بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی و حاصلخیزی

مطالعه تأثیر مصرف سولفات روی بر جذب کادمیم در اسفناج و تربچه

نگارنده: ناهید سمیعی

استاد راهنما:

دکتر هادی قربانی

اساتید مشاور:

دکتر حسین میرزایی مقدم

دکتر یاسر صفری

بهمن ۱۳۹۸

شماره: ۳/۲۵۵
تاریخ: ۱۳۹۸/۱۲/ -

باسمه‌تعالی

دانشگاه صنعتی شاهرود
مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم ناهید سمیعی با شماره دانشجویی۹۵۰۸۱۴۴ رشته علوم خاک گرایش مدیریت حاصلخیزی و زیست فناوری خاک،شیمی،حاصلخیزی **خاک و تغذیه گیاه**

تحت عنوان **"مطالعه تأثیر مصرف سولفات روی بر جذب کادمیم در اسفناج و تربچه"**

که در تاریخ ۱۳۹۸/۱۱/۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹ ☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹ – ۱۸ ☑

ج) درجه خوب: نمره۱۷/۹۹– ۱۶ ☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۵/۹۹-۱۴ ☐

ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐

نوع تحقیق: **نظری** ☐ **عملی** ☑

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	دکترهادی قربانی	دانشیار	
۲- استادراهنمای دوم			
۳- استاد مشاوراول	دکترحسین میرزایی مقدم	استاد یار	
۴-استادمشاوردوم	دکتریاسرصفری	استاد یار	
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکترسیدحسین حسینی	استاد یار	
۶- استاد ممتحن اول	دکترعلی عباسپور	دانشیار	
۷ـ استاد ممتحن دوم	دکتروجیهه درستکار	استاد یار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:دکتر محمدرضا عامریان

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم به

زیباترین نقش های عالم هستی

پدر و مادر عزیزم که وجودشان سرچشمه لطف است و اسوه تلاش و فداکاری

و

همسر و خواهر و برادران مهربانم

تشکر و قدردانی

سپاس بیکران ایزد منان را که در پرتو لایزالش توفیق آموختن میسر نمود تا منت‌پذیر آستانش باشم . امروز که به توفیق ایزد مهربان راهی دیگر از زندگی را با موفقیت سپری کردم ، پیشانی شکر بر سجده گاه عبودیت می سایم و بر خود واجب می دانم که از منت گذاران این راه قدردانی نمایم و باشهادت قلم چند سطری را به سپاس زحمات بی دریغشان بنگارم . در همین راستا بر اساس روایت مشهور لم یشکر مخلوق لم یشکر خالق ، نخست سزاوار است نهایت سپاس قلبی خود را تقدیم حضور استاد راهنمای گرامیم جناب آقای دکتر هادی قربانی گردانم که از زحمات و راهنمایی های ارزشمندشان بسیار سپاسگزارم،

و از اساتید مشاورم جناب آقای دکتر حسین میرزایی مقدم و جناب آقای دکتر یاسر صفری که از راهنمایی های بی دریغ و دلسوزانه‌شان بسیار آموختم .

و از همه اساتید محترم و دوستان عزیزم که در این مدت از حضورشان بهره ها بردم .

تعهدنامه

اینجانب ناهید سمیعی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **مطالعه تأثیر مصرف سولفات روی بر جذب کادمیم در اسفناج و تربچه** تحت راهنمائی دکتر هادی قربانی متعهد می‌شوم.

تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .

در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .

مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .

کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .

حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می گردد.

در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .

در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده:

باتوجه به ایجاد سمیت کادمیم در غلظت‌های کم و شباهت رفتاری یون‌های روی و کادمیم، و نیز به منظور بررسی اثر کادمیم و روی بررشد و میزان انباشتگی کادمیم در دو سبزی اسفناج و تربچه، آزمایشی به صورت فاکتوریل درقالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار درگلخانه دانشگاه صنعتی شاهرود درسال ۱۳۹۷ به اجرا درآمد. کادمیم به عنوان فاکتور اول در سه غلظت (۰، ۱۰ و ۲۰ میلی-گرم بر کیلوگرم خاک) از منبع سولفات و روی با سه سطح (۰، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) از منبع سولفات به عنوان فاکتور دوم استفاده شد. براساس نتایج به‌دست آمده مشاهده شد که غلظت‌های مختلف کادمیم اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن تر و خشک و غلظت کادمیم اندام هوایی گیاه اسفناج و طول ریشه، سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه، غلظت کادمیم اندام هوایی و غلظت کادمیم ریشه در گیاه تربچه داشت؛ در حالیکه ارتفاع ساقه و وزن تر و خشک اندام هوایی تربچه تحت تاثیر کادمیم قرار نگرفت. اثر روی نیز بر ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی اسفناج معنی‌دار بود و باعث افزایش آنها شد؛ اما در تربچه مصرف روی در هیچکدام از صفات مورد بررسی اثر معنی‌داری نداشت. همچنین اثر متقابل روی وکادمیم در اسفناج بر صفات ارتفاع بوته، وزن تر و خشک و غلظت کادمیم اندام هوایی و در تربچه تنها بر غلظت کادمیم ریشه معنی‌دار شد. در هر دو گیاه (اسفناج و تربچه) بیشترین مقدار جذب کادمیم، در بالاترین سطح آلودگی خاک به کادمیم (۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک) و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (بدون کادمیم) صورت گرفت. یعنی با افزایش سطح کادمیم خاک، مقدار کادمیم جذب شده در اندام هوایی هر دو گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در این حالت، افزایش سطح روی اگرچه میزان جذب و غلظت کادمیم اندام هوایی را افزایش داد؛ اثرات سمیت کادمیم در صفات رشدی کمتر مشاهده شد. در تربچه در صورت افزایش غلظت روی در خاک، تأثیر چشمگیری در میزان تجمع کادمیم ریشه مشاهده نگردید.

کلمات کلیدی : اسفناج ، تربچه ، روی ، کادمیم

فهرست مطالب

فصل ۱ : مقدمه **۱**

۱-۱-مقدمه ۲

۱-۲-ضرورت تحقیق ۵

فصل ۲ : کلیات و مرور منابع **۷**

۲-۱-گیاه پالایی ۸

۲-۲-اسفناج ۹

۲-۲-۱-شناسنامه ۹

۲-۲-۲-شرح گیاه ۱۰

۲-۲-۳-ترکیبات مؤثر در اسفناج ۱۰

۲-۲-۴-نیاز اکولوژیکی ۱۱

۲-۲-۵-آماده سازی خاک ۱۱

۲-۲-۶-تاریخ و فواصل کاشت ۱۲

۲-۲-۷-ارقام اسفناج ۱۲

۲-۲-۸-کاشت ۱۳

۲-۲-۹-داشت ۱۴

۲-۲-۱۰-برداشت ۱۴

۲-۲-۱۱-خواص دارویی ۱۵

۲-۲-۱۲-مضرات ۱۶

۲-۳-تربچه ۱۶

۲-۳-۱-شناسنامه تربچه ۱۶

۲-۳-۲-خواص درمانی گیاه تربچه ۱۷

۲-۴-عناصر سنگین ۱۸

۲-۴-۱-کادمیم ۱۹

۲-۴-۲-روی ۲۳

۲-۴-۳-کادمیم و روی ۲۴

فصل۳ : مواد و روش ها **۲۵**

۳-۱-زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش : ۲۶

۳-۲-ویژگی های آب و هوایی :..... ۲۶
۳-۳-مشخصات طرح آزمایشی :..... ۲۶
۳-۴-آماده سازی خاک و روش های آزمایش :..... ۲۶
۳-۵- اندازهگیری غلظت فلزات سنگین در اندامهای مختلف گیاه :..... ۲۷
۳-۶-اندازه گیری سطح برگ و ارتفاع گیاهان :..... ۲۸
۳-۷-روشهای آماری مورد استفاده :..... ۲۸
فصل۴ : نتایج و بحث **۳۱**
۴-۱- بررسی تاثیر غلظت روی و کادمیم بر رشد و میزان انباشتگی کادمیوم در گیاه اسفناج :..... ۳۲
۴-۱-۱- ارتفاع گیاه :..... ۳۲
۴-۱-۱-۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر ارتفاع بوته..... ۳۲
۴-۱-۱-۲- اثر سطوح مختلف روی بر ارتفاع بوته :..... ۳۳
۴-۱-۱-۳- اثرمتقابل سطوح مختلف روی و کادمیم بر ارتفاع بوته :..... ۳۴
۴-۱-۲- سطح برگ :..... ۳۵
۴-۱-۲-۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر سطح برگ :..... ۳۶
۴-۱-۲-۲- اثر سطوح مختلف روی بر سطح برگ :..... ۳۷
۴-۱-۳- وزن تر و خشک اندام هوایی :..... ۳۸
۴-۱-۳-۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر وزن تر و خشک اندام هوایی :..... ۳۹
۴-۱-۳-۲- اثر سطوح مختلف روی بر وزن تر و خشک اندام هوایی :..... ۴۰
۴-۱-۳-۳- اثرمتقابل سطوح مختلف روی و کادمیم بر وزن تر و خشک اندام هوایی :..... ۴۱
۴-۱-۴- غلظت کادمیم اندام هوایی :..... ۴۳
۴-۱-۴-۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر غلظت کادمیم اندام هوایی..... ۴۴
۴-۱-۴-۲- اثرمتقابل سطوح مختلف روی و کادمیم بر غلظت کادمیم اندام هوایی :..... ۴۶
۴-۲- بررسی تاثیر غلظت روی و کادمیم بر رشد و میزان انباشتگی کادمیوم در گیاه تربچه :..... ۴۸
۴-۲-۱- ارتفاع اندام هوایی :..... ۴۸
۴-۲-۲- سطح برگ :..... ۴۹
۴-۲-۲-۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر سطح برگ :..... ۵۰
۴-۲-۳- وزن تر و خشک اندام هوایی :..... ۵۱
۴-۲-۴- وزن تر و خشک ریشه تربچه :..... ۵۲
۴-۲-۴-۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر وزن تر و خشک ریشه تربچه :..... ۵۲
۴-۲-۵- طول ریشه(غده) :..... ۵۳
۴-۲-۵-۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر طول ریشه..... ۵۴
۴-۲-۶- غلظت کادمیم اندام هوایی تربچه :..... ۵۵

۴-۲-۶-۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر غلظت کادمیم اندام هوایی تربچه : ۵۵
۴-۲-۶-۲- اثرمتقابل سطوح مختلف روی و کادمیم بر غلظت کادمیم اندام هوایی تربچه : ۵۷
۴-۲-۷- غلظت کادمیم ریشه(غده) تربچه : ۵۸
۴-۲-۷-۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر غلظت کادمیم ریشه : ۵۹
فصل۵ : نتیجه گیری و پیشنهادات **۶۲**
۵-۱-نتیجه گیری : ۶۳
۵-۲- پیشنهادات ۶۵
منابع ۶۶

فهرست جداول

جدول۲-۱.مشخصات اسفناج..... ۹
جدول۲-۲ مشخصات تربچه ۱۶
جدول۴-۱: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر ارتفاع گیاه اسفناج ۳۲
جدول۴-۲: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر سطح برگ گیاه اسفناج ..۳۶
جدول۴-۳: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر وزن تر وخشک اندام هوایی گیاه اسفناج.....۳۸
جدول۴-۴: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر غلظت کادمیم اندام هوایی گیاه اسفناج.....۴۳
جدول۴-۵: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر ارتفاع گیاه تربچه ۴۹
جدول۴-۶: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر سطح برگ گیاه تربچه.....۵۰
جدول۴-۷: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر وزن تر وخشک اندام هوایی گیاه تربچه.....۵۱
جدول۴-۸: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر وزن تر وخشک ریشه گیاه تربچه.....۵۲
جدول۴-۹: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر طول غده گیاه تربچه.....۵۳
جدول۴-۱۰: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر غلظت کادمیم اندام هوایی گیاه تربچه.....۵۵
جدول۴-۱۱: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر غلظت کادمیم ریشه گیاه تربچه.....۵۸

