

اثر کاربرد دوده‌ی کربن و ضایعات مو بر غلظت عناصر سنگین و عملکرد گیاه کاهو و اسفناج تحت تأثیر آبیاری با آب آلوده

وفا بوعدار^۱، نفیسه رنگ زن^{۲*} و حبیب الله نادیان قمشه^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۳- استاد گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۱۰/۰۳	استفاده از فاضلاب و پساب شهری و صنعتی (به عنوان آب‌های با کیفیت کمتر برای کشاورزی) می‌تواند منجر به تجمع تدریجی برخی از عناصر سنگین در خاک شود که با ورود به زنجیره غذایی می‌توانند سلامت موجودات زنده را تهدید کنند. با توجه به هزینه‌های گزاف پاکسازی‌های فیزیکی، استفاده از روش‌هایی که باعث کاهش اثرات آلودگی‌های موجود در محیط می‌شوند، منطقی‌تر به نظر می‌رسد. به همین منظور آزمایشی گلدانی در قالب فاکتوریل در طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳ تیمار دوده‌ی کربن و ضایعات مو (هر کدام در دو سطح صفر و سه درصد وزنی به عنوان جاذب) و آب آبیاری (در دو سطح آلوده و غیر آلوده) با استفاده از گیاه کاهو و اسفناج در ۳ تکرار (در مجموع ۳۶ نمونه) اجرا گردید. نتایج نشان داد استفاده از آب آلوده باعث کاهش معنی‌دار شاخص‌های رشدی هر دو گیاه گردید که این میزان کاهش با کاربرد جاذب‌ها محدود می‌شود. استفاده از دوده‌ی کربن و ضایعات مو باعث کاهش غلظت سرب گیاه اسفناج به ترتیب به میزان ۵۸ و ۲۵ درصد گردید که در مورد گیاه کاهو کاهش ۵۴ درصدی در میزان سرب با بکارگیری دوده‌ی کربن مشاهده گردید. مقایسه تأثیر جاذب‌ها نشان داد در مورد گیاه اسفناج، دوده‌ی کربن غلظت کادمیوم گیاه را ۷۶ درصد کاهش داد که این مقدار در مورد گیاه کاهو ۶۹ درصد می‌باشد. اثر ضایعات مو بر مقدار کادمیوم در هر دو گیاه غیرمعنی‌دار بود. بنابراین دوده‌ی کربن بیشترین مقدار جذب سطحی فلزات را داشته و لذا مؤثرتر از ضایعات مو در کاهش اثرات منفی آنها عمل کرده است.
کلمات کلیدی: فلزات سنگین، دوده‌ی کربن، ضایعات مو، اسفناج، کاهو	
* عهده دار مکاتبات Email: nafas023@yahoo.com	

مقدمه

کمر بند خشک جهان از سوی دیگر موجب شده است در سال‌های اخیر تقاضا برای آب افزایش یابد و در نتیجه فشار بیش از اندازه به منابع آب وارد گردد (۳۹). از این رو استفاده از منابع جدید آب به طوری که هم جنبه

رشد روزافزون جمعیت جهان همگام با گسترش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی از یک سو و خشکسالی‌های پی‌درپی در اکثر کشورهای واقع در

مابع و گاز یافته است. کربن‌های فعال که مواد جامد بی‌شکل با سطح ویژه و حجم روزنه‌های زیاد هستند از مهمترین جاذب‌های مورد استفاده در صنایع و کارخانه‌ها می‌باشند (۲۰). به‌طور کلی هر ماده طبیعی یا مصنوعی دارای ترکیبات آلی (کربن و هیدروژن) را می‌توان به عنوان ماده خام تولید کربن فعال مورد استفاده قرار داد که از میان آنها مواد خام سلولزی نظیر چوب، پوست نارگیل، هسته میوه‌ها و سایر ضایعات کشاورزی، کک نفتی، قیر قطران زغال سنگ و مواد خام پلیمری شامل ضایعات انواع لاستیک‌ها و پلاستیک‌ها را می‌توان نام برد (۵). کربن فعال به عنوان یک جاذب چند منظوره تلقی می‌شود که می‌تواند انواع مختلفی از آلاینده‌ها از قبیل یون‌های فلزی، آنیون‌ها، رنگ‌ها، فنل‌ها، پاک‌کننده‌ها، آفت‌کش‌ها، هیدروکربن‌های کلره و بسیاری از مواد شیمیایی دیگر را حذف کند. آمارها نشان می‌دهند که تا سال ۲۰۱۵ بیش از ۱۰ میلیارد حلقه لاستیک به طور سالیانه فرسوده و از رده خارج شدند (۹). میزان تولید لاستیک‌های فرسوده در ایران حدود ۷ میلیون حلقه معادل ۲۲۰ هزار تن برآورده شده که بخش عمده‌ای از آنها به شکل نادرست در محیط زیست رها می‌شوند. کربن سیاه از مهمترین اجزای موجود در خرده‌های لاستیک می‌باشد (۸). کربن سیاه که جهت افزایش خاصیت الاستیکی و کاهش ساییدگی به‌طور گسترده در لاستیک‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد، شبیه به کربن فعال بوده و جاذب مناسبی جهت حذف آلاینده‌های آلی به شمار می‌رود (۱۷). به همین دلیل این ترکیب به عنوان یک جاذب ارزان قیمت در حذف فلزات سنگین مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از ضایعات شهری در جهت بازیافت آنها و همچنین حذف آلاینده‌ها از محیط می‌تواند سودآوری ویژه‌ای ایجاد نماید. استفاده از ضایعات مو به عنوان ماده زائده که به صورت روزانه تولید می‌شود، می‌تواند در کاهش حجم زباله و همچنین بازیافت آن در جهت کنترل آلودگی‌ها مؤثر باشد. با توجه به تحقیقات انجام شده این ماده در

اقتصادی داشته باشد و هم در توسعه کشاورزی مؤثر باشد مورد توجه قرار گرفته است (۷). روش‌های جایگزین رایج برای منابع آب کشاورزی شامل نمک‌زدایی از آب‌های شور و همچنین استفاده مجدد از فاضلاب شهری و پساب صنعتی می‌باشد (۱۸). مقادیر بالای فلزات سنگین در آب بر کیفیت آن تأثیر سوء داشته و منجر به غیر قابل مصرف شدن آب می‌شود (۱۶)، سمیت فلزات سنگین و تجمع آنها در زنجیره غذایی یکی از اصلی‌ترین معضلات زیست محیطی جوامع امروزی است (۲). این فلزات از طریق فعالیت‌های مختلف نظیر استخراج و ذوب فلزات، پساب‌های صنعتی، کاربرد لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی در محیط زیست رها می‌شوند (۴۲، ۴۶). آلام و همکاران^۱ (۶) در تحقیقی دریافتند افزایش سهم پساب در آب آبیاری گیاه کلزا موجب افزایش عناصر کروم، کادمیوم و سرب در اندام هوایی این گیاه گردید. پساب دارای مقدار زیادی عناصر کم‌مصرف و فلزات سنگین می‌باشد. هنگامی که پساب به عنوان آب آبیاری استفاده شود، گیاه این عناصر را جذب می‌کند. جذب این عناصر کم‌مصرف و فلزات سنگین به مقدار زیاد به وسیله گیاه می‌تواند سبب آلودگی زنجیره غذایی انسان و دام شود.

تاکنون روش‌های مختلفی برای جذب و حذف فلزات سنگین توسط مواد اصلاحی از محیط‌های گوناگون مورد توجه قرار گرفته است که استفاده از جاذب‌های زیستی، جاذب‌های معدنی (آلومیناها، سیلیکاها و ژئولیت‌ها) و جاذب‌های آلی (شامل موادی با پایه‌ی آلی طبیعی یا سنتزی مانند دوده‌ی کربن (کربن فعال)، سلولز، پشم و...) از جمله آنها هستند. از جمله جاذب‌های آلی تجاری می‌توان به دوده و انواع پلیمرها (مانند کوپلیمرهای پلی‌اسیترن-دی‌وینیل بنزن، پلی‌متیل اکریلات و غیره) اشاره کرد (۴۰). کربن فعال بعنوان یک جاذب با ظرفیت جذب بالا و قیمت پائین، کاربردهای بسیار فراوانی در فرآیندهای جذب از فاز

کربوکسیل می‌باشند. برای آماده‌سازی ضایعات مو، ابتدا ضایعات از آرایشگاه‌ها جمع‌آوری و سپس با آب و اسید رقیق شسته شده و در دمای اتاق خشک و آسیاب گردید. بر اساس استاندارد کیفیت آب‌های ایران که توسط معاونت محیط‌زیست انسانی، دفتر آب و خاک سازمان حفاظت محیط زیست (۱۳۹۵) به تفکیک کاربری آب بر اساس استانداردهای جهانی موجود ارائه شده است، غلظت ۱۰ میکروگرم در لیتر را برای عنصر کادمیوم به عنوان سطح استاندارد در نظر گرفته شده است که بیشتر از این غلظت، آب برای آبیاری مناسب نبوده و استفاده از آن نیاز به بررسی دارد. با توجه به استانداردهای موجود غلظت ۵۰۰۰ میکروگرم در لیتر غلظت مجاز حضور سرب در آب آبیاری است (۱۳). با توجه به این حدود از آب شرب و با استفاده از نمک‌های کلرور کادمیوم و نترات سرب، به ترتیب آب آلوده حاوی ۲ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم و سرب تهیه گردید. از آب شرب (با توجه به آنالیز اولیه و ناچیز بودن غلظت این عناصر در آن) به عنوان آب غیرآلوده (شاهد) استفاده شد. جهت تهیه خاک مورد نیاز، نمونه‌برداری از مزرعه دانشگاه صورت گرفت. بعد از هواخشک کردن خاک و عبور آن از الک ۲ میلی‌متر، با استفاده از روش‌های استاندارد، تجزیه اولیه فیزیکی و شیمیایی آن صورت گرفت (۸). در خصوص ارزیابی غلظت فلزات سنگین در خاک از دو روش هضم با اسید (۳۷) و عصاره‌گیری با DTPA (۳۰) استفاده شد که به ترتیب معرف مقدار کل و بخش قابل دسترس (محلول) می‌باشند. سپس خاک با جاذب‌ها (در نسبت ۳ درصد وزنی) مخلوط شده و جهت کشت گیاهان کاهو و اسفناج (به‌عنوان گیاهان آزمایشی با سطح برگ زیاد و نتیجتاً تولید ماده خشک مناسب) در گلدان‌های ۲ کیلوگرمی قرار داده شد. گلدان‌های شاهد بدون اضافه کردن ضایعات مو و دوده‌ی کربن آماده‌سازی شدند و جهت بررسی اثرات متقابل، تیماری با اضافه کردن همزمان ۱/۵ درصد دوده‌ی کربن و ۱/۵ درصد ضایعات

