهای مختلف روی

($1GR_2$: پودر لاستیک در اندازه میکرون، $1GR_2$-Si: نانوذرات لاستیک حاصل از آسیابکاری ذرات در اندازه ۱ میکرون لاستیک همراه با سیلیس با نسبت ۱:۱، $ZnSO_4$: کود سولفات روی).

- تاثیرمنبع و سطوح مختلف **روی** بر غلظت روی کل گیاه

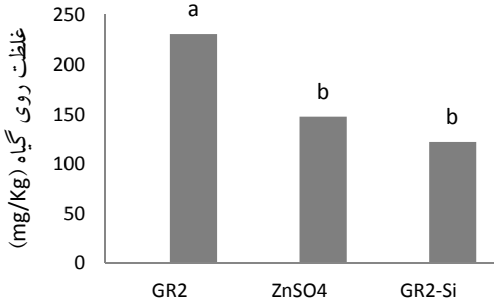
براساس نتایج حاصل از این آزمایش، اختلاف معنی‌داری (در سطح ۰/۱ درصد) از لحاظ غلظت روی کل گیاه خیار بین منابع مختلف روی، غلظت روی در محلول غذایی و اثر متقابل منبع تامین کننده‌ی روی و غلظت روی وجود داشت.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر اصلی و متقابل منبع و سطوح مختلف روی بر غلظت عناصر روی، آهن، سرب و کادمیم کل گیاه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		روی	آهن	سرب
منبع روی	۴	۸۸۴۲۶***	۸۵۸۶/۱***	۰/۰۰۲^{ns}
سطح روی	۴	۶۰۸۹۴۷***	۹۰۲۴/۹***	۰/۰۰۳^{ns}
منبع در سطح روی	۱۶	۴۴۵۲۷***	۲۹۴۰/۷***	۰/۰۰۶^{ns}
خطا	۲۵	۱۹۶۱	۸۷۳	۰/۰۰۱

*** و ns به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

براساس نتایج بدست آمده بیشترین غلظت روی گیاه مربوط به تیمار خاکستر لاستیک اختصاص (شکل ۶). براساس نتایج کمترین غلظت روی گیاه تیز تحت تاثیر نانوذرات لاستیک حاصل شد. دلیل پایین بودن غلظت روی در گیاه تیمار شده با نانوذرات لاستیک، ممکن است اثر رقت ناشی از افزایش عملکرد گیاه باشد. زیرا نانوذرات لاستیک بیشترین عملکرد خشک را در گیاه موجب شده است. البته همان‌گونه که قبلاً بیان شد آهن و روی در رقابت با یکدیگر بوده و احتمال دارد حضور آهن در نانوذرات لاستیک مانع از جذب روی در گیاه شده باشد.



شکل ۶ - تاثیر منابع مختلف روی بر غلظت روی کل گیاه

($1GR_2$: لاستیک در اندازه حدود ۱ میکرون، $1GR_2$-Si: نانوذرات لاستیک حاصل از ۵ ساعت آسیابکاری ضایعات ۱ میکرونی لاستیک و سیلیس با نسبت۱:۱ و $ZnSO_4$: کود سولفات روی)

ستون‌هایی که حداقل یک حرف مشترک با یکدیگر دارند اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد ندارند.

نتایج تجزیه روی گیاه نشان داد بوته‌های خیار رشد کرده در محلول غذایی حاوی ذرات لاستیک، مقدار روی بیشتری در مقایسه با بوته‌های خیار در محلول غذایی بدون روی (شاهد) در بافت‌های خود انباشته کردند (جدول ۵). بیشترین غلظت روی گیاه مربوط به تیمار نانوذرات خاکستر در سطح ۱۲۵ میلی‌گرم فلز روی بر لیتر و خاکستر لاستیک در سطح ۲۵ میلی‌گرم روی بر لیتر بود (جدول۵). حد بحرانی روی در برگ‌های بسیاری از گیاهان ۱۵ میکروگرم در گرم ماده خشک در نظر گرفته شده است. با این حال حد بحرانی کمبود روی در اندام‌های هوایی گیاهان از ۱۵ تا ۳۰ و حد سمیت آن در برگ‌ها از ۲۰۰ تا ۵۰۰ و برخی اوقات تا ۸۰۰۰ میکروگرم در هر گرم ماده خشک تغییر می‌کند. حساسیت گیاهان مختلف نسبت به کمبود روی