فهرست اشکال

شکل۳-۱-مرحله کاشت و جوانه زنی ۲۹
شکل۳-۲-مرحله سبزشدن ۲۹
شکل ۴-۱: اثر سطوح مختلف کادمیم بر ارتفاع بوته گیاه اسفناج ۳۳
شکل ۴-۲: اثر سطوح مختلف روی بر ارتفاع بوته گیاه اسفناج ۳۴
شکل ۴-۳: اثر متقابل سطوح مختلف روی و کادمیم بر ارتفاع بوته گیاه اسفناج ۳۵
شکل ۴-۴: اثر سطوح مختلف کادمیم بر سطح برگ گیاه اسفناج ۳۶
شکل ۴-۵: اثر سطوح مختلف روی بر سطح برگ گیاه اسفناج ۳۷
شکل ۴-۶: اثر سطوح مختلف کادمیم بر وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه اسفناج ۳۹
شکل ۴-۷: اثر سطوح مختلف روی بر وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه اسفناج ۴۱
شکل ۴-۸: اثر متقابل سطوح مختلف روی و کادمیم بر وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه اسفناج ... ۴۲
شکل ۴-۹: اثر سطوح مختلف کادمیم بر میزان کادمیم گیاه اسفناج ۴۴
شکل ۴-۱۰: تأثیر برهمکنش روی و کادمیم بر میزان کادمیم گیاه اسفناج ۴۶
شکل ۴-۱۱: اثر سطوح مختلف کادمیم بر سطح برگ گیاه تربچه ۵۰
شکل ۴-۱۲: اثر متقابل سطوح مختلف روی و کادمیم بر وزن تر و خشک ریشه گیاه تربچه ۵۳
شکل ۴-۱۳: اثر سطوح مختلف کادمیم بر طول ریشه گیاه تربچه ۵۴
شکل ۴-۱۴: اثر سطوح مختلف کادمیم بر میزان کادمیم اندام هوایی گیاه تربچه ۵۶
شکل ۴-۱۵: تأثیر برهمکنش روی و کادمیم بر میزان کادمیم اندام هوایی گیاه تربچه ۵۷
شکل ۴-۱۶: اثر سطوح مختلف کادمیم بر میزان کادمیم ریشه گیاه تربچه ۵۹

فصل ۱

مقدمه

۱-۱-مقدمه

امروزه خاک این منبع با ارزش زیستی که حیات انسان ها بدان وابسته است از طرق مختلف در معرض آلودگی قرار دارد. آلودگی خاک با فلزات سنگین از مشکلات اساسی در بسیاری مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان می‌باشد (هلال و همکاران۱۹۹۵).

خاک منبع اصلی تغذیه معدنی گیاهان است. گیاهان از اولین ارگانیسم هایی هستند که وقتی شرایط خاکی تغییر می‌کند، واکنش نشان می‌دهند و این امر آن ها را به عنوان نشانگرهای زیستی عالی در مورد تغییرات نامطلوب خاک مانند انباشتگی فلزات سنگین درمی‌آورد (سیمون و ابرهارد،۲۰۰۰).

آلودگی آب و خاک به فلزات سنگین، ضمن کاهش عملکرد و کیفیت محصول، پایداری تولید کشاورزی و سلامت افراد جامعه را با خطر مواجه می‌کند. اگرچه فلزات سنگین می‌توانند به طور طبیعی و از طریق هوادیدگی سنگ ها و کانی ها و طی فرایند خاکسازی در خاک تجمع یابند ولی این منبع طبیعی آلودگی در مقایسه با آلودگی ناشی از فعالیت های انسان از جمله احداث کارخانجات صنعتی، استخراج معادن، سوخت های فسیلی، مصرف کودهای شیمیایی و آلی، فاضلاب های صنعتی و لجن فاضلاب دارای اهمیت کمی می‌باشد (مائوسکار و همکاران،۲۰۰۷).

در میان فلزات سنگین کادمیم دارای اهمیت ویژه ای است زیرا به راحتی جذب ریشه گیاه شده و سمیت آن برای گیاهان تا۲۰ برابر بیشتر از سایر فلزات سنگین است (ثواقبی و ملکوتی۱۳۷۹). کادمیم عنصری با وزن اتمی۱۱۲/۴، نقطه ذوب ۳۲۱ و نقطه جوش۷۶۷ درج سانتی گراد می‌باشد. این فلز ار طریق حفاری، صنایع فلزی و شیمیایی، آبکاری و کودهای شیمیایی و آفت کش ها وارد محیط زیست می‌شود. کادمیم ممکن است موجب ضایعات کلیوی، افزایش فشار خون، جهش زایی و سرطان‌زایی در انسان شود (ناظمی و خسروی۱۳۹۰).

انباشت عناصر سنگین در خاک باعث بروز اختلال در دیگر بخش های اکوسیستم خواهد شد. به عنوان نمونه در صورتی که غلظت کادمیم در خاک از ۳ میلی متر تجاوز نماید، تثبیت نیترژن توسط

میکروارگانیسم ها مختل می‌گردد (خسروی دهکردی و همکاران ،۱۳۹۶). دوام بلند مدت بیولوژیکی و باقی ماندن در خاک سبب انباشته شدن این فلزات در زنجیره غذایی و در نتیجه تأثیرات منفی بالقوه برای سلامتی انسان می‌گردد (کارپاتا و همکاران ، ۲۰۰۹). میزان دسترسی به این فلزات بستگی به نوع گیاه و میزان مورد نیاز آنها به عنوان ریزمغذی و قابلیت گیاهان برای تنظیم سوخت وساز آنها از طریق ترشح اسیدهای آلی یا پروتون ها به محیط ریشه دارد. علاوه بر آن خصوصیات خاک بر میزان تحرک آنها و بنابراین تنظیم میزان آزادسازی آنها در محلول خاک مؤثر است (ارنست و همکاران ، ۱۹۹۶).

در بین عناصر موجود در کودهای شیمیایی کادمیم مهمترین آنها محسوب می شود. بر اساس مطالعه صورت گرفته در کشور انگلستان، در مناطق غیرصنعتی و غیرآلوده بیش از ۵۰ درصد از کل کادمیم ورودی به زمین‌های کشاورزی ناشی از کاربرد کودهای فسفره است. سهم کودهای فسفره در ورود کادمیم به زمین‌های کشاورزی در کشورهای اروپایی بین ۴۴ تا ۷۷ درصد از مقدار کل کادمیم ورودی است. با توجه به مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در ایران سهم کودهای فسفره در انباشت عناصر سنگین و بخصوص کادمیم در زمین های کشاورزی قابل توجه است (پورمقدس و همکاران ،۱۳۹۵).

در سال های اخیر توجه به فلزات سنگین در خاک به دلیل آثار نامطلوب آنها بر فعالیت متابولیکی و فیزیولوژیکی گیاهان و اثرات سوئی که بر کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی می‌گذارند، افزایش یافته است(مکلین و بلدسو،۱۹۹۲). به علاوه آلودگی خاک توسط فلزات سنگین، خطرات جدی را برای سلامت انسان و سایر موجودات زنده به همراه دارد (هال۲۰۰۲،احمدی زاده۱۳۷۶). سبزیجات یکی از اجزاء جیره غذایی انسان است که حاوی عناصرضروری و مضر در محدوده وسیعی از غلظت ها می-باشند، لذا سبزیجات آلوده یک تهدید برای سلامتی انسان به حساب می‌آیند (زو ،۲۰۰۴). کاهو، اسفناج، جعفری، کلم، گوجه و شلغم قادر به تجمع مقادیر بالای کادمیم بوده درحالی که غده سیب زمینی، ذرت، بقولات و برنج مقادیر کمی از کادمیم را جذب می‌کنند (اللوی، ۱۹۹۵).

کمبود روی یکی از مشکلات جدی تغذیه گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا از جمله ایران به ویژه در خاک های آهکی، سدیمی و شنی است. بر اساس گزارشات جهانی بیش از ۵۰٪ خاک-های زراعی ایران کمبود روی دارند(برومند و همکاران، ۱۳۹۷).کادمیم جزء فلزات سنگین طبقه بندی می‌شود که در گیاهان تنش اکسیداتیو ایجاد می‌کند. این عناصر سمیت بالایی برای گیاهان و جانوران دارند (پورتبریزی و همکاران ، ۱۳۹۷).

امروزه آلودگی خاک‌ها با فلزات سنگین در اثر فعالیتهای بشری به عنوان یکی از مهمترین تنش-های محیطی برای گیاهان محسوب می‌گردد که می‌تواند منجر به تولید انواع اکسیژن‌های فعال از جمله پراکسید هیدرژن شود. ممکن است این فلزات سنگین توسط گیاهان جذب شده و از طریق زنجیره غذایی زندگی بشر را به مخاطره بیاندازد، همچنین آنها بیان داشتند که رابطه مستقیم بین افزایش میزان فلزات سنگین خاک و افزایش فعالیت پراکسیدازی در گیاه تربچه وجود دارد (علیپور-درواری و همکاران، ۱۳۸۷). این فلزات مشکلات عدیده و عوارض زیادی برای موجودات و درنهایت در رأس هرم چرخه مواد غذایی برای انسان در پی دارند (شعبانخانی و همکاران ، ۱۳۷۸). علاوه بر مشکلات اقتصادی، خسارت زیادی را به محیط زیست وارد نموده است. بنابراین مصرف بی‌رویه این کودها موجب تجمع آلاینده ها در خاک، منابع آب و افزایش آنها در گیاهان و زنجیره غذایی انسان و حیوان می‌گردند.

همچنین از کودهای شیمیایی به عنوان اقتصادی‌ترین ابزار برای نیل به حداکثر تولید در واحد سطح استفاده می‌شود. استفاده از کودهای شیمیایی ممکن است بر نوع و کمپلکس کادمیم اثر گذاشته که موجب برداشت آن و انتقال آن توسط ریشه گیاه شود. کودهای فسفاته مهمترین منبع آلودگی خاک به کادمیم می‌باشند و استفاده مداوم و بی رویه از کودهای فسفاته منجر به افزایش کادمیم در خاک-های کشاورزی شده است. با توجه به مقدار بیش از حد مجاز بعضی از فلزات سمی کمیاب مانند کادمیم در این کودها بایستی مدیریتی اعمال گردد تا ناخالصی های مضر به حداقل و مقدار قابل قبول کاهش یابد و از توزیع و مصرف کودهای غیراستاندارد جلوگیری شود (پورمقدس و همکاران، ۱۳۹۶).

۱-۲-ضرورت تحقیق

آلودگی زمین های کشاورزی پیرامون شهرها و تمرکز کاشت سبزیجات در این مناطق احتمال خطر آلودگی مواد غذایی انسان به فلزهای سنگینی مانند کادمیم را به همراه دارد.