رفع آلودگی‌های آب مؤثر بوده (۱۴) اما تا کنون در مورد اثر آن در رفع آلودگی‌های خاک مطالعه‌ای صورت نگرفته است؛ لذا این پژوهش جهت بررسی اثر کاربرد دوده‌ی کربن و ضایعات مو بر میزان جذب فلزات سنگین و برخی مؤلفه‌های رشد گیاه کاهو و اسفناج تحت آبیاری با آب آلوده صورت گرفت تا در صورت امکان با توجه به اهمیت و خطرات زیست محیطی ناشی از وجود عناصر سنگین در خاک بتوان از این جاذب‌ها در جهت کاهش اثر آلاینده‌های فلزی در خاک‌های آلوده و افزایش عملکرد گیاه استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

پژوهش به صورت گلدانی و در قالب آزمایش فاکتوریل در طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳ تیمار و ۳ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد. در این تحقیق از دو ماده شامل دوده‌ی کربن و ضایعات مو به عنوان جاذب استفاده شد. به‌طور کلی سه روش عمده تولید دوده‌ی کربن عبارتند از روش کوره، کانال و روش حرارتی که بر این اساس و با توجه به روش علمی و تخصصی ASTM نامگذاری انواع مختلف دوده‌ی کربن صورت می‌گیرد. هرکدام از انواع دوده‌ی کربن بر مبنای فرایند تولید دارای خواص فیزیکی، ساختمانی و شیمیایی متفاوتی هستند. دوده‌ی کربن از ۹۷ تا ۹۹ درصد کربن تشکیل شده و دیگر اجزای آن هیدروژن، اکسیژن و به مقدار بسیار کمتر نیتروژن و گوگرد می‌باشد. برای انجام این تحقیق، دوده‌ی کربن با درجه N220 و ظاهر پودری از شرکت کربن ایران تهیه شد که بر اساس برجسب مشخصات دارای سطح ویژه برابر با ۱۱۵-۱۰۰ مترمربع در گرم و پ-هاش ۱۰-۶ می‌باشد که با اندازگیری پ-هاش در عصاره ۱:۵ مقدار آن ۸/۵ قرائت گردید. این نوع دوده با فرایند کوره آماده‌سازی شده و اندازه ذرات آن از ۲۰ تا ۸۰ نانومتر است. گروه‌های عاملی سطحی در این ترکیب شامل فنول و

در این معادله فاکتور آلودگی (CF) نسبت غلظت هر فلز (C metal) به غلظت زمینه آن فلز (C background) است که مقادیر آن بر اساس دامنه تغییرات فاکتور آلودگی و شدت آلودگی بیان می‌شود. بر اساس این فاکتور خاک‌ها از نظر آلودگی به چهار کلاس طبقه بندی می‌شوند؛ اگر فاکتور آلودگی کمتر از ۱ باشد آلودگی کم، برابر با ۱ و کمتر از ۳ آلودگی متوسط، برابر با ۳ و کمتر از ۶ آلودگی زیاد و برابر یا بیشتر از ۶ نشان‌دهنده آلودگی خیلی زیاد است (۲۴). اصطلاح زمینه به عنوان فراوانی نرمال یک عنصر در یک زمین لم‌یزرع و تهی یا خاک بدون اثر فعالیت انسانی گفته می‌شود. در بسیاری از مطالعات از غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین به عنوان مقادیر زمینه استفاده شده است (۳۴). در این مطالعه نیز از غلظت‌های ۰/۲ و ۱۴ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب برای عناصر کادمیوم و سرب (غلظت این فلزات در پوسته زمین (۲۷)) به عنوان غلظت زمینه استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. با اندازه‌گیری غلظت کل کادمیوم و سرب در خاک پیش از شروع کشت گلدانی و آبیاری با آب آلوده، نتایج حاکی از آن است که درجه‌ی آلودگی خاک به کادمیوم در حد آلودگی متوسط و در مورد سرب در شرایط آلودگی کم قرار دارد. با توجه به کاربری زمین به صورت کشاورزی و استفاده از برخی کودهای شیمیایی که ناخالصی کادمیوم را همراه دارند مقدار زیاد این فلز در خاک مورد مطالعه توجه می‌گردد. پس از آبیاری با آب آلوده در انتهای مرحله کشت گلدانی، محاسبه فاکتور آلودگی نشان می‌دهد سطح آلودگی خاک در مورد هر دو عنصر افزایش یافته که این افزایش بویژه در مورد عنصر کادمیوم مشهودتر است.

مو در نظر گرفته شد. بذرها کشت شده و آبیاری با آب آلوده و آب شرب براساس نیاز آبی گیاه در طول دوره‌ی رشد انجام شد. شایان ذکر است که به منظور کاهش اثر سوء آب آلوده بر جوانه‌زنی، آبیاری گلدان‌ها تا پایان این مرحله با آب شرب صورت گرفت. گیاهان پس از ۶۰ روز برداشت شدند و پس از اندازه‌گیری وزن تر به آزمایشگاه منتقل و هریک از نمونه‌ها به خوبی با آب، اسید رقیق و آب مقطر شستشو داده شدند. سپس نمونه‌ها هوا خشک شده و به مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد قرار گرفته و پس از اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی، نهایتاً برای اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین در گیاه مقدار ۰/۵ گرم از نمونه خشک و پودر شده گیاهی در کروزه چینی ریخته و ۵ میلی‌لیتر نیترات منیزیم به آن افزوده شد و به مدت ۲ ساعت در کوره قرار داده شدند. سپس، به نمونه‌ها ۵ میلی‌لیتر اسید کلردریک ۲ نرمال اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه بر روی هات‌پلیت در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شدند. در ادامه، نمونه‌ها تا رسیدن به دمای اتاق خنک شدند و در آخر حجم پایانی نمونه‌ها با آب مقطر به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و غلظت عناصر شامل روی، آهن، مس، کادمیوم و سرب در آن‌ها به کمک دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد. نمودارها به کمک نرم افزار Excel ترسیم گردیدند.

محاسبه فاکتور آلودگی خاک

جهت محاسبه و ارزیابی سطح آلودگی خاک پس از اتمام دوره‌ی آزمایش و بررسی وضعیت آلودگی خاک تحت آبیاری با آب آلوده مصرفی، از فرمول زیر استفاده شد:

$$CF = C \text{ metal} / C \text{ background} \quad (1)$$

جدول (۱) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از شروع کشت
Table (1) Initial physicochemical properties of experimental soil before planting

مواد آلی (%) OM	EC (dS/m)	pH	بافت خاک Soil Texture	رس Clay (%)	لای Silt (%)	شن Sand (%)	خصوصیات Properties	
0.64	2.5	7.3	Clay loam	29	49	22	خاک مزرعه از عمق ۰-۳۰ Soil sample 0-30	
سرب (Pb) mg/kg	کادمیوم (Cd) mg/kg	فلزات سنگین (بعد از آبیاری با آب آلوده) (After irrigation with polluted water)	سرب (Pb) mg/kg	کادمیوم (Cd) mg/kg	آهن (Fe) mg/kg	روی (Zn) mg/kg	مس (Cu) mg/kg	فلزات سنگین (قبل از آبیاری با آب آلوده) Before irrigation with polluted water)
4.13	0.92	DTPA	1.305	0.051	6.88	1.65	1.50	DTPA
69.7	3.50	Total	10	0.4	-	-	-	Total
4.97	17.5	فاکتور آلودگی خاک بعد از آبیاری با آب آلوده (CF after irrigation with polluted water)	0.7	2	فاکتور آلودگی خاک قبل از آبیاری با آب آلوده (CF before irrigation with polluted water)			

آبیاری ($P \leq 0.01$ و $P \leq 0.05$) بر وزن تر اندام هوایی گیاه اسفناج و کاهو است. بررسی برهمکنش دوده‌ی کربن و آب آبیاری بر وزن تر اندام هوایی (جدول ۴ و ۵) نشان داد که بین تیمارهایی که در آنها دوده‌ی کربن اعمال شده با تیمارهایی که فاقد دوده‌ی کربن هستند تفاوت معنی‌داری ($P \leq 0.05$) وجود دارد. بر اساس نتایج بدست آمده کاربرد دوده‌ی کربن باعث افزایش وزن تر اندام هوایی گیاه اسفناج و کاهو به میزان ۱۸ و ۳۹ درصد شد. بر این اساس با اضافه شدن دوده‌ی کربن در هر تیمار بدون وجود ضایعات مو، وزن تر اندام هوایی افزایش یافته است. البته لازم به ذکر است در تیمار حاوی ۱/۵ درصد دوده‌ی کربن و ۱/۵ درصد ضایعات مو به صورت همزمان کاهش وزن تر اندام هوایی نسبت به تیمار حاوی دوده‌ی کربن به تنهایی، مشاهده شد. در مقابل ضایعات مو اثر مستقل کاهشی بر رشد گیاهان داشته که علت آن را می‌توان تأثیر نامطلوب ضایعات مو بر ماهیت خاک از لحاظ فیزیکی با توجه به مدت زمان کوتاه انجام بررسی (حدود ۲ ماه)، دانست. در مورد اسفناج و کاهو کاربرد ضایعات مو به ترتیب وزن

در مورد کادمیوم درجه آلودگی خیلی زیاد و در مورد سرب آلودگی زیاد رخ داد که نشان‌دهنده اثر آبیاری با آب آلوده در تجمع فلزات سنگین در خاک و نهایتاً بروز آلودگی‌های حاد می‌باشد. همچنین با مقایسه مقادیر غلظت عناصر قابل استخراج با DTPA و مقدار هضم شده با اسید (مقدار کل)، نتایج حاکی از آن است که غلظت قابل دسترس این عناصر با افزایش مقدار کل این فلزات در خاک افزایش می‌یابد. بنابراین خاک مورد مطالعه تحت تأثیر آب آلوده به فلزات سنگین به خاک با شدت آلودگی زیاد تبدیل شده و گیاهان آزمایشی در مواجهه با غلظت قابل توجهی از عناصر کادمیوم و سرب قرار گرفتند.