جدول ۵- تاثیر کاربرد سطوح مختلف روی از منابع مختلف کودی بر غلظت روی کل گیاه

منبع روی	غلظت روی ($mg\ L^{-1}$)				
	۰	۱	۵	۲۵	۱۲۵
$1GR_2$	۲/۳^{h}	۳۵/۵^{gh}	۱۳۵/۲^{f}	۴۰۰^{e}	۵۸۱/۶^{cd}
$1GR_2$-Si	۲/۳^{h}	۴۸/۶^{fgh}	۱۰۱/۷^{fg}	۳۱۹/۷^{e}	۱۳۷/۸^{f}
$ZnSO_4$	۲/۳^{h}	۳۹/۵^{gh}	۸۹/۶^{fgh}	۱۱۳/۳^{fg}	۴۹۲/۳^{d}

($1GR_2$: لاستیک در اندازه حدود ۱ میکرون، $1GR_2$-Si: نانوذرات لاستیک حاصل از ۵ ساعت آسیابکاری ضایعات ۱ میکرونی لاستیک و سیلیس با نسبت ۱:۱، $ZnSO_4$: کود سولفات روی)

در هر ستون اعدادی که حداقل یک حرف مشترک با یکدیگر دارند اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد ندارند.

متفاوت است. ذرت، برنج، سویا، حبوبات، سورگوم، مرکبات، درختان میوه و به ویژه انگور بیشترین حساسیت و هویج، گیاهان علوفه‌ای و جو بیشترین مقاومت را نسبت به کمبود روی دارند (مارشنر ۱۹۹۵).

بحث و نتیجه‌گیری

براساس نتایج بدست آمده نانوذرات لاستیک نه‌تنها موجب وارد آمدن خسارت به گیاه خیار نشدند بلکه به سبب دارا بودن غلظت‌های بالای روی و سطوح بسیار ناچیز سرب و کادمیم سبب افزایش وزن خشک و عملکرد گیاه گردیدند. این در حالیست که کود سولفات روی در مقایسه با نانوذرات عملکرد کمتری را در گیاه موجب شد. از سوی دیگر در سطوح سمیت روی برابر، نانوذرات سمیت کمتری را در گیاه در مقایسه با کود سولفات روی ایجاد کردند. براساس نتایج بدست آمده از این پژوهش به نظر می‌رسد بتوان از نانوذرات لاستیک به عنوان منبع تامین روی استفاده کرد. با وجود تمام نکات یاد شده بررسی مطالعات تکمیلی در زمینه تاثیر و سرنوشت این نانوذرات در گیاه ضروری به نظر می‌رسد. در صورتی که نانوذرات مورد نظر در گیاه با سرعت زیادی تجزیه و به یون تبدیل گردند به نظر می‌رسد که بتوان از این ضایعات و نانوذرات آن در کشت محصولات غذایی استفاده کرد. در غیر این صورت باز هم به دلیل کوچک بودن نانوذرات تولیدی نسبت به اندازه معمول ضایعات رها شده در محیط انتظار می‌رود که این نانوذرات با سرعت بیشتری در محیط تجزیه شوند و ضمن بهره گرفتن از این محصول در بهبود کمیت و کیفیت گیاهان فضای سبز از خطرات زیست محیطی ناشی از آزاد سازی این ضایعات در محیط کاست.

منابع

خوشگفتارمنش، ا. ح. و آ. سنایی استوار، ۱۳۸۸. قابلیت استفاده روی موجود در ضایعات صنعتی پلیمری شده برای ذرت در یک خاک آهکی، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال سیزدهم، جلد ۵۰، شماره ۹۱-۱۰۳.