از آنجایی که کادمیم یکی از فلزات سنگین است که برای انسان، گیاه و دیگر موجودات زنده سمی می‌باشد و در بین عناصر سنگین، به دلیل تحرک و زیست‌فراهمی زیاد در خاک و ایجاد سمیت در غلظت‌های کم، بررسی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و به دلیل اینکه هرساله مقدار زیادی از این عنصر همراه با کودهای فسفاته و دیگر کودهایی که ممکن است با درجه خلوص پایین حاوی این عناصر سنگین بوده و دردسترس کشاورزان و بهره‌برداران این امر قرار گیرد، که درنتیجه استفاده مداوم و سالانه از این کودها با هدف تولید، وارد خاک شده و از طریق گیاهان جذب می‌گردد و با تجمع این عنصر در بخش خوراکی گیاهان وارد بدن انسان شده و برای سلامتی انسان‌ها اختلال ایجاد می‌کند و از طرف دیگر با توجه به شباهت رفتاری یون‌های روی و کادمیم، و تصور اینکه افزایش روی در محیط ریشه می‌تواند تعدیل‌کننده تاثیرات سمی کادمیم باشد. این پژوهش با هدف بررسی میزان اثر استفاده از کود سولفات روی بر میزان تجمع کادمیم در بخش خوراکی گیاهان مورد نظر، و وزن تر (عملکرد) و سطح برگ اسفناج و تربچه و وزن تر ریشه تربچه و ارتفاع بخش‌های خوراکی اسفناج و تربچه به عنوان شاخص‌های بازار پسندی انتخاب شد و انجام گرفت .

فصل ۲

کلیات و مرور منابع

۲-۱-گیاه پالایی

گیاه پالائی (phytoremediation) فناوری مبتنی بر استفاده از گیاهان، برای پالایش آلودگی از محیط زیست است که روشی مؤثر، ارزان قیمت و سازگار با محیط زیست می‌باشد (منصوری و همکاران،۱۳۹۳).

گیاه پالائی تکنولوژی نوینی است که در آن از گیاهان برای حذف آلاینده های محیطی نظیر فلزات سنگین استفاده می شود (پیلون اسمیتس، ۲۰۰۵).

گیاهانی در این تکنولوژی استفاده می‌شوند که دارای ویژگی‌های زیر باشند :

- تحمل سطوح بالای غلظت فلز در محیط رشد،
- انباشته کردن سطوح بالای فلز به صورتی که قابل برداشت باشد،
- رشد سریع و تولید بالا،
- به راحتی مانند یک محصول کشاورزی رشد کند و کاملاً قابل برداشت باشد.

در فرایند گیاه جذبی هدف عمده یافتن گیاهانی است که علاوه بر جذب بالا، دارای قابلیت زیادتری در انتقال عناصر از ریشه به اندام هوایی باشند. به ترتیبی که بتوانند غلظت فلزات را در اندام هوایی تا حد ممکن بالا ببرند تا در نهایت برداشت اندام هوایی گیاهان که حاوی فلزات سنگین می‌باشند، باعث خروج بیشتر این عناصر از خاک شود (فرزانگان و همکاران،۱۳۹۰).

در میان گیاهان مطالعه شده در این زمینه، خانواده شب بو (Brassicaceae)، و از این خانواده سرده های Thlaspi، Alyssum و Brassica بهترین انباشته کننده‌ها هستند (سیمون و ابرهارد،۲۰۰۰). بنابراین با توجه به موارد بالا گونه های انباشته کننده فلزات سنگین متعلق به خانواده شب بو که به آسانی کاشته و برداشته می‌شوند مانند تربچه (Rhphanus sativus) برای تکنولوژی گیاه پالایی پیشنهاد شده اند. جنس .Raphanus L متعلق به خانواده شب بو می‌باشد که گیاهانی یک ساله اند، ریشه این گیاهان در انواع خوراکی آن ستبر و به رنگ های سفید، سرخ و سیاه است. این جنس در ایران سه گونه دارد. گونه خوراکی آن به نام تربچه (Rhphanus sativus) دارای واریته‌های مختلف

است و به عنوان سبزی‌خوردن در مناطق مختلف ایران کاشته می‌شود. بخش خوراکی ریشه تربچه در تماس مستقیم با خاک قرار می‌گیرد. بنابراین ممکن است فلزات سنگین از طریق ریشه وارد ریشه خوراکی شوند و از آنجایی که این ریشه ها محل ذخیره مواد غذایی است، فلزات سنگین به همراه مواد غذایی فتوسنتزی، ذخیره شده و به این ترتیب می‌تواند اثرات سوء بر سلامت انسان داشته باشند. یکی از آسیب های مهم بافتی که به دنبال قرارگیری گیاهان در معرض فلزات سنگین ایجاد می‌شود، افزایش انباشته شدن انواع مختلف اکسیژن‌های واکنشگر و ایجاد تنش اکسیداتیو است (چائوی و فرجانی، ۲۰۰۵) .

منصوری و همکاران (۱۳۹۵) بیان کردند ضریب انتقال روی در گیاه تربچه بیشتر از یک می‌باشد و یک گیاه بیش انباشتگر این فلز بوده و توانایی جذب غلظت های بالای روی را دارا می‌باشد، بنابراین می‌توان از آن برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به روی استفاده نمود.

۲-۲-اسفناج

۲-۲-۱-شناسنامه

جدول(۲-۱).مشخصات اسفناج

تیره	Chenopodiaceae(salsolaceae)
نام لاتین	Spinacia oleracea L.
نام انگلیسی	Garden spinach-Common spinage
نام فارسی	اسفناج
نام عربی	اسبانج

اسفناج با نام علمی .Spinacia oleracea L یکی از گیاهان دولپه ای است و جزء سبزی‌های مهم خانواده چغندریان می‌باشد. اسفناج بومی مناطق مرکزی آسیا و به احتمال قوی ایران است که بیش از ۲۰۰۰سال سابقه کشت دارد (عرفانی و همکاران ،۱۳۸۵). اسفناج از اوائل قرن اول میلادی کم

کم به نقاط دیگر دنیا راه یافت. به طوری که در تاریخ مسطور است اسفناج در قرن هفتم در چین و در قرن دوازدهم در اسپانیا کشت شده است. کشت اسفناج در سال ۱۸۰۶ درآمریکا شروع شد (کاوازو و همکاران،۲۰۰۳؛ کال و برگ، ۱۹۹۳). اسفناج از مهمترین سبزی‌های برگی است که دارای ارزش غذایی مهمی بوده و برگ‌ها و ساقه‌های ظریف آن به صورت تازه و یا فرآوری‌شده مصرف می‌شود (سالانخه و همکاران،۱۹۹۱).

۲-۲-۲-شرح گیاه

اسفناج گیاهی است یک‌ساله و روزبلند که پس از سبزشدن تولید برگ‌های طوقه‌ای می‌کند به این ترتیب در یک سطح در اطراف ساقه‌ی کوتاهی به طول چند میلی‌متر نزدیک به سطح خاک قرار می-گیرند. در طی رشد بعدی این ساقه طویل شده و از آن شاخه‌های جانبی دیگری از محل برگ‌های طوقه‌ای به ساقه اصلی منشعب می‌شوند. ممکن است از ساقه اصلی ساقه‌های فرعی درجه ۱ و۲ همراه با شاخه‌های جانبی درجه ۱ و ۲ نیز به وجود آیند. اندازه گیاه می‌تواند بین ۸ تا ۱۰ سانتی‌متر متناوب باشد. ریشه اصلی گیاه عمیق است و می‌تواند تا عمق ۱۴۰ سانتی‌متری در خاک نفوذ کند، از این نظر می‌توان این گیاه را در خاک‌های شور به خوبی کشت نمود. ریشه‌های فرعی این گیاه دوکی شکل و حداکثر تا۶۰ سانتی‌متری خاک پراکنده‌اند، برگ‌ها در ارقام مختلف دارای فرم و رنگ متفاوتی هستند و به شکل‌های تخم‌مرغی، بیضوی و یا نیزه‌ای وجود دارند. کناره برگ‌ها می‌تواند کاملاً صاف و یا دندانه‌دار باشد. پهنک برگ نیز صاف و یا دارای چین و چروک است. گل‌های نر و ماده می‌توانند روی یک یا دو پایه قرار گیرند (اسدی قارنه،۱۳۸۷).

۲-۲-۳-ترکیبات مؤثر در اسفناج

اسفناج بین ۴۲ نوع سبزی و میوه از نظر مقدار نسبی ۱۰ نوع ویتامین در رتبه دوم اهمیت قرار دارد (سالانخه و همکاران،۱۹۹۱) و یک منبع عالی از مواد معدنی و ویتامین های به ویژه ویتامین ث به

شمار می‌رود. اسفناج غنی از کلسیم و آهن است که کلسیم آن به صورت اکسالات کلسیم بوده و غیر قابل دسترس می‌باشد (عرفانی و همکاران،۱۳۸۵). همچنین اگزالیک‌اسید با منیزیم و آهن ترکیب شده و آن‌ها را غیرقابل دسترس می‌کند. برگ اسفناج دارای ۳/۲ درصد پروتئین می‌باشد و پروتئین برگ آن پایین آورنده کلسترول است (رابتکی و یاماکوجی،۱۹۹۷). برگ اسفناج دارای ۰/۶ درصد چربی بوده و لینولنیک‌اسید و لینولئیک‌اسید از جمله مهمترین اسیدهای چرب برگ این گیاه است (عرفانی و همکاران،۱۳۸۵). مقدار فیبر موجود در برگ اسفناج ۰/۶۵ درصد گزارش شده‌است. اسفناج غنی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از جمله بتاکاروتن و لوتئین است. این دو ترکیب خاصیت آنتی-اکسیدانی داشته و ضد سرطان هستند (رابتکی . یاماکوجی،۱۹۹۷).

۲-۲-۴-نیاز اکولوژیکی

اسفناج محصول نسبتاً سرد است و در آب و هوای خنک بهتر رشد می‌کند، به طور کلی اسفناج در مجاورت تابش زیاد آفتاب، دمای متوسط و هوای مرطوب بهترین نتیجه را می‌دهد. یخبندان را بیشتر از اغلب سبزی‌های دیگر تحمل می‌نماید. بعضی از ارقام آن حتی در مقابل سرمای تا ۷- درجه سانتی-گراد نیز مقاوم است (اسدی قارنه ، ۱۳۸۷).

۲-۲-۵-آماده سازی خاک

هرچند که می‌توان اسفناج را در کلیه زمین‌ها کشت نمود ولی خاک‌های خیلی سبک و خیلی سنگین برای رشد و نمو گیاه مناسب نیستند. بهترین خاک برای اسفناج حدواسط آن دو و اراضی نم-دار و حاصلخیز است. این گیاه در مقابل زمین‌های آبگیر، خشک و pH خاک بسیار حساس است. مناسب‌ترین pH برای این گیاه بین ۶ تا ۷ است. اسفناج در مقابل درجه اسیدی پایین‌تر به وضوح عکس‌العمل نشان داده و نتیجه خوبی نمی‌دهد. زمین‌های عمیق با بافت خوب و هوموس و رطوبت کافی برای اسفناج مناسب است.

خاک‌های سبک فقط برای ارقام زودرس، کشت‌های زمستانه و کشت‌های مراحل اول مناسب است. در این خاک‌ها باید آبیاری تکمیلی و کود کافی را از نظر دور نداشت. بهترین خاک می‌تواند خاک‌های لومی و یا خاک‌های معدنی با هوموس کافی باشد. بستر کاشت باید برای کشت مکانیزه صاف و دارای شیب کم و عاری از سنگلاخ باشد (اسدی قارنه،۱۳۸۷).

۲-۲-۶-تاریخ و فواصل کاشت

زمان کاشت انواع بهاره در اواخر اسفند ماه، انواع پاییزه در اواخر تابستان و انواع زمستانه در اواخر پاییز است. فاصله ردیف‌ها در کشت‌های ردیفی بین ۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متر و عمق کاشت بین ۲ تا ۴ سانتی‌متر می‌باشد. اسفناج به علت مدت کوتاه رویش سازگاری با دمای کم، قدرت زیاد زمستان-گذرانی و روزبلند بودن آن می‌تواند به شکل‌های متفاوتی در تناوب زراعی قرار گیرد. این گیاه به عنوان مناسب‌ترین گیاه بعد از لوبیای‌پاکوتاه (پاچ باقلا)، نخودفرنگی و سیب‌زمینی قرار می‌گیرد ولی به عنوان گیاه ماقبل گیاهان دیگر دارای اهمیت زیادی نیست (اسدی قارنه، ۱۳۸۷).