بررسی اثرات ساده و متقابل تیمارهای مورد مطالعه بر برخی مؤلفه‌های رشد، غلظت برخی از عناصر کم‌مصرف و غلظت کادمیوم و سرب در گیاه اسفناج و کاهو
وزن تر اندام هوایی گیاه اسفناج و کاهو

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲ و ۳) بیانگر اثر معنی‌دار دوده‌ی کربن، ضایعات مو و آب

گیاهان به محدودسازی سریع رشد ریشه مربوط می‌شود که علت آن را می‌توان محدود شدن تقسیمات سلولی در قسمت نوک ریشه دانست (۲۱). البته به صورت متقابل ریشه گیاه برای مواجه کمتر با این عنصر سمی، تغییراتی در حجم و طول ریشه ایجاد می‌کند. ضعیف شدن ریشه در نهایت منجر به جذب محدودتر عناصر غذایی و کاهش عملکرد گیاه می‌گردد (۲۶).

برهمکنش سه گانه تیمارها بر وزن تر گیاه در مورد گیاه اسفناج در سطح ۵ درصد و در مورد کاهو در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. با توجه به نمودار ۱ بیشترین میزان وزن تر اندام هوایی گیاه اسفناج با میانگین ۲۳/۵۸ گرم در گلدان، مربوط به تیمار صفر درصد وزنی ضایعات مو و ۳ درصد وزنی دوده‌ی کربن و آبیاری با آب غیرآلوده می‌باشد. کم‌ترین میزان وزن تر اندام هوایی با میانگین ۱۱/۳۹ گرم در گلدان، مربوط به تیمار ۳ درصد وزنی ضایعات مو و صفر درصد وزنی دوده‌ی کربن و آب آلوده است. بر اساس نتایج نشان داده شده در نمودار ۲ در مورد گیاه کاهو استفاده از دوده‌ی کربن در سطح ۳ درصد باعث افزایش وزن اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد گردیده است. بیشترین میزان وزن تر اندام هوایی با مقدار عددی ۱۹/۸۵ گرم در گلدان مربوط به تیمار ۳ درصد دوده‌ی کربن و فاقد ضایعات مو و تحت آبیاری با آب غیرآلوده می‌باشد. کمترین وزن تر اندام هوایی در تیمار فاقد دوده‌ی و ضایعات مو تحت آبیاری با آب آلوده مشاهده شد (۶/۵۹ گرم در گلدان). به‌طور کلی با توجه به نتایج بدست آمده اثر دوده‌ی کربن در افزایش وزن تر گیاه بیشتر از ضایعات مو می‌باشد و همزمانی مصرف این دو ماده اصلاحی نه تنها تأثیری بر افزایش وزن تر گیاه ندارد بلکه اثرات منفی بر رشد گیاه خواهد داشت.

وزن خشک اندام هوایی گیاه اسفناج و کاهو

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) در مورد گیاه اسفناج اثر مستقل دوده‌ی کربن و اثرات متقابل ضایعات مو و آب آبیاری و اثرات سه‌گانه تیمارها بر وزن خشک اسفناج به ترتیب در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

تر گیاه را ۲۶/۷ و ۱۰/۷ درصد کاهش داد. به‌طور کلی ضایعات مو نسبت به ماده اصلاحی دوده‌ی کربن کمتر به رشد گیاه کمک کرده است که این مسئله با توجه به قابلیت متفاوت این دو ماده اصلاحی در جذب سطحی آلاینده‌های فلزی، توجیه می‌گردد. دوده‌ی کربن به دلیل داشتن سطح فعال بسیار زیاد، واکنش سطحی مناسب و تخلخل بالا خاصیت جذب مواد محلول را دارد بنابراین می‌تواند آلاینده‌های فلزی که به فرم محلول و قابل دسترس گیاه هستند را جذب کرده و مانع جذب این عناصر و بروز آثار سمی در گیاه گردد و به رشد بهتر گیاه کمک می‌کند. اثر مستقل آب آبیاری بر وزن تر گیاه و همچنین وزن خشک گیاهان معنی‌دار است. به عبارت دیگر در همه تیمارها استفاده از آب آلوده در مقایسه با آب شرب (غیرآلوده) وزن تر و خشک اندام هوایی گیاهان را کاهش داده است. با مقایسه میانگین‌ها استفاده از آب آلوده در آبیاری گیاه اسفناج باعث کاهش ۲۵ درصدی وزن تر گیاه می‌گردد که این مقدار برای گیاه کاهو برابر با ۲۲ درصد گزارش می‌شود. وجود عناصر کادمیوم و سرب در آب آلوده اثرات منفی بارزی بر رشد گیاهان ایجاد می‌کنند. کادمیوم و سرب از عناصر سمی و غیرضروری برای گیاهان محسوب می‌شوند که می‌توانند آسیب‌های فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی متعددی در گیاهان مختلف ایجاد کنند (۴۱). تجمع عنصر کادمیوم در اندام هوایی و ریشه گیاهان می‌تواند در نتیجه‌ی تشکیل پیوند با دیواره سلولی و همچنین ایجاد کمپلکس با پروتئین‌ها و چربی‌ها باشد. اثر آشکار سمیت کادمیوم در گیاهان کوتاه‌قدی، زردی برگ‌ها و تغییر در فعالیت بسیاری از آنزیم‌های کلیدی در انواع مسیرهای متابولیکی می‌باشد (۲۳). محققان گزارش کردند افزایش غلظت کادمیوم در گیاه که علت آن برقراری پیوند با سه خانواده از پتیدهاست، باعث ایجاد مولکول‌های حاوی کادمیوم با وزن مولکولی زیاد می‌گردد و لذا مقدار پتیدهای آزاد کاهش یافته که متعاقب آن فرایندهای ساخت پروتئین مختل می‌گردند (۳۸، ۴۵). ابتدایی‌ترین اثر سرب بر

وزن ماده خشک اندام هوایی در گلدان مربوط به تیمار فاقد دوده‌ی کربن و ضایعات مو تحت آبیاری با آب آلوده (۱/۵۴ گرم در گلدان) می‌باشد. لذا می‌توان دریافت وجود کادمیوم و سرب در آب آبیاری بدون وجود مواد اصلاحی با آسیب رساندن به گیاه، عملکرد را کاهش می‌دهد. حتی در صورت کم بودن غلظت این عناصر در آب آبیاری، استفاده طولانی مدت از آن، باعث انباشتگی و تجمع فلزات در خاک شده و با افزایش غلظت این عناصر در گیاهان، کاهش رشد مشاهده می‌شود (۳).

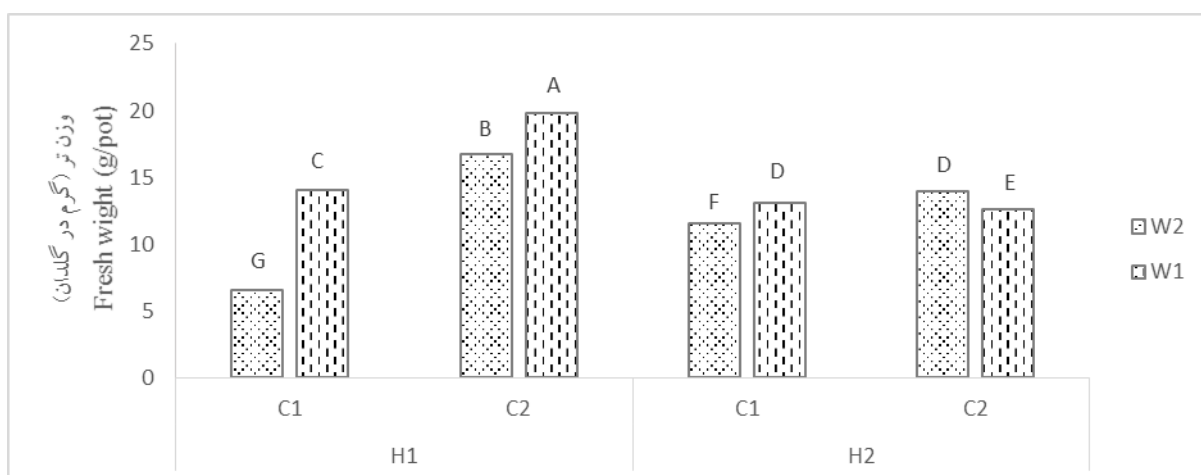
استفاده از دوده‌ی کربن باعث افزایش وزن خشک گیاه اسفناج به میزان ۲۷ درصد گردید. مقایسه میانگین‌ها در خصوص اثرات متقابل ضایعات مو و آب آبیاری (جدول ۶) نشان داد کاربرد این ضایعات تحت شرایط آبیاری با آب آلوده در مقایسه با تیمار فاقد ضایعات، وزن خشک اسفناج را ۱/۸ برابر افزایش داده که این افزایش در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. بیشترین وزن ماده خشک اندام هوایی اسفناج در گلدان مربوط به تیمار دوده‌ی کربن ۱/۵ درصد وزنی به همراه ۱/۵ درصد ضایعات مو تحت آبیاری با آب غیرآلوده (۳/۲۵ گرم در گلدان) و کم‌ترین