حمزه‌پور، ن.، م. ملکوتی و ع. مجیدی، ۱۳۸۹. برهمکنش عناصر روی، آهن و منگنز در اندام‌های مختلف گندم، مجله پژوهش‌های خاک، جلد ۲۴، شماره ۱-۸.

Chaney, R. L., 2007. Effect of ground rubber vs. $ZnSO_4$ on spinach accumulation of Cd from Cd-mineralized California soil. Abstract, WEFTECH Residuals Conference, Denver, CO, April

Taheri, S., Khoshgoftarmanesh A. H., Shariatmadari, H., 2011. Kinetics of zinc release from ground tire rubber and rubberash in a calcareous soil as alternatives to Zn fertilizers. Plant Soil. Vol. 341,pp. 89–97

Afyuni, M., Khoshgoftarmanesh, A. H., Dorostkar, V., Moshiri, R., 2007. Zinc and cadmium content in fertilizers commonly used in Iran. International Conference of Zinc Crops, Istanbul, Turkey, pp. 24-28

Carpita, N., Sabularse, D., Montezinos, D., Delmer, D. P., 1979 Determination of the pore size of cell walls of living plant cells. Science Vol .205,pp.1144–1147

Remya, N., Saino, H. V., Baiju, G., Maekawa, T., Yoshida, Y., Sakthi Kumar, D., 2010. Nanoparticulate material delivery to plant, Plant science. Vol.179, pp. 154-163

Lin, D. H., Xing, B. S., 2007. Phytotoxicity of nanoparticles. inhibition of seed germination and root elongation. Environmental Pollution. Vol.150, pp. 243–250

Lin, D., Xing, B., 2008. Root uptake and phytotoxicity of ZnO nanoparticles. Environmental Science And Technology. Vol.42, pp. 5580-5585

Zhang, L., Su, M., Liu, C., Chen, L., Huang, H., Wu, X., Liu, X., Yang, F., Gao, F., Hong., F., 2007. Antioxidant Stress is Promoted by Nano-anatase in Spinach Chloroplasts Under UV-B Radiation.. Biology Trace Element Research. Vol.109, pp.68

Torney, F., Trewyn, G. B., Lin V. S. Y., Wang, K., 2007. Mesoporous silica Nanoparticles Deliver DNA and Chemicals into Plants. Nanotechnology. Vol.2, pp. 295-300

Moghaddasi, S., Khoshgoftarmanesh, A.H., Karimzadeh, F., Chaney, R. L., 2013. Preparation of nano-particles from waste tire rubber and evaluation of their effectiveness as zinc source for cucumber in nutrient solution culture. Scientia Horticulturae, vol.160, pp.398–403

Taheri, S., Khoshgoftarmanesh, A. H., Shariatmadari, H., 2011. Kinetics of zinc release from ground tire rubber and rubberash in a calcareous soil as alternatives to Zn fertilizers. Plant and Soil. Vol.341, pp.89–97

Jhson, C. M., Stout, P. R., Broyer, T. C., Carlton, A. B., 1957. Comparative chlorine requirements of different plant species. Plant and Soil. Vol.8, pp.337-353

Lindzay, W. L., Norvell, W. A., 1978. Development of DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science. vol.42, pp.421-428.

Kinoshita, T., Yamaguchi, K., Akita, S., Niib, S., Kawaizumi F., Takashi, K., 2005. Hydrometallurgical recovery of zinc from ashes of automobile tire wastes. Chemosphere. Vol.59, pp.1105-1111.

Smolders, E., Degryse, F., 2002. Fate and effect of zinc from tire debrise in soil. Environmental Science and Technology, vol.36, pp. 3706-3710

Alloway, B. J., 2008. Zinc in Soil and Crop Nutrition. Online book published by the International Zinc Association, Brussels, Belgium and Paris, France

Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd ed., Academic Press, London

Schauble, C., 1999. Frit Industries. U.S. EPA. February 24, page 1

Epstein, E., 1999. Silicon. Ann Reu. Plant physiol., Plant Mole. Biology. 50: 641-644

Liang, Y. C., Q. Shen, Z. Shen and T. Ma. 2008. Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. Biol ogy Science. Vol.19, pp. 173-183.