۲-۲-۷-ارقام اسفناج

ارقام اسفناج را بر اساس خاردار یا بدون‌خار بودن بذر، صاف و ناصافی برگ‌ها و نیز براساس رنگ برگ‌ها به انواع بهاره، پاییزه و زمستانه طبقه‌بندی می‌کنند. در انتخاب ارقام نکات زیر باید موردتوجه قرارگیرد :

سرعت رشد (سریع‌بودن رشدونمو)، تمایل کم به گل‌رفتن، یکسان و یک‌اندازه‌بودن برگ‌ها، تمایل کم به زردشدن برگ‌ها، مقاومت در برابر آفات و امراض (مخصوصاً در مقابل سفیدک‌دروغین (Pernospora farinosa)) و مقاوم‌بودن در مقابل سرمای سخت زمستان.

در کشت گلخانه‌ای طی زمستان از ارقامی که دارای رشد سریع بوده و در مقابل شدت تابش و دمای کم حساسیتی نشان نمی‌دهند، استفاده می‌شود. بذر اسفناج در موقع جوانه‌زدن در مقابل

گرمای زیاد، کمبود آب و اکسیژن بسیار حساس است. کمبود اکسیژن معمولاً در زمین‌های آبگیر و خاک‌های رسی به وجود می‌آید. جوانه زدن بذر در دمای پایین حتی صفر درجه سانتی گراد صورت می‌گیرد، بنابراین برای سبزشدن یک دست بذر در مزارع باید در فصولی از سال که دمای هوا پایین و متوسط است بذر پاشی انجام شود (اسدی قارنه ، ۱۳۸۷).

۲-۲-۸-کاشت

اسفناج را می‌توان به طور دست‌پاش، خطی و در سبزی‌کاری سطوح بزرگ با ماشین بذرپاشی کرد. استفاده از کودهای حیوانی در زمین‌هایی که از نظر مواد آلی ضعیف هستند توصیه می‌شود در هر صورت باید از کود حیوانی کاملاً پوسیده استفاده شود. چنانچه بخواهیم از کود تازه استفاده کنیم باید آن را چند ماه قبل از کاشت به زمین داد زیرا ریشه اسفناج در مقابل پاره‌ای از بیماری‌های قارچی که باعث پوسیدگی ریشه می‌شوند، حساس است. کود شیمیایی را باید زمانی به زمین داد که در فاصله دوره رویش در دسترس گیاه قرار گیرد. با توجه به مقدار مواد غذایی موجود در خاک معمولاً حدود۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیترژن، ۶۰ کیلوگرم در هکتار p_2o_5 و ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار k_2o توصیه می‌شود. اسفناج زمین‌های خنثی تا قلیایی را ترجیح می‌دهد. بنابراین می‌توان تا ۴ هفته قبل از کاشت به دادن کودهای آهکی مبادرت ورزید. کود پتاس را در بهار به شکل کلرید به زمین می‌دهند زیرا عرضه زیاد کلرید در خاک کاهش جذب ازت را به دنبال دارد و در شرایط معمول تولیدی باعث کاهش نیترات در گیاه می‌شود. معمولاً در کشت بهاره کود شیمیایی را به یکباره، قبل از کاشت به زمین می‌دهند ولی برای انواع زمستانه یک سوم نیترژن را توأم با تمامی کودهای فسفر و پتاس در اوایل زمستان هنگام کاشت به زمین می‌دهند و دو سوم باقیمانده را در دو مرحله دیگر به صورت کود سرک در اختیار گیاه قرار می‌دهند (اسدی قارنه،۱۳۸۷).

۲-۲-۹-داشت

مبارزه با علف‌های هرز با فوکا، کولتیواتور و یا با استفاده از علف‌کش‌های شیمیایی صورت می گیرد. اسفناج احتیاج به آب فراوان دارد و باید در طول دوره رشد در زمین‌های خشک اقدام به آبیاری نمود. آبیاری علاوه‌بر اینکه مقدار محصول را افزایش می‌دهد، گل دادن قبل از موعد مقرر گیاه را نیز به تأخیر می‌اندازد. از بیماری‌های مهم اسفناج سفیدک‌دروغین (Pernospora farinosa) است. استفاده از ارقامی که مقاوم به این بیماری‌اند، لازم و ضروری است. ترکیبات‌آلی فسفره برای مقابله با مگس چغندر (Pagomia hyoscymi) که لاروهای آن در داخل برگ‌های اسفناج دالان‌های مینوز را می-سازند، بسیار مؤثر است. شته آفیدو پروانه سفید کلم (Pieries Brassica) نیز از دیگر آفات این گیاه می‌باشد (اسدی قارنه،۱۳۸۷).

۲-۲-۱۰-برداشت

برداشت اسفناج به این ترتیب است که زمانی که گیاه ۵ تا ۶ برگی شد، ابتدا مزرعه را آبیاری کرده و پس از تبخیر رطوبت اضافی، بوته‌ها را با ریشه از خاک بیرون می‌آورند و به همین صورت به بازار عرضه می‌کنند. در سطوح کوچک می‌توان دو یا سه مرحله اسفناج برداشت کرده در این صورت باید برگ‌های تحتانی را با دست و چاقوی تیزی بریده و برگ‌های کوچک و جوانه‌های مرکزی را به حال خود باقی گذاشت و پس از مدتی عمل چیدن برگ‌های بزرگ را تکرار کرد و به این ترتیب می‌توان در طول سال چند مرحله اسفناج برداشت کرد. در سطوح بزرگ از ماشین برداشت استفاده می‌شود. در این حالت پس از بریدن برگ‌ها آن‌ها را در جایی انباشت کرده و بعداً به محل دسته‌بندی و یا به کارخانه حمل می‌کنند. اسفناج را معمولاً در اوایل روز برداشت می‌کنند، این عمل به حفظ کیفیت محصول می‌افزاید. عمل برداشت در زمان بارندگی و یا مواقعی که هنوز شبنم برروی گل‌ها نشسته است صورت نمی‌گیرد، زیرا در این صورت محصولی با کیفیت پایین و توأم با برگ‌های شکسته بدست

می‌آید. مقدار محصول اسفناج حدود ۱۵ تا ۲۰ تن در هکتار و در بعضی مواقع بین ۳۵ تا ۴۰ تن در هکتار است (اسدی قارنه،۱۳۸۷).

۲-۲-۱۱-خواص دارویی

برگ اسفناج منبع غنی ویتامین A، B3 ،C و آهن و پتاسیم می‌باشد،

بدن را قلیایی می‌کند،

خنک کننده است،

ورم روده را کوچک می‌کند،

برای ورم ریه مفید است،

ملین است و یبوست را برطرف می‌کند،

اسفناج به دلیل داشتن ماده‌ای به نام اسپیناسین هضم غذا را تسریع می‌کند. این ماده باعث تحریک معده و ازدیاد ترشحات آن می‌شود.

خوردن اسفناج در رفع تشنگی مؤثر است،

برای ازبین‌بردن ورم و درد گلو مفید است،

خوردن اسفناج از سرطان جلوگیری می‌کند، مخصوصاً در افرادی که مصرف‌کننده الکل و سیگار هستند،

اسفناج در پیشگیری سرطان روده بزرگ، معده، پروستات، حنجره و رحم مؤثر است،

اسفناج کلسترول خون را پایین می‌آورد،

بهترین دارو برای کسانی است که مبتلابه کم‌خونی هستند،

اسفناج مانند جارو روده بزرگ را تمیز می‌کند،

ترشحات لوزولمعده را افزایش می‌دهد،

اسفناج سبزی مفید برای تقویت اعصاب است،

اسفناج پخته برای رفع بیماری آسم و گرفتگی صدا بسیار مؤثر است (عرفانی و همکاران،۱۳۸۵).

۲-۲-۱۲-مضرات

اسفناج به علت داشتن اگزالات برای بیماران مبتلا به ورم مفاصل و سنگ‌های کلیه و مثانه مناسب نیست (عرفانی و همکاران،۱۳۸۵).

۲-۳-تربچه

۲-۳-۱-شناسنامه تربچه

جدول(۲-۲) مشخصات تربچه

تیره	Cruciferae
نام لاتین	Raphanus sativus
نام انگلیسی	Radish
نام فارسی	تربچه
نام عربی	فجل

تربچه یک سبزی ریشه‌ای با ارزش غذایی بالا می‌باشد که قسمت خوراکی آن در انواع نقلی متشکل از هیپوکوتیل است (دالوند و همکاران، ۱۳۹۳). تربچه گیاهی یک‌ساله، به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر تا یک-متر و دارای برگ‌هایی با پهنک منقسم به قطعات نامنظم است. سطح برگ آن برحسب نژادهای مختلف ممکن است کاملاً بی‌کرک و یا پوشیده از کرک‌های خشن باشد. ریشه دارای گلوکوزیدی است که بر اثر تجزیه تحت اثر آنزیم مخصوص به اسانس و Raphanol تبدیل می‌گردد. دارای ۸۶-۹۳ درصد آب، مقدارکمی مواد قندی، موادچرب، موادازته، اسیدفسفریک و به مقدار جزئی از مواد نشاسته‌ای و ویتامین‌های B و C است (بیضائی و همکاران ، ۱۳۹۳). تربچه جزء سبزیجاتی است که ریشه خوراکی دارد و بومی جنوب آسیا و اروپا می‌باشد. این گیاه از خانواده Brassicaceae می‌باشد و از نظر ظاهر و بافت شبیه چغندر و شلغم است، ولی طعمی متفاوت دارد. این گیاه دارای گونه‌های

مختلف بوده و در هر آب و هوایی می روید. طعم تند تربچه مربوط به ماده Senovol و رنگ قرمز، بنفش آن، در اثر وجود نوعی آنتوسیانین به نام Malvin است (حسنی و همکاران،۱۳۹۴).

تربچه با نام علمی Raphanus sativus یک سبزی ریشه‌ای مهم است. ارزش غذایی تربچه مربوط به میزان بالای فیبرهای محلول رژیمی آن و ترکیبات آنتی اکسیدانی گلوکوزیبولیدی و ایزوتیوسیاناتی آن است. تربچه گیاه بومی آسیا، چین و اروپا می‌باشد. از نظر گیاهشناسی قسمت خوراکی تربچه در انواع نقلی، فقط از هیپوکوتیل و در انواع بلند و کشیده از ریشه و هیپوکوتیل تشکیل شده است. حداقل درجه حرارت برای جوانه زدن بذر تربچه ۴ درجه سانتی گراد است و حرارت بهینه آن ۱۰ درجه و حرارت بیشینه آن ۱۵ درجه می‌باشد. اختلاف در رنگ و شکل ریشه تربچه در مراحل اولیه رشد شکل می‌گیرد. ارقام مختلف دارای ریشه‌های تخم مرغی، پهن،گرد و گلابی شکل و با رنگ های قرمز، سفید، سیاه و یا دو رنگی قرمز-سفید هستند. در بازار جهانی شکل و اندازه ریشه‌ها اهمیت بیشتری از رنگ آنها دارد. تراکم مطلوب بوته اهمیت زیادی در شکل‌گیری خصوصیات مطلوب رشدی و عملکرد نهایی تربچه به عنوان یک سبزی ریشه‌ای دارد. آبیاری نامرتب و خشکی هوا در پوک‌شدن غده‌ها نیز اثر دارد. تربچه همانند سایر گیاهان ریشه‌ای نیاز به تنک‌کردن دارد، در غیر این صورت غده‌ها پوک می‌شوند و باید تنک به موقع صورت گیرد (اعتصامی و همکاران، ۱۳۹۳).