جدول (۲) نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر برخی مؤلفه‌های رشدی، غلظت برخی از عناصر کم‌مصرف و عناصر کادمیوم و سرب در اندام هوایی گیاه اسفناج

Table (2) The analysis of variance of the effects of treatments on some growth parameters and the concentration of some microelements and cadmium and lead in aboveground parts of spinach

میانگین مربعات (Mean Squares)								
منابع تغییر (Source)	درجه آزادی (df)	وزن تر (Fresh Weight (g))	وزن خشک (Dry Weight (g))	آهن (Fe (mg/kg))	روی (Zn (mg/kg))	مس (Cu (mg/kg))	کادمیوم (Cd (mg/kg))	سرب (Pb (mg/kg))
دوده‌ی کربن (Carbon (C))	1	55.05**	2.716**	36871.52**	751.52**	43.78**	0.02**	0.05**
ضایعات مو (Hair waste (H))	1	189.158**	0.17 ^{n.s}	3236.40**	1686.39 ^{n.s}	0.33 ^{n.s}	0.00008 ^{n.s}	0.004**
آب آبیاری (Irrigation water (W))	1	101.147**	1.33 ^{n.s}	55979.70**	2538.33**	165.03**	1.83**	1.05**
دوده‌ی کربن * ضایعات مو (Carbon * Hair waste (C*H))	1	0.054 ^{n.s}	0.0015 ^{n.s}	38.25 ^{n.s}	75.33 ^{n.s}	15.79 ^{ns}	0.06**	0.024**
دوده‌ی کربن * آب آبیاری (Carbon * Irrigation water (C*W))	1	27.752**	0.063 ^{n.s}	879.67*	577.57*	30.68**	0.01**	0.006**
ضایعات مو * آب آبیاری (Hair waste * Irrigation water (H*W))	1	2.815**	2.03**	1.65 ^{n.s}	145.04 ^{n.s}	12.57**	0.001*	0.0002 ^{n.s}
دوده‌ی کربن * ضایعات مو * آب آبیاری (Carbon * Hair waste * Irrigation water (C*H*W))	1	1.849*	2.40**	344.28*	86.41 ^{n.s}	60.08**	0.06**	0.001 ^{n.s}
خطا (Error)	16	0.347	0.09	183.37	88.78	1.58	0.0002	0.0006
ضریب تغییرات (%CV)		3.243	11.27	3.51	12.29	9.38	4.95	4.81

***، *، و n.s به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ درصد، معنی‌داری در سطح ۵ درصد، عدم وجود اختلاف معنی‌دار
 **، *، indicate that variances are significant at the level of 1%, 5% and n.s is non-significant, respectively,
 Carbon black (C), Hair waste (H), Irrigation water (W), CH= 1.5%C+1.5%H



نمودار (۲) برهمکنش سه گانه سطوح مختلف دوده‌ی کربن (C)، ضایعات مو (H) و آب آبیاری (W) بر وزن تر اندام هوایی کاهو میانگین‌های با حروف مشترک براساس آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشند.

Graph (2) Triple interaction of treatments consist of carbon black (C1 = 0, C2 = 3%), hair waste (H1 = 0, H2 = 3%) and irrigation water (W1 = Non-contaminated water, W2 = contaminated water) on fresh weight of aboveground parts of lettuce

For all variables with the same letter, the difference between the means is not statistically significant at the level of 5%.

رشدی از جمله وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن ماده خشک ریشه، مجموع طول ریشه گیاه و میزان کلروفیل برگ‌های گیاهان شاهی و جعفری گردید. عابدی و همکاران (۱) در مطالعه‌ای اثر کاربرد پساب را با تیمارهای مختلف شامل پساب معمولی و پساب مصنوعی با غلظت فلزات سنگین ۵ و ۱۰ برابر حد مجاز، بر عملکرد چند نمونه گیاهی بررسی کردند. نتایج نشان داد زیست‌توده کل گیاه با افزایش غلظت عناصر در پساب کاهش می‌یابد. نتایج محمدی (۳۵) حاکی از آن است که جذب فلزات سنگین در سبزیجات برگی به مراتب بیشتر از سبزیجات ریشه‌ای و غده‌ای است. سبزیجاتی مانند جعفری قابلیت بالایی در جذب فلزات سنگین کادمیوم، نیکل، سرب و روی دارند. در واقع منبع اصلی این فلزات برای سبزیجات، محل رشد آنها است که از این طریق فلزات وارد ریشه، ساقه و برگ گیاه می‌شوند (۲۹).

اثر مستقل دوده‌ی کربن و اثر متقابل دوده‌ی کربن و آب آبیاری در سطح آماری ۱ درصد و اثر مستقل ضایعات مو و آب آبیاری در سطح آماری ۵ درصد در مورد گیاه کاهو معنی‌دار هستند (جدول ۳). استفاده از دوده‌ی کربن باعث افزایش وزن خشک گیاه کاهو به میزان ۱۰ درصد شد درحالی‌که استفاده از ضایعات مو و آب آلوده وزن خشک گیاه را به ترتیب به میزان ۱۲ درصد و ۱۹ درصد کاهش داد. بررسی برهمکنش دوده‌ی کربن و آب آبیاری بر وزن ماده خشک اندام هوایی گیاه کاهو نشان داد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی در گلدان متعلق به تیمار حاوی دوده‌ی کربن (۳/۱۴ گرم در گلدان) و آب غیرآلوده و کم‌ترین وزن خشک اندام هوایی در گلدان مربوط به تیمار فاقد دوده‌ی کربن و آب آلوده (۲/۲۴ گرم در گلدان) می‌باشد (جدول ۵). نتایج حاصل از تحقیق عرفان و نادیان (۱۲) نشان داد آلودگی خاک به فلزات سنگین منجر به کاهش معنی‌دار شاخص‌های

بوعذار و همکاران: اثر کاربرد دوده‌ی کربن و ضایعات...

جدول (۴) مقایسه میانگین‌های ترکیبات تیماری دوده‌ی کربن ($C_1=0$ ، $C_2=3\%$) و آب آبیاری ($W_1=$ آب غیر آلوده، $W_2=$ آب آلوده) بر مؤلفه‌های رشدی و غلظت عناصر در اندام هوایی گیاه اسفناج

Table (4) Mean comparison of treatments consist of carbon black ($C_1 = 0$, $C_2 = 3\%$) and irrigation water ($W_1 =$ Non-contaminated water, $W_2 =$ contaminated water) on some growth parameters and the concentration of some elements in aboveground parts of spinach

میانگین (Mean)							تیمار (Treatment)
سرب Pb (mg/kg)	کادمیوم Cd (mg/kg)	مس Cu (mg/kg)	روی Zn (mg/kg)	آهن Fe (mg/kg)	وزن خشک Dry Weight (g)	وزن تر Fresh Weight (g)	
0.34 ^c	0.02 ^c	14.835 ^a	76.152 ^c	370.333 ^c	3.01 ^a	19.78 ^b	دوده‌ی کربن ۰٪* آب غیر آلوده Carbon 0%* Non-contaminated water (C_1W_1)
0.79 ^a	0.62 ^a	8.329 ^d	55.943 ^d	303.850 ^d	2.24 ^b	13.53 ^d	دوده‌ی کربن ۰٪* آب آلوده Carbon 0%* Contaminated water (C_1W_2)
0.2 ^d	0.011 ^d	16.275 ^b	91.702 ^a	478.833 ^a	3.14 ^a	20.66 ^a	دوده‌ی کربن ۳٪* آب غیر آلوده Carbon 3%* Non-contaminated water (C_2W_1)
0.6 ^b	0.3 ^b	13.292 ^c	86.775 ^b	388.133 ^b	2.57 ^b	18.7 ^c	دوده‌ی کربن ۳٪* آب آلوده Carbon 3%* Contaminated water (C_2W_2)

*میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد.

*For all variables with the same letter, the difference between the means is not statistically significant at the level of 5%.

استفاده از لاستیکهای مستعمل کربن فعال تولید کردند که این ماده قابلیت مناسبی را در جذب سطحی فنول نشان داد.

بررسی اثرات ساده و متقابل تیمارهای مورد مطالعه بر غلظت برخی از عناصر غذایی کم‌مصرف، کادمیوم و سرب در اندام هوایی گیاه اسفناج و کاهو

به‌طور کلی برخی از فلزات سنگین (از جمله کادمیوم و سرب) هیچگونه نقش تغذیه‌ای در حیات موجودات زنده نداشته و کم‌ویش برای گیاهان و میکروارگانیسم‌ها ایجاد سمیت می‌کنند. مهمترین و اصلی‌ترین اثر سمیت سرب برای گیاهان می‌تواند در تقابل این عنصر با جذب و انتقال عناصر غذایی ضروری گیاه و کاهش وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه بروز یابد (۴۸). بر اساس تحقیقات موجود، سرب باعث کاهش جذب و انتقال عناصر غذایی شامل کلسیم، پتاسیم، نیتروژن، فسفر، منیزیم، آهن و روی می‌گردد که با توجه به نوع گیاه و غلظت سرب در محیط رشد، اثرات متفاوت خواهد بود (۱۱). این اثرات سمی

با توجه به نتایج بدست آمده دوده‌ی کربن نه تنها باعث کاهش اثرات آب آلوده و اثر فلزات شده است بلکه در شرایط شاهد (استفاده از آب غیر آلوده) توانسته میزان رشد و عملکرد گیاه را بهبود بخشد. این ماده آلی با توجه به سطح جذب زیاد می‌تواند ویژگی‌های شیمیایی خاک را بهبود بخشد. علاوه بر آن با تقویت و سرعت بخشی به فعالیت‌های بیولوژیکی باعث افزایش سطح کیفیت خاک با اثرات کوتاه‌مدت و طولانی‌مدت می‌گردد. از کربن فعال حاصل از فرآیند پیرولیز برای حذف آلاینده‌های مختلف به خصوص آلاینده‌های رنگی در مقیاس وسیعی استفاده می‌شود. مواد نفتی، زغال طبیعی و چوب اصلی‌ترین پیش‌ماده تولید کربن فعال به شمار می‌روند و با توجه به گران بودن این مواد، قیمت کربن فعال تجاری بالا است (۴۷). از این رو در سال‌های اخیر تلاش‌های بسیاری شده است که از پیش‌ماده‌های ارزان‌تری برای تولید کربن فعال استفاده شود. در این راستا، امری و همکاران^۱ (۹، ۱۰) با

غیرمستقیم می‌تواند با اثرات سمی مستقیم شامل تقابل سرب با آنتی‌بیوتیک‌ها، نوکلئیک اسیدها و اختلال در فرایندهای متابولیکی همراه شده و در شرایط حاد باعث از بین رفتن گیاه گردد. لذا در شرایط آلودگی، علاوه بر توجه به اثرات

مستقیم، ارزیابی اثر فلزات سنگین بر غلظت سایر عناصر ضروری موجود در بافت گیاهی، می‌تواند در بررسی اثر آلاینده‌ها و نتیجتاً کاهش اثرات سوء آلودگی مؤثر باشد.