۲-۳-۲-خواص درمانی گیاه تربچه

دفع سنگ‌های صفراوی، نقرس، رماتیسم، یرقان و غیره می‌باشد. این گیاه سرشار از ویتامین C و حاوی کلسیم، پتاسیم، مس، اسید فولیک و آنتوسیانین (Anthocyanin) نوعی آنتی‌اکسیدان قوی است. وجود آنتوسیانین سبب شده که تربچه به عنوان یک گیاه ضد سرطان شناخته شود (حسنی و همکاران،۱۳۹۴).

برگ و ریشه تربچه برای درمان سرطان، عوامل ضدمیکروبی و ضدویروسی در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این گونه به طور وسیعی برای درمان بیماریهای کبدی و تنفسی استفاده می-

شود. همچنین فعالیت آنتی‌بیوتیکی و آنتی‌میکروبیال عصاره ریشه این گیاه نیز گزارش شده است (بیضائی و همکاران، ۱۳۹۳).

۲-۴-عناصر سنگین

عناصر سنگین دسته‌ای از آلوده کننده‌های محیطی می‌باشند که میزان آن‌ها با پیشرفت صنعت روز به روز در حال افزایش است. ورود این آلاینده‌ها به درون اکوسیستم زمین به عنوان یک خطر جدی برای حیات اکوسیستم به شمار می‌آید (نریگو، ۱۹۷۹). میزان ورود این عناصر سنگین به محیط زیست، بسیار فراتر از میزانی است که به وسیله فرآیندهای طبیعی برداشت می‌شوند. بنابراین تجمع این عناصر در محیط زیست که ماندگاری طولانی مدت و تقریباً دائمی نیز در محیط دارند، سلامت انسان را به مخاطره می اندازند و مواجهه انسان با بعضی از آنها از طریق آب و مواد غذایی می‌تواند مسمومیت‌های مزمن، حاد و خطرناکی ایجاد نماید (جیانگ و همکاران، ۲۰۰۴).

بر اساس تقسیم بندی نایبر و ریچاردسون (۱۹۸۰) عناصر سنگین به تعدادی از فلزات و یون‌های آن‌ها اطلاق می‌شود که عدد اتمی آنها بیشتر از ۲۰ باشد. از جمله عناصر سنگین می‌توان به کادمیم، روی، سرب، مس، نیکل، جیوه و کروم اشاره کرد. در بین فلزات سنگین سرب، کادمیم و جیوه از مهمترین آلوده کننده‌ها هستند که در اثر فعالیت‌های مدرن انسانی تولید می‌شوند (یانگ و همکاران،۱۹۹۶). به صورت کاملاً تئوری هر ۱۰۰۰ کیلوگرم خاک معمولی حاوی۲۰۰ گرم کروم،۸۰ گرم نیکل، ۱۶ گرم سرب، ۵/. گرم جیوه و ۰/۲ گرم کادمیم می‌باشد. حتی محصولات زراعی تولیدی در مناطق کاملاً پاک از نظر آلودگی، عاری از فلزات سنگین نیستند (کافی و مهدوی دامغانی،۱۳۸۱). فلزات سنگین به طور طبیعی در خاک به عنوان عناصر کمیاب یافت می‌شوند که محدود به معدنی-شدن معمول آن‌ها می‌باشد و به آسانی قابل استفاده نمی‌باشند. اشکال قابل استفاده بیولوژیکی در نتیجه فعالیت‌های انسان است. وجود آنها در هوا، خاک و آب حتی در مقادیر ناچیز می‌تواند موجب بروز مشکلات جدی در جانداران گردد. تجمع زیستی فلزات سنگین در زنجیره غذایی می‌تواند بسیار خطرناک باشد (جعفری، ۱۳۸۲).

آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین، یک مشکل عمده زیست‌محیطی محسوب می‌شود و بر سلامت انسان، جانداران، تولیدات کشاورزی و زیست بوم اثرات منفی دارد (منصوری و همکاران، ۱۳۹۳).

آلودگی فلزات سنگین به غلظت‌هایی بالاتر از حدمجاز خطرساز اطلاق می‌شود. سطوح طبیعی وحدود آلودگی فلزات سنگین در خاک کشورهای مختلف، متفاوت است (علیپور درواری و همکاران، ۱۳۸۸).

۲-۴-۱-کادمیم

کادمیم (Cd) یکی از فلزات سنگین می‌باشد که از طریق ریشه گیاهان جذب شده و در بخش-های خوراکی گیاهان تجمع می‌یابد و تاثیر منفیبر روی سلامت افراد جامعه می‌گذارد (دالوند و افتخاری، ۱۳۹۳).

کادمیم یک عنصر غیرضروری و سمی بوده که در غلظت‌های پایین در طبیعت وجود دارد و نیمه عمر بیولوژیکی آن ۳۰ سال است (واگنر، ۱۹۹۳). زمانی که کادمیوم وارد بدن می شود، در کلیه و کبد، اندامهای تولید مثل، سیستمهای عصبی، تنفسی، گوارش و ماهیچه‌های قلب تجمع یافته و هنگامی که مقدار آن از حد معینی تجاوز کند، به واسطه اثر درازمدت، عوارض ناشی از آن به-صورت بیماری‌های گوناگون نمایان می‌شود. این اثرها در کودکان از شدت بیشتر و عوارض حادتری برخوردار است (عابدی کوپایی و همکاران، ۱۳۹۴). عنصر کادمیم برای انسان و دام سمی است و علت اصلی سمیت آن میل شدید ترکیبی آن با گروه‌های تیول (SH) در آنزیم‌های پروتئین-ساز می‌باشد. کادمیم برای اولین بار در سال ۱۹۶۳ تعدادی از محققان آلودگی‌های کودهای شیمیایی به برخی فلزات سنگین به خصوص کادمیم را به عنوان عامل خطرناکی برای سلامتی انسان و ت سولفید یا ترکیب با عناصر دیگر غالباً بصورت ناخالصی در سنگ معدن روی و سرب یافت می-شود (حمزه‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۶).

محیط زیست ، گزارش کردند(لین و اسکور،۱۹۷۷). کادمیم معمولاً بطور طبیعی در آب‌های سطحی و زیرزمینی وجود دارد. این عنصر ممکن است به صورت یون هیدراته یا ترکیبات پیچیده

معدنی مانند کربنات، هیدروکسید، کلرید یا سولفات و همچنین ترکیبات آلی همراه با اسید هیومیک یافت شود. کادمیم از طریق فرسایش خاک و سنگ بستر، رسوبات آلوده اتمسفری ناشی از کارخانجات صنعتی، پساب مناطق آلوده و استفاده از لجن و کود در کشاورزی وارد اکوسیستم‌های آبی می‌شود. بیشتر کادمیم ورودی به آب‌های شیرین ممکن است به سرعت جذب مواد معلق شده و در اکوسیستم‌های آبی منتشر شوند. رسوبات دریاچه‌ها و رودخانه‌ها حاوی ۰/۲ و در آب های شیرین کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر کادمیم است (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۱). ورود کادمیم به زنجیره غذایی و مصرف آن به وسیله انسان و دام مضر است(نرول و همکاران،۲۰۰۰). مقدار قابل توجهی کادمیم به صورت ناخالصی در کودهای شیمیایی فسفره وجود داشته که منشأ اصلی آن از سنگ معدن است (بغوری،۱۳۷۰).

امروزه به دلیل رشد سریع جمعیت و در نتیجه تولید هرچه بیشتر مواد زائد آلی از یک سو (الکساندر،۱۹۹۰) و افزایش تقاضای محصولات کشاورزی از سوی دیگر، مصرف کودهای آلی نظیر کمپوست و لجن فاضلاب به دلیل غنی‌بودن آنها از بعضی عناصر مورد توجه قرار گرفته است (استوور و همکاران،۱۹۷۶). از طرفی کود لجن فاضلاب معمولاً دارای غلظت قابل توجهی از عناصر سنگین مانند سرب و کادمیم است. خدیوی و همکاران (۱۳۸۶) رابطه مثبت بین افزایش میزان کادمیم لجن فاضلاب و غلظت کادمیم جذب شده در گندم را گزارش کردند. براساس گزارش سازمان محیط زیست آمریکا، مصرف لجن فاضلاب باعث افزایش غلظت سرب، جیوه، نیکل، سلنیم و کادمیم تا ۱۰۰ برابر غلظت پایه این عناصر در خاک می‌شود (چانگ و همکاران،۱۹۸۲).

براساس نظریه بمب زمان این نگرانی وجود دارد که کادمیم موجود در خاک‌هایی که با لجن فاضلاب، کودهای فسفاته حاوی کادمیم و سایر ترکیبات حاوی کادمیم تیمار شده‌اند، با گذشت زمان متحرک شده و قابلیت دسترسی آن‌ها برای گیاه افزایش یابد (آندرسن و همکاران، ۲۰۰۲). کادمیم در بین فلزات سنگین میل ترکیبی کمی برای اتصال به فازهای تثبیت کننده خاک، نظیر اکسیدها و کلات‌ها دارد. بنابراین قابلیت جذب این عنصر توسط گیاه و انتقال آن به شاخساره گیاه زیاد است

(کاباتا-پندیاس و همکاران،۱۹۹۲). کادمیم همچنین توانایی بالایی برای عبور از غشای سلولی ریشه دارد. همه این عوامل باعث شده که خطر حضور این عنصر در زنجیره غذایی بیشتر شود (چانی و رایان،۱۹۹۴). کادمیم برای رشد گیاهان ضروری نیست، بلکه یک عنصر سمی برای گیاه است که در غلظت های ۵ تا ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در برگ گیاهان ایجاد سمیت می‌کند(کاباتا-پندیاس،۱۹۹۲). بر پایه مطالعات دیویس (۱۹۸۴) از میان فلزات سنگین، روی و کادمیم تمایل زیادی به انباشته‌شدن در بافت‌های گیاهی دارند. محققان عامل بیماری سندروم ایتایی ایتایی در ژاپن را مربوط به آبیاری مزارع برنج توسط آب‌های آلوده به کادمیم تشخیص دادند (آدریانو،۱۹۸۶). در ایران نیز گزارش‌هایی دال بر تجمع کادمیم در برخی محصولات زراعی به ویژه برنج و سیب زمینی وجود دارد(خانی و همکاران،۱۳۷۹).

میزان تجمع کادمیم در کاهو،اسفناج، کرفس، کلم، گوجه فرنگی، شلغم و سیب زمینی زیاد بوده و در گیاهانی مثل لوبیا، ذرت و نخود کمتر است(الووی، ۱۹۹۵). از علائم سمیت کادمیم در گیاهان، ایجاد حالت کلروزه و نکروزه در برگ، تغییر رنگ برگ از سبز به قهوه ای، افت عملکرد و تغییر در سطح سایر عناصر ریز مغذی در گیاه می‌باشد(لایگریفول و همکاران، ۱۹۹۸). اثرات دیگر سمیت کادمیم، تنش‌های اکسیداتیو است که باعث آسیب به سلول در نتیجه تولید مواد اکسیدکننده نظیر سوپر اکساید، هیدرژن پراکساید و رادیکال‌های هیدروکسیل می‌باشد(ژآاو و همکاران، ۲۰۰۵).

علائم عمومی ناشی از جذب مقادیر اضافی کادمیم در گیاه، کاهش رشد ریشه و چوب پنبه‌ای شدن ساختمان آن، تداخل با جذب و انتقال عناصر غذایی، کاهش میزان کلروفیل و اختلال در فعالیت آنزیم های درگیر در فتوسنتز می‌باشد. کادمیم با عناصر پرمصرف نظیر فسفر، کلسیم و منیزیم و عناصر کم-مصرف مثل آهن، منگنز، مس و روی جهت انتقال از طریق پروتئین‌های ناقل درگیر در فتوسنتز می-باشد (کوله لی و همکاران، ۲۰۰۴). کادمیم با عناصر پرمصرف نظیر فسفر، کلسیم و منیزیم و عناصر کم‌مصرف مثل آهن، منگنز، مس و روی جهت انتقال از پروتئین های ناقل موجود در غشاء سلولی، رقابت می‌کنند (شارما و آگراوال ، ۲۰۰۶). بطور کلی قابلیت‌های دسترسی کادمیم خاک برای گیاه

تحت تأثیر مقدار و منشأ کادمیم، pH، مقدار ماده آلی، مقدار و نوع رس، رقابت سایر عناصر بـه ویـژه روی، ظرفیت تبادل کاتیونی و شوری می‌باشد (لی و همکاران ،۱۹۹۴؛ بینگهـام و همکـاران ، ۱۹۸۴). قابلیت دسترسی فلزات سنگین با pH خاک رابطه معکوس دارد(واثقی و همکـاران، ۱۳۸۲). اسـمیت (۱۹۹۴) گزارش کرد که رسوب عناصر به صورت هیدروکسیدها و کربنات‌های نامحلـول و کمـپلکس-های آلی، با افزایش pH خاک افزایش می‌یابد. بنابراین قابلیت دسترسی فلزات سـنگین خـاک بـرای گیاهان در pH کم نسبت به pH زیاد بیشتر است. کاهش pH، کمبود هوموس و میزان رس موجـود در خاک، قدرت تحرک و توانایی گیاه را برای جذب فلزات سنگین افزایش می‌دهند. همچنین سینک و اگراول (۲۰۰۷) بیان کردند مقدار عناصر سنگین جابه جا شده در محیط خاک تابعی از pH، میزان رس، موادآلی و ظرفیت تبادل کاتیونی است و با افزایش pH، کربنات و موادآلی خاک، تحرک عناصـر سنگین کاهش می‌یابد. در مطالعات متعدد دیگری اعلام شد، هرچند که pH نقش تعیین کننـده ای در غلظت کادمیم خاک دارد ولی نقش شوری در افزایش حلالیت کادمیم، می تواند حتـی مهـم تـر از pH باشد (بینگهام و همکاران، ۱۹۸۴).

معمولاً کادمیم در جذب و انتقال عناصری مانند: کلسیم، منیزیم، فسفر، پتاسـیم و همچنـین آب در گیاه دخالت دارد. کادمیم بر فرآیندهای اصلی گیاهان نظیر فتوسنتز، تکثیر سلولی و جذب آب توسط ریشه‌های گیاهان اثر می‌گذارد (داس و همکاران، ۲۰۰۰). نتایج نشان می‌دهد که آلودگی شدید خاک با کادمیم سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی در گیاه اسفناج می‌شود. از آنجا که کادمیم بـه عنـوان عنصر سمی برای گیاه در نظر گرفته می‌شود، کاهش رشد گیاه در نتیجه سمیت کادمیم دور از انتظار نیست. سمیت کادمیم ناشی از اختلالاتی است که کادمیم در فعالیت آنزیم‌ها ایجاد مـی‌کنـد. عناصـر سنگین و به ویژه کادمیم با تأثیر بر میزان فتوسنتز و کاهش میزان کلروفیـل در گیـاه باعـث کـاهش عملکرد گیاه شده و اثرات منفی و مخرب را در گیاه به جای می‌گذارند (رضاخانی و همکاران، ۱۳۹۱).

در پژوهش رجائی (۱۳۸۵) گزارش کرد که کادمیم، وزن تر و خشک اسفناج را کاهش داد. دهیری و همکاران (۲۰۰۷) نیز ذکر کردند که کاربرد کادمیم باعث کاهش معنـی‌دار وزن خشـک انـدام هـوایی

اسفناج شد. تالاتام و پریدا (۲۰۰۹) کاهش وزن تر و خشک گیاه اسفناج را با افزایش غلظت کادمیم گزارش کردند که می‌تواند بدلیل اثرات منفی کادمیم بر روی مکانیسم تولید انرژی در میتوکندری و کلروپلاست باشد.کاهش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a و b و رنگدانه‌های فرعی مانند کاروتنوئیدها در اثر اعمال فلزات سنگین مانند مس، روی و سرب در بسیاری از گونه‌های گیاهی گزارش شده است (واناسچ و کلیجستر،۱۹۹۰). جایگزین شدن یون منیزیم مرکزی کلروفیل به وسیله فلزات سنگین صدمه دیگری است که باعث جلوگیری از به دام انداختن نور فتوسنتزی و درنتیجه از بین رفتن کلروفیل و کاهش فعالیت فتوسنتزی می‌شود (پرساد و استرازالکا،۱۹۹۹). بیکر و پروکتور (۱۹۹۰) نشان دادند که مقدار کلروفیل تابعی از غلظت کادمیم در بافت‌های گیاهی می‌باشد، لذا از غلظت کلروفیل به عنوان شاخصی جهت تعیین حد بحرانی کادمیم در گیاهان استفاده می‌گردد. انباشته‌شدن کادمیم در بسیاری از گیاهان باعث کمبود آهن، منیزیم و کلسیم می‌شود و سنتز کلروفیل را متوقف می‌کند و سرعت رشد و فتوسنتز را به شدت کاهش می‌دهد (موبین و خان ، ۲۰۰۷). این درحالی است که پزمیک و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند، در شرایط تنش فلزات سنگین فلاونوئیدها، آنتوسیانین ها، ترکیب‌های فنلی و حتی کاروتنوئیدها فعال شده و از گیاه محافظت می‌کنند و مانع از تخریب کلروفیل می‌شوند. فعالیت چنین سیستم‌هایی در گیاه ضروری به نظر می‌رسد، زیرا شرایط بهینه را جهت رشد گیاه فراهم می‌آورد. علاوه بر این نشان داده شده است که فلاونول‌ها در کنار توکوفرول ها، آسکوربیک اسید، گلوتاتیون و کاروتنوئیدها می‌توانند به خوبی نقش دفاع آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی را بازی کنند (جکولا و همکاران،۲۰۰۲).

۲-۴-۲-روی

گیاهان عمدتاً روی (Zn) را به صورت کاتیون دو ظرفیتی (Zn^{+2}) جذب می‌نمایند. این عنصر یا به عنوان بخشی از ساختمان آنزیم‌ها بکار می‌رود و یا به صورت کوفاکتورهای تنظیم‌کننده در تعداد زیادی از آنزیم‌ها عمل می‌نماید. تحقیقات محققان نشان داده است که Zn حداقل در ساختمان چهار آنزیم به کار رفته است : کربنیک آنهیدراز، الکل‌دهیدروژناز، سوپراکسید Cu-Zn دیسموتاز و RNA

پلی‌مراز، آنزیم‌های دیگری نیز شناخته شده‌اند که برای فعال شدن، به Zn نیاز دارند که مهمترین آنها، الکل دهیدروژناز، آلدولاز، ایزومراز، ترانس‌فسفوریلاز، RNA و DNA پلی‌مراز می‌باشد (رومهلد و مارشنر،۱۹۹۱). Zn در متابولیسم کربوهیدرات‌ها در گیاهان دخالت دارد. فعالیت آنزیم کربنیک-آنهیدراز به سرعت در اثر کمبود Zn کاهش می‌یابد. کربنیک‌آنهیدراز در سیتوپلاسم و کلروپلاست‌ها تجمع می یابد و واکنش تبدیل CO_2 به بی‌کربنات و بالعکس را کاتالیز می‌کند که به فراهم‌شدن CO_2 برای فتوسنتز کمک می‌نماید(مارشنر،۱۹۹۵).

۲-۴-۳-کادمیم و روی

کادمیم (Cd) یکی از فلزات سنگین است که افزایش غلظت آن در محیط ریشه گیاه سبب بروز اختلالات متابولیسمی در گیاه می‌گردد. از طرف دیگر به دلیل شباهت رفتاری یون‌های روی (Zn) و Cd، افزایش Zn در محیط ریشه می‌تواند تعدیل کننده تأثیرات سمی Cd باشد (بهتاش و همکاران،۱۳۸۹).

کادمیم و روی از نظر خصوصیات شیمیایی بسیار شبیه به هم بوده و کادمیم جذب شده می‌تواند در داخل سلول بعضی از وظایف متابولیسمی روی را انجام دهد که این عمل با کمبود روی در گیاه تشدید می‌شود (زارع و همکاران،۱۳۸۸).

فصل ۳

مواد و روش ها

۳-۱-زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش :

آزمایش در سال ۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود، واقع در شهر بسطام اجرا شد. شهر بسطام از لحاظ موقعیت جغرافیایی در طول شمالی ۵۴ درجه و ۵۸ دقیقه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه و میانگین ارتفاع آن ۱۴۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد.

۳-۲-ویژگی های آب و هوایی :

بسطام دارای اقلیم سرد و خشک است و دارای زمستانی سرد می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه در این منطقه بین ۱۵۰ تا ۱۶۰ میلی‌متر است و رطوبت نسبی ۶۳ درصد می‌باشد و بارندگی عمدتاً در فصل پاییز و زمستان رخ می‌دهد. بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی حداقل و حداکثر دمای منطقه به ترتیب ۶/۹- و ۴۰ درجه سانتی گراد است. تعداد ساعات آفتابی در سال ۲۹۴۷/۵ می‌باشد.

۳-۳-مشخصات طرح آزمایشی :

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه آموزشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح عنصر سنگین : صفر (شاهد یا عدم استفاده از عنصر سنگین)، کادمیم به میزان ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (سولفات کادمیم)، کادمیم به میزان ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (سولفات کادمیم) و عامل دوم عنصر روی نیز به همین ترتیب در سه سطح (۰-۱۰-۲۰) میلی‌گرم عنصر مورد نظر در کیلوگرم خاک در سه تکرار لحاظ گردید.

۳-۴-آماده سازی خاک و روش های آزمایش :

برای اجرای این طرح از خاک سطح ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری مزرعه دانشکده کشاورزی شاهرود استفاده شد. پس از آلوده‌سازی خاک‌ها با سطوح مختلف کادمیم (از منبع سولفات) و اضافه نمودن

عنصر روی (از منبع سولفات)، به صورت محلولپاشی و اسپری به سطح خاک اضافه گردید و پس از خشک شدن خاک به گلدان‌ها منتقل و بذر اسفناج و تربچه در آنها کاشته شد.

گلدان‌های مورد استفاده ۲ کیلوگرمی و از جنس پلاستیک به قطر ۱۵سانتی‌متر و ارتفاع ۱۳ سانتی‌متر بود. در هر گلدان تعداد ۱۰ بذر در زیر خاک و در عمق ۱/۵سانتی‌متری سطح خاک قرار داده شد و در اردیبهشت ماه کاشته شد. طی ۵ -۶ روز بعد از کاشت، جوانه‌های گیاه سر از خاک در آورده و در سطح خاک پدیدار شدند (شکل۴-۱) .

پس از طی دوره رشد کامل گیاهان از سطح خاک برداشت شدند (شکل۴-۴). ابتدا بخش‌های مختلف گیاه، غده و برگ‌ها جدا شده و پس از شستشو با آب مقطر، با ترازوی دیجیتال وزن و همچنین ارتفاع و سطح برگ اندازه گیری شد و پس از انتقال به داخل پاکت‌های کاغذی، شماره-گذاری شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد نگهداری و خشک شدند. سپس تمامی نمونه‌ها آسیاب و از الک ۵/. میلی‌متری عبور داده شد و مقدار ۳/. گرم از هر نمونه در بوته چینی ریخته و برای مدت ۱۴ ساعت در دمای ۴۸۰ درجه در کوره الکتریکی حرارت دیدند. پس از آن ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱۰ درصد به خاکستر حاصل افزوده و در لوله‌های فالکون شماره‌گذاری شده به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شدند. در نهایت تمامی نمونه‌ها از کاغذ صافی عبور داده شده و غلظت عناصر مورد نظر با استفاده از دستگاه جذب اتمی قرائت گردید.