جدول (۵) مقایسه میانگین‌های ترکیب تیماری اثرسطوح مختلف دوده‌ی کربن ($C_1=0$, $C_2=3\%$) و آب آبیاری (W_1) غیر آلوده، (W_2) آب آلوده) بر مؤلفه‌های رشدی و غلظت عناصر در اندام هوایی گیاه کاهو

Table (5) Mean comparison of treatments consist of carbon black ($C_1 = 0$, $C_2 = 3\%$) and irrigation water ($W_1 =$ Non-contaminated water, $W_2 =$ contaminated water) on some growth parameters and the concentration of some elements in aboveground parts of lettuce

میانگین (Mean)							تیمار
سرب Pb (mg/kg)	کادمیوم Cd (mg/kg)	مس Cu (mg/kg)	روی Zn (mg/kg)	آهن Fe (mg/kg)	وزن خشک Dry Weight (g)	وزن تر Fresh Weight (g)	(Treatment)
0.52 ^b	0.02 ^c	11.72 ^b	61.888 ^b	379.617 ^c	1.96 ^c	12.21 ^c	دوده‌ی کربن ۰٪* آب غیر آلوده Carbon 0% * Non-contaminated water (C_1W_1)
0.83 ^a	0.57 ^a	4.27 ^d	47.47 ^c	307.833 ^d	1.66 ^d	10.56 ^d	دوده‌ی کربن ۰٪* آب آلوده Carbon 0% * Contaminated water (C_1W_2)
0.23 ^d	0.01 ^d	12.68 ^a	81.515 ^a	505.200 ^a	3.25 ^a	17.86 ^a	دوده‌ی کربن ۳٪* آب غیر آلوده Carbon 3% * Non-contaminated water (C_2W_1)
0.46 ^c	0.3 ^b	7.36 ^c	64.185 ^b	400.250 ^b	2.5 ^b	15.34 ^b	دوده‌ی کربن ۳٪* آب آلوده Carbon 3% * Contaminated water (C_2W_2)

*میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد.

*For all variables with the same letter, the difference between the means is not statistically significant at the level of 5%.

جدول (۶) مقایسه میانگین‌های ترکیب تیماری ضایعات مو ($H_1=0$, $H_2=3\%$) و آب آبیاری (W_1) غیر آلوده، (W_2) آب آلوده) بر مؤلفه‌های رشدی و غلظت عناصر در اندام هوایی گیاه اسفناج

Table (6) Mean comparison of treatments consist of hair waste ($H_1 = 0$, $H_2 = 3\%$) and irrigation water ($W_1 =$ Non-contaminated water, $W_2 =$ contaminated water) on some growth parameters and concentration of some elements in aboveground parts of spinach

میانگین (Mean)							تیمار
سرب Pb (mg/kg)	کادمیوم Cd (mg/kg)	مس Cu (mg/kg)	روی Zn (mg/kg)	آهن Fe (mg/kg)	وزن خشک Dry Weight (g)	وزن تر Fresh Weight (g)	(Treatment)
0.3 ^c	0.016 ^d	16.897 ^a	92.852 ^a	422.233 ^b	3.07 ^a	23.37 ^a	ضایعات مو ۰٪* آب غیر آلوده Hair waste 0% * Non-Contaminated water (H_1W_1)
0.74 ^a	0.58 ^a	10.205 ^b	75.200 ^b	325.117 ^d	2.25 ^b	18.58 ^b	ضایعات مو ۰٪* آب آلوده Hair waste 0% * Contaminated water (H_1W_2)
0.29 ^d	0.018 ^c	15.213 ^a	91.003 ^a	444.933 ^a	2.06 ^{ac}	17.07 ^c	ضایعات مو ۳٪* آب غیر آلوده Hair waste 3% * Non-Contaminated water (H_2W_1)
0.71 ^b	0.5 ^b	11.416 ^b	77.518 ^b	348.867 ^c	1.2 ^d	13.65 ^d	ضایعات مو ۳٪* آب آلوده Hair waste 3% * Contaminated water (H_2W_2)

*میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد.

*For all variables with the same letter, the difference between the means is not statistically significant at the level of 5%.

اثر تیمارها بر غلظت آهن، روی و مس در اندام هوایی گیاه اسفناج و کاهو

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر مستقل تیمارها در سطح ۱ درصد و اثر متقابل دوده‌ی کربن و آب آبیاری و اثر سه‌گانه تیمارها در سطح ۵ درصد بر غلظت آهن موجود در اندام هوایی اسفناج معنی‌دار است. استفاده از آب آلوده باعث کاهش ۲۲ درصدی در غلظت آهن اندام هوایی اسفناج گردید در حالی که کاربرد دوده‌ی کربن و ضایعات مو، هر کدام به صورت جداگانه باعث افزایش ۲۲ درصدی و ۶ درصدی در مقدار آهن گیاه گردید. کمترین میزان آهن با مقدار $313/2$ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار حاوی ضایعات مو و تحت آبیاری با آب آلوده و بیشترین غلظت آهن در تیمار کاربرد همزمان دوده‌ی کربن و ضایعات مو تحت آبیاری با آب غیرآلوده مشاهده شد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثرات ساده و متقابل سطوح مختلف دوده‌ی کربن، ضایعات مو و آب آبیاری بر غلظت آهن بخش هوایی گیاه کاهو در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۳). در شرایط آبیاری با آب آلوده در غلظت آهن در گیاه کاهو حدود ۱۹ درصد کاهش می‌یابد در صورتیکه کاربرد دوده‌ی کربن و ضایعات مو غلظت آهن گیاه را به ترتیب ۵۴ و ۱۱ درصد افزایش می‌دهند. با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها در مورد اثر متقابل دوده‌ی کربن و آب آبیاری (جدول ۵) بیشترین غلظت آهن گیاه در تیمار حاوی ۳ درصد دوده‌ی کربن تحت آبیاری با آب غیرآلوده به میزان $505/2$ میلی‌گرم در کیلوگرم و کمترین مقدار آن در تیمار فاقد دوده‌ی کربن و تحت آبیاری با آب آلوده به میزان $307/8$ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش می‌شود. همین روند به صورت مشابه در اثر متقابل ضایعات مو و آب آبیاری مشاهده گردید (جدول ۷). با بررسی میانگین‌ها در جدول اثر متقابل دوده‌ی کربن و ضایعات مو (جدول ۹) بیشترین مقدار آهن گیاه کاهو با مقدار $408/7$ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار استفاده همزمان دوده‌ی کربن و ضایعات مو هر کدام به مقدار $1/5$ درصد مشاهده می‌شود و در مقابل کمترین میزان آهن گیاه در تیمار فاقد مواد اصلاحی به میزان

$297/5$ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش می‌شود. به‌طور کلی مقدار آهن موجود در هر دو گیاه تحت تأثیر آبیاری با آب آلوده دچار کاهش می‌گردد که با اضافه شدن مواد اصلاحی شامل دوده‌ی کربن و ضایعات مو این کاهش تا حدی مرتفع می‌گردد. آهن جزء عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بوده و هرگونه تنش به گیاه با محدود نمودن رشد ریشه می‌تواند مانع از جذب این عنصر در مقادیر مناسب گردد. با توجه به اضافه شدن مواد اصلاحی تنش مربوط به فلزات سنگین تا حد زیادی توسط جاذب‌ها کاهش یافته است. دوده‌ی کربن و ضایعات مو هر دو منشأ آلی داشته که می‌توانند تا حدی باعث تحریک فعالیت بیولوژیکی در خاک گردند که به رشد بهتر ریشه و جذب بهتر عناصر غذایی می‌انجامد. حضور فلزات سنگین در خاک به علت کاهش طول و حجم ریشه، سبب کاهش جذب عناصر کم مصرفی مانند روی و آهن می‌شود اما برخی اظهارات بیانگر روابط آنتاگونیسمی این عناصر با یکدیگر است (۴۴). نورعلی و همکاران^۱ (۳۶) در مطالعات خود بر روی گیاه گشنیز دریافتند اضافه شدن کادمیوم به محیط کشت گیاه باعث کاهش معنی‌داری در میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل گیاه می‌گردد. محققان معتقدند عنصر سمی کادمیوم در رقابت با عنصر غذایی آهن می‌باشد؛ بنابراین ریشه به جای آهن، کادمیوم را جذب می‌کند و کادمیوم به جای منیزیم در مولکول کلروفیل قرار گرفته و به این ترتیب در سنتز کلروفیل اختلال ایجاد می‌کند (۱۹). به‌همین علت گیاهان رشد یافته در شرایط تنش آلودگی با کادمیوم عموماً دچار کلروز می‌شوند که در این پژوهش نیز اثرات مشابه مشاهده گردید. نتایج تجزیه واریانس غلظت روی در اندام هوایی اسفناج (جدول ۲) نشان می‌دهد که اثر مستقل دوده‌ی کربن و آب آبیاری در سطح ۱ درصد و اثر متقابل دوده‌ی کربن و آب آبیاری در سطح ۵ درصد بر غلظت روی در گیاه اسفناج معنی‌دار است.

جدول (۷) مقایسه میانگین‌های ترکیب تیماری اثر سطوح مختلف ضایعات مو ($H_1=0$, $H_2=3\%$) و آب آبیاری ($W_1=$ آب غیر آلوده، $W_2=$ آب آلوده) بر مؤلفه‌های رشدی و غلظت عناصر در اندام هوایی گیاه کاهو

Table (7) Mean comparison of treatments consist of hair waste ($H_1 = 0$, $H_2 = 3\%$) and irrigation water ($W_1 =$ Non-contaminated water, $W_2 =$ contaminated water) on some growth parameters and the concentration of some elements in aboveground parts of lettuce

میانگین (Mean)							تیمار (Treatment)
سرب Pb (mg/kg)	کادمیوم Cd (mg/kg)	مس Cu (mg/kg)	روی Zn (mg/kg)	آهن Fe (mg/kg)	وزن خشک Dry Weight (g)	وزن تر Fresh Weight (g)	
0.47 ^b	0.01 ^b	10.65 ^a	71.990 ^a	487.183 ^a	2.5 ^a	15.67 ^a	ضایعات مو ۰٪* آب غیر آلوده Hair waste 0%* Non-Contaminated water (H_1W_1)
0.75 ^a	0.48 ^a	5.05 ^c	55.485 ^b	299.467 ^c	2.6 ^a	14.43 ^b	ضایعات مو ۰٪* آب آلوده Hair waste 0%* Contaminated water (H_1W_2)
0.47 ^b	0.01 ^b	10.55 ^a	73.318 ^a	418.633 ^b	2.25 ^{ab}	15.19 ^a	ضایعات مو ۳٪* آب غیر آلوده Hair waste 0%* Non-Contaminated water (H_2W_1)
0.73 ^a	0.47 ^a	6.58 ^b	56.170 ^b	287.617 ^d	1.85 ^b	10.23 ^c	ضایعات مو ۳٪* آب آلوده Hair waste 3%* Contaminated water (H_2W_2)

*میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماري ۵ درصد می‌باشد.

*For all variables with the same letter, the difference between the means is not statistically significant at the level of 5%.

جدول (۸) مقایسه میانگین‌های تیمارهای دوده‌ی کربن ($C_1=0$, $C_2=3\%$) و ضایعات مو ($H_1=0$, $H_2=3\%$) بر غلظت عناصر در اندام هوایی گیاه اسفناج (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک)

Table (8) Mean comparison of treatments consist of carbon black ($C_1 = 0$, $C_2 = 3\%$) and hair waste ($H_1 = 0$, $H_2 = 3\%$) on the elements content in aboveground parts of spinach

میانگین (Mean)					تیمار (Treatment)
سرب Pb (mg/kg)	کادمیوم Cd (mg/kg)	مس Cu (mg/kg)	روی Zn (mg/kg)	آهن Fe (mg/kg)	
0.61 ^a	0.38 ^a	15.389 ^a	81.202 ^{ab}	333.217 ^d	دوده‌ی کربن ۰٪* ضایعات مو ۰٪ Carbon 0% Hair waste 0% (C_1H_1)
0.52 ^b	0.26 ^c	12.775 ^b	60.893 ^c	358.967 ^c	دوده‌ی کربن ۰٪* ضایعات مو ۳٪ Carbon 0% Hair waste 3% (C_1H_2)
0.45 ^d	0.2 ^d	11.713 ^c	88.850 ^a	414.133 ^b	دوده‌ی کربن ۳٪* ضایعات مو ۰٪ Carbon 3% Hair waste 0% (C_2H_1)
0.49 ^c	0.3 ^b	13.854 ^{ab}	75.628 ^b	431.833 ^a	دوده‌ی کربن ۱.۵٪* ضایعات مو ۱.۵٪ Carbon 1.5% Hair waste 1.5% (C_2H_2)

*میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماري ۵ درصد می‌باشد.

*For all variables with the same letter, the difference between the means is not statistically significant at the level of 5%.

بوعذار و همکاران: اثر کاربرد دوده‌ی کربن و ضایعات...

جدول (۹) مقایسه میانگین‌های تیمارهای دوده‌ی کربن ($C_1=0$ ، $C_2=3\%$) و ضایعات مو ($H_1=0$ ، $H_2=3\%$) بر غلظت عناصر در اندام هوایی گیاه کاهو (میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک)

Table (9) Mean comparison of treatments consist of carbon black ($C_1 = 0$, $C_2 = 3\%$) and hair waste ($H_1 = 0$, $H_2 = 3\%$) on the elements content in aboveground parts of lettuce

میانگین (Mean)					تیمار (Treatment)
سرب Pb (mg/kg)	کادمیوم Cd (mg/kg)	مس Cu (mg/kg)	روی Zn (mg/kg)	آهن Fe (mg/kg)	
0.71 ^a	0.33 ^a	7.79 ^c	54.553 ^b	297.517 ^d	دوده‌ی کربن ۰٪* ضایعات مو ۰٪ Carbon 0% Hair waste 0% (C_1H_1)
0.66 ^b	0.31 ^a	7.5 ^c	53.388 ^b	381.933 ^c	دوده‌ی کربن ۰٪* ضایعات مو ۳٪ Carbon 0% Hair waste 3% (C_1H_2)
0.41 ^d	0.16 ^c	8.91 ^b	72.922 ^a	404.733 ^b	دوده‌ی کربن ۳٪* ضایعات مو ۰٪ Carbon 3% Hair waste 0% (C_2H_1)
0.58 ^c	0.23 ^b	9.13 ^a	72.778 ^a	408.733 ^a	دوده‌ی کربن ۱.۵٪* ضایعات مو ۱.۵٪ Carbon 1.5% Hair waste 1.5% (C_2H_2)

*میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد.

*For all variables with the same letter, the difference between the means is not statistically significant at the level of 5%.

سمی اثبات شده بر رشد ریشه گیاه، دریافت روی توسط ریشه گیاه را محدود می‌کنند و در نتیجه غلظت این عنصر در هردو گیاه تحت آبیاری با آب آلوده کاهش یافته است. با توجه به نتایج موجود در جداول ۴ و ۵، به ترتیب در مورد گیاه اسفناج و کاهو کاربرد دوده‌ی کربن در شرایط آبیاری با آب آلوده در مقایسه با عدم کاربرد دوده‌ی کربن باعث افزایش غلظت روی در گیاهان به مقدار ۵۵ و ۳۵ درصد می‌گردد که این اختلاف ایجاد شده در هردو گیاه در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. در حقیقت دوده‌ی کربن به عنوان یک اصلاح‌کننده آلی با افزایش سطح جذب در خاک می‌تواند قابلیت تحرک و اثرگذاری آلاینده‌های فلزی را کاهش دهد و در مقابل با افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی و همچنین تغییر در قابلیت دسترسی عناصر غذایی کم‌مصرف که با توجه به ویژگی‌های خاک مورد مطالعه (جدول ۱) غلظت کمی در فاز محلول خاک دارند، امکان جذب این عناصر را نیز بهبود بخشد؛ چنانچه در شرایط عدم استفاده از آب آلوده نیز کاربرد دوده‌ی کربن در مورد هردو گیاه غلظت روی را در اندام هوایی به صورت معنی‌داری افزایش داده است (جدول ۴ و ۵).

براین اساس استفاده از آب آلوده مقدار روی گیاه را ۲۳ درصد کاهش می‌دهد درحالی‌که با استفاده از دوده‌ی کربن غلظت روی در اندام هوایی گیاه ۱۵ درصد افزایش می‌یابد. با توجه به معنی‌داری اثر متقابل دوده‌ی کربن و آب آبیاری، بیشترین مقدار روی در گیاه در تیمار حاوی دوده‌ی کربن و تحت آبیاری با آب غیرآلوده به مقدار ۹۱/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده می‌شود و کمترین مقدار آن در تیمار آب آلوده و فاقد دوده‌ی کربن به مقدار ۵۵/۹۴ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش می‌گردد (جدول ۴). در مورد کاهو، اثرات مستقل و متقابل دوده‌ی کربن و آب آبیاری و همچنین اثرات سه‌گانه تیمارها بر غلظت روی اندام هوایی در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۳). بیشترین مقدار روی گیاه در تیمار کاربرد همزمان دوده‌ی کربن و ضایعات مو تحت آبیاری با آب غیرآلوده به میزان ۸۴/۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و کمترین مقدار آن در تیمار فاقد مواد اصلاحی تحت آبیاری با آب آلوده به فلزات سنگین به مقدار ۴۳/۶۲ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده می‌گردد. همانند آنچه در مورد عنصر آهن اشاره شد، کادمیوم و سرب موجود در آب آلوده با اثرات