۳-۵- اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در اندام‌های مختلف گیاه :

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر فلزی در اندام‌های گیاهی از روش الن و همکاران (۱۹۷۴) استفاده گردید، بخش‌های مختلف نمونه‌های گیاه، شامل ریشه، ساقه و برگ، جداشده و پس از شست‌وشو با آب‌مقطر، به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس نگهداری و خشک شدند. سپس تمامی نمونه‌ها در هاون چینی ساییده شد و پس از عبور دادن آن‌ها از الک ۰/۵ میلی‌متری، مقدار ۰/۳ گرم از هر یک از نمونه‌ها در بوته چینی ریخته و برای مدت ۱۴ ساعت در دمای ۴۸۰ درجه سلسیوس در

کوره الکتریکی حرارت داده شدند. پنج میلی‌لیتر اسیدنیتریک ۱۰ درصد به خاکستر حاصل افزوده و به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. در پایان، غلظت کل عناصر سنگین، شامل روی و کادمیم تمامی عصاره‌ها توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید.

۳-۶-اندازه گیری سطح برگ و ارتفاع گیاهان :

در ۵۴ گلدان مورد نظر برای اندازه گیری ارتفاع گیاهان طول آن از محل طوقه تا محل اتصال به برگ و برای اندازه گیری سطح از روش طولی-عرضی استفاده شد. تحقیقات نشان می‌دهد که معادلات زیادی برای برآورد سطح برگ به صورت غیرمستقیم ایجاد شده‌اند.

۳-۷-روشهای آماری مورد استفاده :

تجزیه و تحلیل داده ها به کمک نرم افزار SPSS و طراحی نمودارها و گراف های آموزشی با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد.

شکل۳-۱-مرحله کاشت و جوانه زنی

شکل۳-۲-مرحله سبزشدن

فصل ۴

نتایج و بحث

۴-۱- بررسی تاثیر غلظت روی و کادمیم بر رشد و میزان انباشتگی کادمیوم در گیاه اسفناج :

۴-۱-۱- ارتفاع گیاه :

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تیمار کادمیم، روی و اثر متقابل آنها بر ارتفاع گیاه اسفناج تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد دارد (جدول۴-۱).

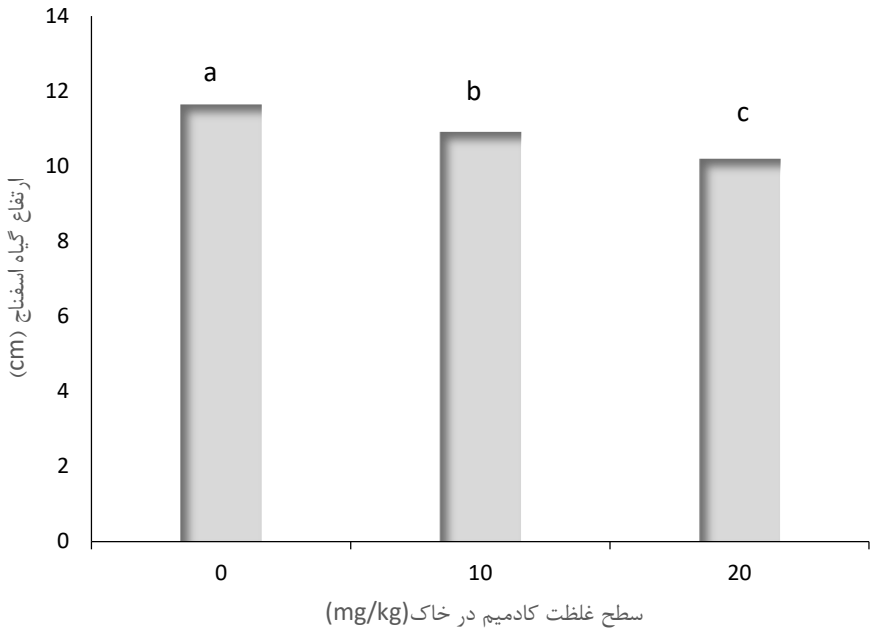
جدول۴-۱: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر ارتفاع گیاه اسفناج

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه
غلظت کادمیم	۲	۲/۰۵**
غلظت روی	۲	۱۸/۷۳**
غلظت کادمیم *غلظت روی	۴	۲/۲۲**
خطا	۱۸	۰/۸۴

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی داری و معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد

۴-۱-۱-۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر ارتفاع بوته

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطوح کادمیم ارتفاع این گیاه کاهش یافته وکمترین ارتفاع در غلظت ۲۰ میلی‌گرم کادمیم دیده شد. با توجه به نتایج بدست آمده، تیمار کادمیوم در سطح ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک باعث کاهش ارتفاع بوته اسفناج به مقدار ۱۲ درصد نسبت به تیمار شاهد شد (شکل۴-۱).

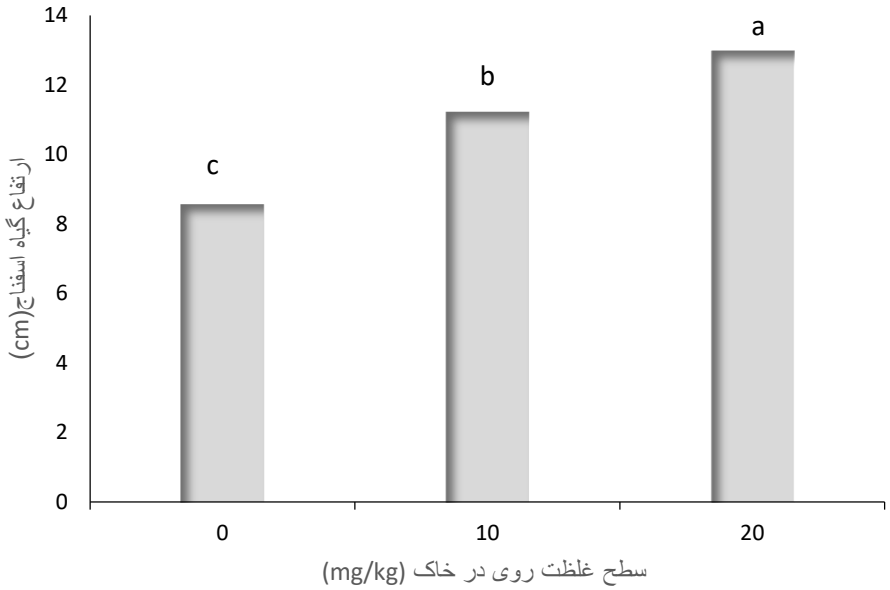


شکل ۴-۱: اثر سطوح مختلف کادمیم بر ارتفاع بوته گیاه اسفناج

نتایج محققین نشان می‌دهد کاهش رشد بخش هوایی در نتیجه تأثیر کادمیم می‌تواند به علت کاهش میزان کلروفیل و فعالیت فتوسیستم I که در اثر تنش عناصر سنگین القا می‌شود، ایجاد گردد (شاه و همکاران ، ۲۰۰۸). همچنین شانکر و همکاران (۲۰۰۵) اظهار داشتند که عناصر سنگین که به بخش هوایی گیاه انتقال داده می‌شوند، به علت اختلال در سوخت و ساز سلولی بخش هوایی، ارتفاع گیاه را کاهش می‌دهند. کاهش رشد ممکن است به‌طور کلی به علت از دست رفتن اتساع سلولی و نیز کاهش فعالیت میتوزی و یا مهار طویل شدن سلول‌ها باشد (شاه و همکاران ، ۲۰۰۸). همچنین کادمیم در سلول‌ها از طریق تأثیر بر دیواره‌های سلولی و تیغه میانی و افزایش پیوند عرضی بین ترکیبات دیواره سلولی باعث مهار گسترش سلولی می‌شود (حسان و همکاران ، ۲۰۰۶).

۴-۱-۱-۲- اثر سطوح مختلف روی بر ارتفاع بوته :

با توجه به داده‌های تجزیه واریانس (جدول۴-۱)، اثر روی بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود و بیشترین ارتفاع بوته (۱۲/۹۸سانتیمتر) در خاک دارای۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی مشاهده شد (شکل۴-۲).



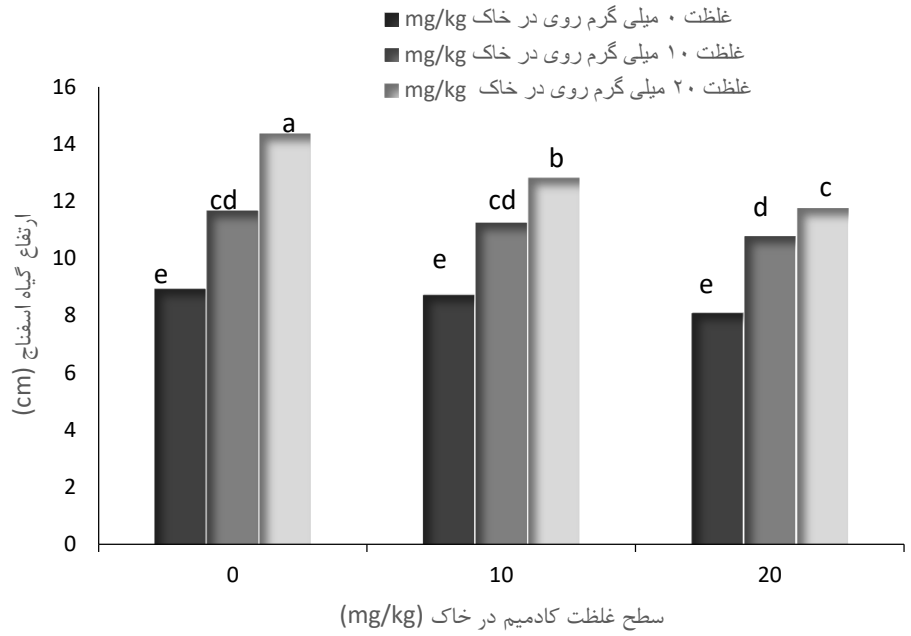
شکل ۴-۲: اثر سطوح مختلف روی بر ارتفاع بوته گیاه اسفناج

در مطالعاتی نشان داده شد که کاربرد کود روی باعث افزایش رشد ریشه و ارتفاع ساقه‌ها در طی فصل رشد می‌شود (زیدی و همکاران، ۱۳۹۵). روی یکی از عناصر غذایی ضروری است که در بسیاری از فرآیندهای زیستی نظیر فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، تشکیل پروتئین‌ها، فعالیت هورمونی و غیره نقش دارد (ژائو و همکاران ، ۲۰۰۵).

۴-۱-۱-۳- اثرمتقابل سطوح مختلف روی و کادمیم بر ارتفاع بوته :

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل روی و کادمیوم بر ارتفاع بوته نشان داد که کاربرد روی باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته در تمام سطوح کادمیوم شده است؛ به‌طوری که بیشترین ارتفاع بوته (۱۴/۳۶ سانتیمتر) از سطح صفر کادمیوم و مصرف ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی حاصل شد و کمترین آن (۸/۰۸ سانتیمتر) از سطح صفر روی و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم بدست آمد (شکل ۴-۳). همچنین با توجه به شکل ۴-۳ مشاهده می‌شود که کاربرد ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی به همراه

مصرف ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم از لحاظ آماری با کاربرد ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی به همراه مصرف ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم تفاوت معنی‌داری بر نداشت.



شکل ۴-۳: اثر متقابل سطوح مختلف روی و کادمیم بر ارتفاع بوته گیاه اسفناج

محققان در مطالعاتی نشان دادند، هنگامی که روی به حد کافی به صورت مصرف در خاک و یا محلول-پاشی به گیاه داده شود، بلافاصله غلظت اکسین که در واقع هورمون تنظیم‌کننده رشد می‌باشد، افزایش یافته و عقب‌ماندگی رشدی جبران می‌گردد (همایی و ملکوتی، ۱۳۸۳).