و در مقابل استفاده از دوده‌ی کربن کادمیوم گیاه اسفناج را به مقدار ۷۶ درصد کاهش داد. با بررسی اثر متقابل دوده‌ی کربن و ضایعات مو بر مقدار کادمیوم گیاه اسفناج (جدول ۸) نتایج نشان داد کمترین مقدار کادمیوم (۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار حاوی دوده‌ی کربن و فاقد ضایعات مو و بیشترین مقدار کادمیوم (۰/۳۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار فاقد مواد اصلاحی بود. با توجه به نتایج بدست آمده اثر دوده‌ی کربن بر کاهش غلظت کادمیوم بیشتر از ضایعات مو بوده به نحوی که کاهش درصد کاربرد دوده‌ی کربن در تیمار کاربرد همزمان دوده‌ی کربن و ضایعات مو باعث کاهش اثربخشی دوده‌ی کربن می‌گردد. به‌طورکلی بیشترین مقدار کادمیوم گیاه در تیمار فاقد مواد اصلاحی تحت آبیاری با آب آلوده (۰/۴۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کمترین مقدار کادمیوم گیاه در شرایط آبیاری با آب غیرآلوده در تیمار حاوی دوده‌ی کربن و فاقد ضایعات مو مشاهده شد. در مورد گیاه کاهو اثرات مستقل دوده‌ی کربن و آب آبیاری و اثرات متقابل تیمارها و برهمکنش سه‌گانه آنها در سطح ۱ درصد بر غلظت کادمیوم گیاه معنی‌دار است. با مقادیر متفاوت روند مشابهی از اثر تیمارها بر غلظت کادمیوم در هر دو گیاه مشاهده می‌شود. در تحقیقی لطفی و همکاران^۱ (۳۲) دریافتند افزودن ماده آلی به خاک بر تغییر معنی‌دار فرم زیست‌فراهم عنصر کادمیوم در خاک مؤثر بوده و با افزایش معنی‌دار ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار کربن آلی در خاک باعث کاهش معنی‌دار فرم زیست‌فراهم کادمیوم شده است. بنابراین تغییر ویژگی‌های خاک در اثر افزودن ماده آلی به خاک می‌تواند زیست‌فراهمی عناصر آلاینده را تحت تأثیر قرار دهد. نتایج تجزیه واریانس سرب اندام هوایی اسفناج (جدول ۲) نشان می‌دهد که اثر اصلی دوده‌ی کربن، ضایعات مو، آب آبیاری و اثرات متقابل دوده‌ی کربن و ضایعات مو، و دوده‌ی کربن و آب آبیاری در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. آب آلوده

در مورد عنصر مس تقریباً مشابه با دو عنصر دیگر اثر مستقل دوده‌ی کربن و آب آبیاری و اثرات متقابل آنها و همچنین اثرات سه‌گانه تیمارها در سطح ۱ درصد در گیاه اسفناج معنی‌دار است (جدول ۲). در مورد کاهو اثرات سه‌گانه بر غلظت مس گیاه معنی‌دار نشد (جدول ۳). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها در اثرات متقابل دوده‌ی کربن و آب آبیاری در ارتباط با گیاه اسفناج (جدول ۴)، دوده‌ی کربن در شرایط کاربرد آب غیرآلوده باعث افزایش مس گیاه به میزان ۹ درصد و در شرایط کاربرد آب آلوده به مقدار ۵۹ درصد می‌گردد که تفاوت بین تیمارها در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. در مورد گیاه کاهو این مقادیر به ترتیب ۸ و ۷۲ درصد می‌باشند (جدول ۵). لذا می‌توان نتیجه گرفت همراستا با دو عنصر دیگر دوده‌ی کربن علاوه بر مهار آلاینده‌ها، با تأثیر بر محیط رشد گیاه، مقدار عنصر مس را در گیاه افزایش داده است. اگر اوال (۳) بیان کرد که میزان جذب هر فلز از خاک به وسیله گیاه، تابع نوع خاک و ویژگی‌های آن، نوع فلز و شکل‌های آن و نوع گیاه می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که تغییرات ایجاد شده در ویژگی‌های خاک تا حدودی بر جذب این عناصر توسط گیاه مؤثر است. به‌طورکلی با بهبود شرایط خاک جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه (که در غلظتی به مراتب کمتر از عناصر آلاینده هستند) افزایش می‌یابد و این روند با ایجاد تنش‌های محیطی بیشتر به نفع یون‌های مزاحم و سمی تغییر می‌یابد.

اثر تیمارها بر غلظت کادمیوم و سرب در اندام هوایی گیاه اسفناج و کاهو

در گیاه اسفناج اثر مستقل دوده‌ی کربن، آب آبیاری و اثرات متقابل دوده‌ی کربن و آب آبیاری، دوده‌ی کربن و ضایعات مو و اثرات سه‌گانه تیمارها در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. اثر متقابل ضایعات مو و آب آبیاری بر غلظت کادمیوم گیاه در سطح ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۲). استفاده از آب آلوده حاوی کادمیوم باعث افزایش ۸۷ درصدی کادمیوم گیاه گردید

شدن یون‌های OH^- و افزایش پ-هاش خاک باعث کاهش حلالیت سرب می‌شود که احتمالاً به دلیل تشکیل $\text{Pb}(\text{OH})_2$ در پ-هاش حدود ۸ است (۳۱). گو و همکاران (۲۲) نشان دادند که ذغال‌های زیستی می‌توانند از طریق جذب سطحی و رسوب، سرب را تثبیت و در نتیجه آن گونه‌های محلول سرب را به شکل گونه‌های پایدارتر مانند هیدروکسی پایوموفایت تغییر شکل دهند. وجود گروه‌های کربوکسیلی که در ساختار دوده‌ی کربن نیز به وفور یافت می‌شود در جذب سطحی سرب بسیار مؤثر عمل می‌کنند. با توجه به نتایج بدست آمده دوده‌ی کربن به دلیل داشتن سطح فعال زیاد، واکنش سطحی مناسب، تخلخل بالا و خاصیت جذب به عنوان یک جاذب مناسب برای کاهش اثرات سوء کادمیوم و سرب، محسوب می‌گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که آب آلوده به عناصر سنگین منجر به کاهش معنی‌دار شاخص‌های رشدی از جمله وزن تر اندام هوایی و وزن خشک اندام هوایی گیاه اسفناج و کاهو نسبت به تیمار شاهد گردید. در بین تیمارهای اعمال شده، تیمارهای حاوی دوده‌ی کربن بیشترین شاخص‌های رشدی و تغذیه‌ای را داشتند. اثر کاربرد دو ماده جاذب شامل دوده‌ی کربن و ضایعات مو بر رشد گیاه اسفناج و کاهو و جذب فلزات سنگین نشان داد که کاربرد دوده‌ی کربن در مقایسه با ضایعات مو منجر به کاهش بیشتر جذب فلزات سنگین توسط گیاهان گردید. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش میزان آب آلوده در خاک، محتوای عناصر کم‌مصرف (آهن، مس و روی) در دو گیاه کاهش یافت؛ اما کاربرد دوده‌ی کربن و ضایعات مو هرکدام به تنهایی و همچنین کاربرد همزمان آنها، باعث افزایش جذب عناصر کم‌مصرف در گیاه اسفناج و کاهو گردید. در مورد کاهش اثرات آلاینده‌ها دوده‌ی کربن به مراتب مؤثرتر از ضایعات مو عمل کرد که بنظر می‌رسد این اثرگذاری به

میزان سرب گیاه را ۶۱ درصد افزایش داده در حالیکه کاربرد دوده‌ی کربن و ضایعات مو سرب گیاه را به ترتیب ۵۸ و ۲۵ درصد کاهش داد. در ارتباط با غلظت سرب در اندام هوایی گیاه کاهو، آبیاری با آب آلوده باعث افزایش ۶۰ درصدی مقدار سرب گردید و در مقابل دوده‌ی کربن حدود ۵۴ درصد غلظت سرب گیاه را کاهش داد. در پژوهش مانوسکی و کالوگراس (۳۳) گیاهان سرب را در غلظت‌های بالای محلول خاک نسبت به غلظت‌های کم، بیشتر ذخیره می‌کنند. دوده‌ی کربن با توجه به ساختار خود و فعالیت گروه‌های عاملی سطحی بویژه کربوکسیل که در پ-هاش بیشتر از ۶ دارای بار منفی بیشتری شده و قابلیت جذب سطحی بیشتری برای کاتیون‌ها می‌یابد، در کاهش تحرک کادمیوم و سرب مؤثر بوده و امکان حضور در فاز محلول و جذب توسط ریشه گیاه را کاهش داده است. هوبن و همکاران (۲۵) اثر زغال فعال بر فراهمی زیستی سرب، کادمیوم و روی را در گیاه کلزا کشت شده در خاک آلوده به این سه فلز سنگین بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که فراهمی زیستی فلزات سنگین با افزایش مقدار ذغال فعال کاهش یافته است. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که ترکیبات آلی حاوی کربن مانند ذغال زیستی به‌طور قابل توجهی برخی از فلزات سنگین مانند کادمیوم و سرب را در خاک تثبیت می‌کنند (۴۹). کیم و همکاران (۲۸) با بررسی اثر سطوح مختلف ذغال زیستی بر گیاه کاهو گزارش کردند کاربرد این ماده غلظت سرب در بخش هوایی گیاه را ۶۰ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داد که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر همخوانی دارد. تغییر در خصوصیات ریزوسفری خاک که توسط ترشحات ریشه‌ای مانند قندها، اسیدهای آلی و غیره و همچنین اصلاح‌کننده‌های آلی صورت می‌گیرد ممکن است به‌طور معنی‌داری بر تحرک، فراهمی زیستی و انتقال فلزات سمی تأثیرگذار باشد (۱۵). افزایش پ-هاش خاک توسط اصلاح‌کننده‌های آلی یکی از روش‌های اصلی تثبیت سرب در خاک است (۴). آزاد

تحقیق نیز در مسیر بازیافت بهتر این ماده می‌تواند مؤثر باشد.

سپاس‌گزاری

صمیمانه از شرکت کربن ایران و جناب آقای مهندس مرتضی ایزدیان جهت همکاری در تأمین دوده‌ی کربن مورد نیاز این پژوهش، کمال قدردانی و تشکر را می‌نمائیم.

دلیل شباهت دوده‌ی کربن و کربن فعال باشد که به عنوان یک جاذب با ظرفیت جذب بالا می‌تواند کاربردهای بسیار فراوانی داشته باشد. لذا انجام تحقیقات بیشتر در زمینه کاربرد این ماده در بخش کشاورزی با توجه به قابلیت‌های آن ضروری به نظر می‌رسد. تبدیل ضایعات مو به کمپوست و مقایسه اثرات آن با نتایج این

منابع

1. Abedi-Koupai, J., Mostafazadeh-fard, B., Afyuni, M., and Bagheri, M.R. 2001. September. Influence of treated wastewater and irrigation systems on soil physical properties in Isfahan province. In ICID International workshop on waste water reuse management. Sep (pp. 19-20).
2. Adriano, D.C. 2001. Arsenic. In Trace elements in terrestrial environments (pp. 219-261). Springer, New York, NY.
3. Agarwal, S.K. 2002. Pollution Management: Water Pollution. A.P.H. Publ., New Delhi.
4. Ahmad, M., Hashimoto Y., Moon D.H., Lee S.S., and Ok Y.S. 2012. Immobilization of lead in a Korean military shooting range soil using eggshell waste: an integrated mechanistic approach. Journal of Hazard Materials, 209–210:392-401.
5. Ahmadpour, A. and Abraham, H. 2002. The manufacture of carbonaceous carbon from palm kernel using chemical agents of phosphoric acid and zinc chloride. 12th Iranian Chemical Engineering Curve. (In Persian with English abstract).
6. Alam, M.G.M., Snow, E.T., and Tanaka, A. 2003. Arsenic and heavy metal contamination of vegetables grown in Samta village, Bangladesh. Science of the Total Environment, 308(1-3): 83-96.
7. Alizadeh, A. 2001. Using reclaimed municipal wastewater for irrigation of corn. International Workshop on Wastewater Reuse Management, ICID-CIID, Seoul.
8. Amalo-Nole, L.A., Perales-Perez, O., and Roman-Velazquez, F.R. 2011. Sorption study of toluene and xylene in aqueous solutions by recycled tires crumb rubber. Journal of Hazardous Material. 185: 107-111.
9. Amari, T., Themelis, N. J. and Wernick, I. K. 1999. Resource recovery from used rubber tires. Resources Policy. 25(3): 179-188.
10. Amri, N., Zakaria, R. and Bakar, M.Z.A. 2009. Adsorption of phenol using activated carbon adsorbent from waste tyres. Pertanika Journal of Science and Technology, 17(2): 371-80.

11. Antosiewicz, D.M. 2005. Study of calcium-dependent lead-tolerance on plants differing in their level of Ca-deficiency tolerance. *Environmental Pollution*, 134: 23-34.
12. Arfan, I. and Nadian, H. 2015. Effects of nickel and arsenic on growth indices and absorption of some nutrients in Shahi and Jafari, MS, Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University. (in Persian with English abstract)
13. Ayers, R.S. and Westcot, D.W. 1985. Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper, 29 (1).
14. Ayotamuno, M.J., Kogbara, R.B., Ogaji, S.O.T., and Probert, S.D. 2006. Petroleum contaminated ground-water: Remediation using activated carbon. *Applied Energy*, 83(11): 1258-1264.
15. Barzin, M., Kheirabadi, H., and Ephiunei, M. 2015. Investigation of contamination of some heavy metals in surface soils of Hamedan province using pollution indices *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 72: 69-79.
16. Buragohain, M., Bhuyan, B., and Sarma, H.P. 2010. Seasonal variations of lead, arsenic, cadmium and aluminium contamination of groundwater in Dhemaji district, Assam, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 170 (1-4): 345-351.
17. Calisir, F., Roman, F.R., Alamo, L., Perales, O., Arocha, M.A., and Akman, S. 2009. Removal of Cu (II) from aqueous solutions by recycled tire rubber. *Desalination*, 249(2): 515-518.
18. Chen, Z.S., Lao, S.L., and Wu, H.C. 1994. Summary analysis and assessment of rural soils contaminated with Cd in Taoyuan. Project report of Scientific Technology Advisor Group (STAG), Executive Yuan. Taipei, Taiwan. 153.
19. Das, P., Samantaray. S. and Routm, G.R. 2001. Studies on cadmium toxicity in plants. *Environmental Pollution Journal*, 98: 26-36.
20. Diaz-Diez, M.A., Gómez-Serrano, V., González, C.F., Cuerda-Correa, E.M., and Macias-Garcia, A. 2004. Porous texture of activated carbons prepared by phosphoric acid activation of woods. *Applied Surface Science*, 238(1-4): 309-313.
21. Eun, S.O., Youn, H.S., and Lee, Y. 2000. Lead disturbs microtubule organization in the root meristem of *Zea mays*. *Physiology of Plant*, 110: 357-365.
22. Gu, H.H., Zhan, S.S., Wang, S.Z., Tang, Y.T., Chaney, R.L., Fang, X.H., Cai, X.D., and Qiu, R.L. 2012. Silicon-mediated amelioration of zinc toxicity in rice (*Oryza sativa L.*) seedlings. *Plant and Soil*, 350: 193- 204.
23. Gupta, S.C. and Goldsbrough P.B. 1991. Phytochelatin accumulation and cadmium tolerance in selected tomato cell lines. *Plant Physiology*, 97:306-312.
24. Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sediment logical approach. *Water Research*, 8: 975-1001.

25. Houben, D., Evrard, L., and Sonnet, P.H. 2013. Beneficial effects of biochar application to contaminated soils on the bioavailability of Cd, Pb and Zn and the biomass production of rapeseed (*Brassica napus L.*). *Biomass and Bioenergy*, 57:196-204.
26. Huang, T.L. and Huang, H.J. 2008. ROS and CDPK-like kinase-mediated activation of MAP kinase in rice roots exposed to lead. *Chemosphere*, 71: 1377-1385.
27. Karbassi, A.R., Nabi-Bidhendi, Gh.R., and Bayati, I. 2005. Environmental geochemistry of heavy metals in a sediment core off Bushehr, Persian Gulf, Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 2(4): 225-260.
28. Kim, H.S., Kim, K.R., Kim, H.J., Yoon, J.H., Yang, J.E., Ok, Y.S., Owens, G., and Kim, K.H. 2015. Effect of biochar on heavy metal immobilization and uptake by lettuce (*Lactuca sativa L.*) in agricultural soil. *Environmental Earth Science*, 74:1249-1259.
29. Larchevêque, M., Ballini, C., Korboulewsky, N., and Montès, N. 2006. The use of compost in afforestation of Mediterranean areas: effects on soil properties and young tree seedlings. *Science of the Total Environment*, 369(1-3): 220-230.
30. Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. 1978. Development of DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421-428.
31. Lindsay, W.L. 1979. *Chemical Equilibria in Soils*. John Wiley and Sons Inc., USA.
32. Lotfi, F., Fotovat, A., Khorasani, R., and Bahreini, M. 2017. Effect of organic manure on cadmium fractionation in soil. *Journal of Soil and Water*, 31 (6): 1611-1622.
33. Manousaki, E. and Kalogerakis, N. 2009. Phytoextraction of Pb and Cd by the Mediterranean saltbush (*AtriplexhalimusL.*): metal uptake in relation to salinity. *Journal of Environmental Science and Pollution Research*, 16:84-854.
34. McGrath, S.P., Chaudri, A.M., and Giller, K.E. 1995. Long term effects of metals in sewage sludge on soils, micro-organisms and plants. *Journal of Microbiology*, 14(2): 94-104.
35. Mohammadi, J. 2001. Cadmium concentration in vegetable crops grown in polluted soils of Kempen region (Belgium). 4th National Conference on Environmental Health. 528-35. (Persian).
36. Nor-ali, E., Nadian, H. and Heidari, M. 2015. Effect of salinity and cadmium on cholorophil content in coriander. 3rd Conference on Agriculture and Environmental Research. Tehran. Iran.
37. Quevauviller, P. 1998. Operationally defined extraction procedures for soil and sediment analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, 17(5): 289-298.
38. Radha, J. and Srivastava, S. 2006. Effect of cadmium on growth, mineral composition and enzyme activity of sugarcane. *Indian Journal of Plant Physiology*, 2(3):306-309.

39. Rattan, R.K., Datta, S.P., Chhonkar, P.K., Suribabu, K., and Singh, A.K. 2005. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater-a case study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 109(3-4): 310-322.
40. Saidi, M., Jamshidi, A., and Bayat, J. 2008. Absorption of cadmium from water by coal made of peanut and almonds and comparing it with granular activated carbon. *Water and Seaworthy*, (70):16-22.
41. Shah, K. and Dubey, R.S. 2017. Effect of cadmium on proline accumulation and ribonuclease activity in rice seedlings: role of proline as a possible enzyme protectant. *Biologia Plantarum*, 40(1):121-130.
42. Shahbazi, A., Younesi, H., and Badiei, A. 2012. Synthesis of organic-inorganic hybrid amine based on nanostructured silicate materials and its application for removal of heavy metal ions from aqueous solution. *Journal of Water and Wastewater*, 23: 2-12. (In Persian).
43. Singh, B.R. and E. Steinnnes. 1994. Soil and water contamination by heavy metals. PP. 233-271. In: R. Lal and B. A. Stewarts (Eds.), *Soil Processes*, CRC Press, USA.
44. Veselov, D., Kuudoyarova, G., Ssymonyan, M., and Veselov, S.T. 2003. Effect of cadmium on onion uptake, transpiration and cytokinin content in wheat seedlings, *Plant Physiology*, 117: 353-359.
45. Winfried, E.R. 1995. Phytochleatins and related peptides. Structure, Biosynthesis, and Function. *Plant physiology*, 109:1141-1149.
46. World Health Organization (WHO). *Guidelines for Drinking Water Quality*. 3rd edition. Geneva.
47. Yang, P., Mao, R., Shao, H., and Gao, Y. 2009. The spatial variability of heavy metal distribution in the suburban farmland of Taihang Piedmont Plain, China. *Comptes rendus biologiques*, 332(6): 558-566.
48. Zaier, H., Ghnaya, T., and Abdelly, C. 2014. Interactions between Lead on Nutrients (Ca^{2+} , K^+ , N), and their Consequences on Growth in *Sesuvium portulacastrum* and *Brassica juncea*. *Journal of Bioremediation and Biodegradation* 5: 243-253.
49. Zhang, R.H., Li, Z.G., Liu, X.D., Wang, B.C., Zhou, G.L., Huang, X.X., Lin, C.F., and Wang, A.H. 2017. Immobilization and bioavailability of heavy metals in greenhouse soils amended with rice straw-derived biochar. *Ecological Engineering*, 98:183-188.