۴-۱-۲- سطح برگ :

نتایج حاصل از تجزیه واریانس برای صفت سطح برگ نشان داد که کادمیم و روی در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر این صفت دارد ولی اثرات متقابل آنها نتوانست اختلاف معنی‌داری در مقادیر این صفت نشان دهد (جدول۴-۲).

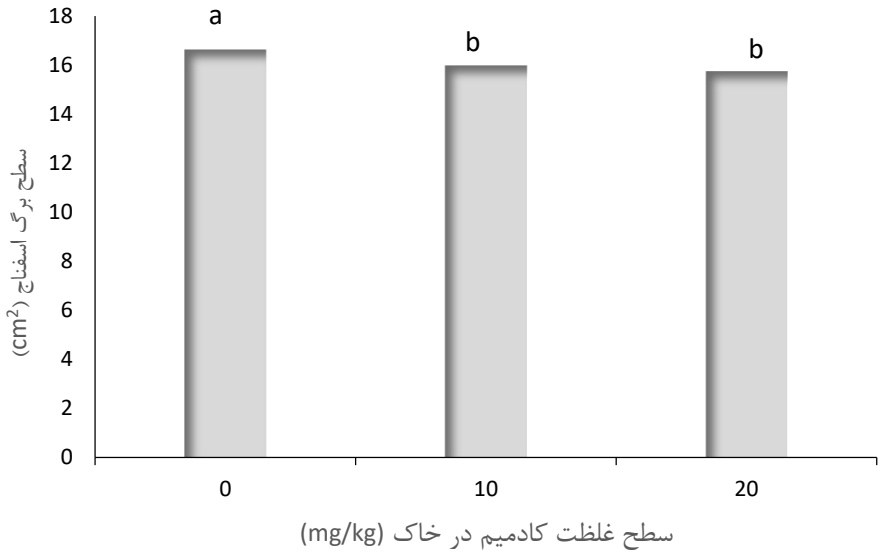
جدول۴-۲: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر سطح برگ گیاه اسفناج

منابع تغییرات	درجه آزادی	سطح برگ
غلظت کادمیم	۲	۱/۸۹**
غلظت روی	۲	۲۲/۴۳**
غلظت کادمیم *غلظت روی	۴	۰/۳۰ns
خطا	۱۸	۰/۱۱

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی داری و معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد

۴-۱-۲-۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر سطح برگ :

مقایسه میانگین سطوح کادمیم مربوط به این صفت بیانگر اثر کاهنده کادمیم است به‌طوری که سطح صفر کادمیم، بیشترین سطح برگ (۱۶/۶۲سانتی‌متر مربع) داشت. کمترین سطح برگ (۱۵/۷۴سانتی-متر مربع) نیز در تیمار ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم حاصل شد که البته با تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۴-۴).

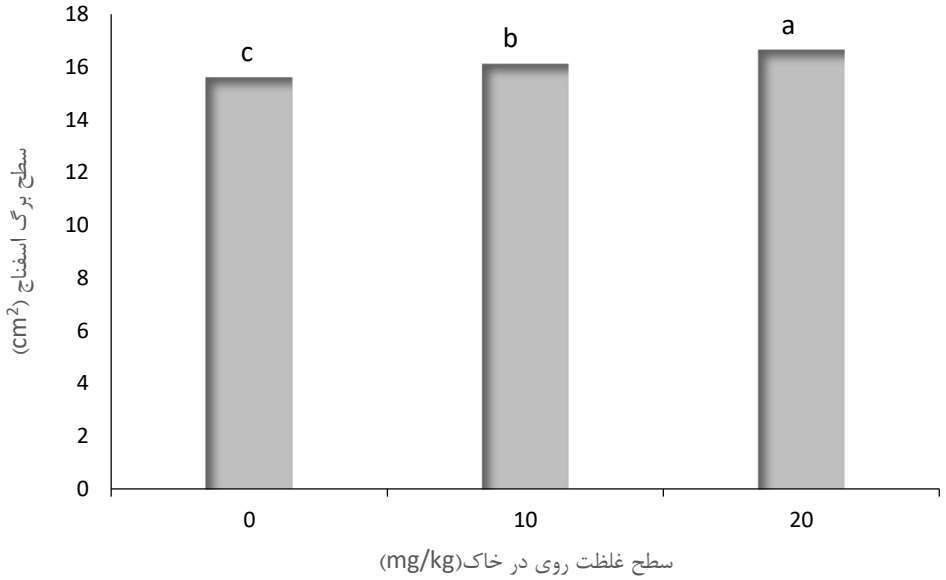


شکل ۴-۴: اثر سطوح مختلف کادمیم بر سطح برگ گیاه اسفناج

گزارشاتی مبنی بر تاثیرات منفی کادمیم بر سطح برگ و اختلال در جذب آب وجود دارد که نتیجه آن کاهش فشار اسمز است. این کاهش همراه با کاهش قابلیت ارتجاعی دیواره سلول باعث کوچک شدن سلول‌ها و کاهش فضای بین سلولی در گیاهان تحت تنش با کادمیم می‌شود (استراوینسکین و همکاران ، ۲۰۱۴).

۴-۱-۲-۲- اثر سطوح مختلف روی بر سطح برگ :

مقایسه میانگین افزایش غلظت روی بین سطوح مختلف روی نیز نشان داد که افزایش غلظت روی منجر به افزایش سطح برگ شده و در سطح ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین (۱۶/۶۴ سانتیمتر مربع) بیشترین و سطح صفر روی با میانگین (۱۵/۶۰سانتیمتر مربع) کمترین سطح برگ حاصل گردید (شکل۴-۵).



شکل ۴-۵: اثر سطوح مختلف روی بر سطح برگ گیاه اسفناج

با افزایش مصرف روی شاخص سطح برگ بالا رفت. علت این امر نقش روی در افزایش رشد گیاه و افزایش فتوسنتز در گیاه می‌باشد. گیاهانی که کمبود روی دارند با کمبود تریپتوفان و ایندول استیک

اسید مواجه می‌شوند و در نتیجه برگ‌های آنها کوچک می‌شود (اندرسون و همکاران ، ۲۰۱۸). تاثیر افزایش روی بر افزایش سطح برگ در چغندر لبویی (بهتاش و همکاران، ۱۳۸۹) و شبدر برسیم (عادلی و همکاران، ۱۳۹۶) نیز به اثبات رسیده است.

۴-۱-۳- وزن تر و خشک اندام هوایی :

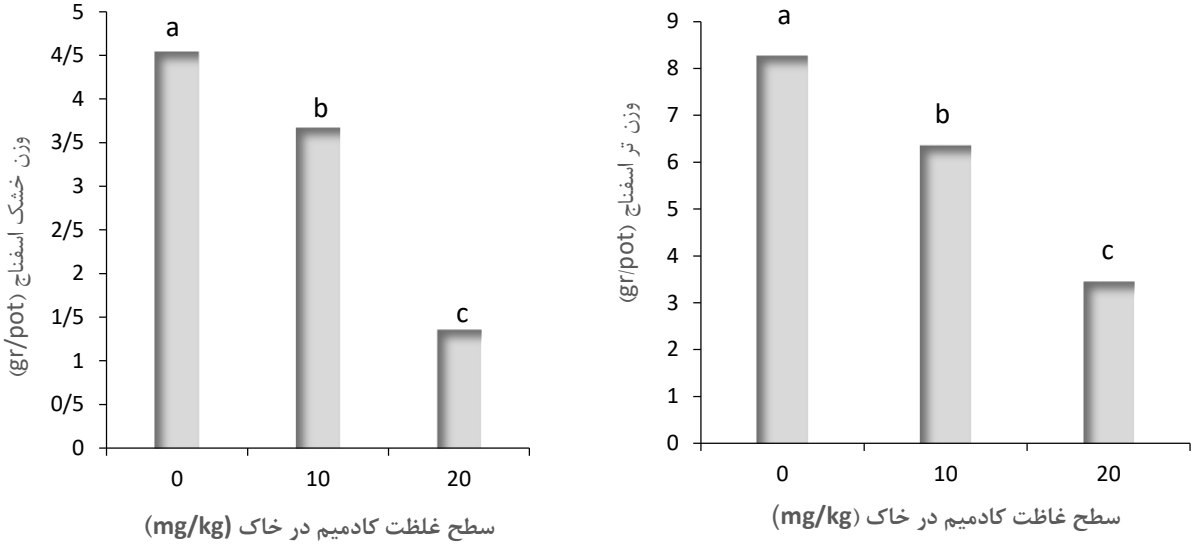
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کادمیم و همچنین اثر غلظت‌های مختلف روی و اثر متقابل بین کادمیم و روی در سطح احتمال یک درصد بر وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه اسفناج معنی‌دار است (جدول ۴-۳).

جدول۴-۳: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر وزن تر وخشک اندام هوایی گیاه اسفناج

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر	وزن خشک
غلظت کادمیم	۲	۵۲/۶۵**	۲۴/۳۱**
غلظت روی	۲	۴/۷۵**	۸/۸۲**
غلظت کادمیم *غلظت روی	۴	۴/۸۱**	۲/۱۴**
خطا	۱۸	۰/۱۴	۰/۰۸

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی داری و معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد

۴-۱-۳-۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر وزن تر و خشک اندام هوایی :



شکل ۴-۶: اثر سطوح مختلف کادمیم بر وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه اسفناج

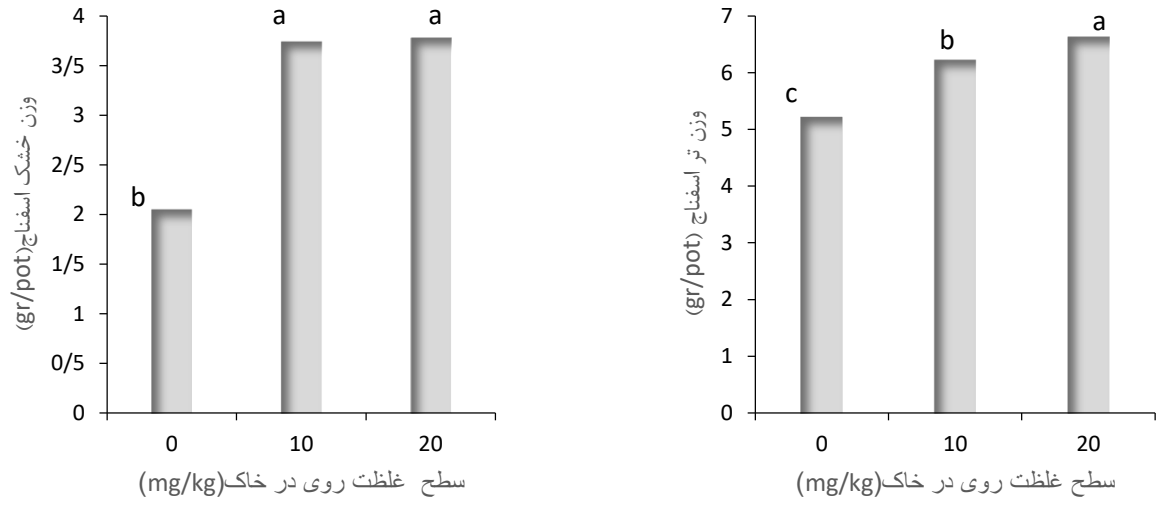
وزن خشک و تر اندام هوایی تحت تاثیر تنش آلودگی کادمیمی قرار گرفت؛ به‌گونه‌ای که با افزایش سطوح تیماری، وزن تر و خشک گیاهان کاهش یافت. نتایج مقایسه‌ای میانگین اثرات ساده، بیشترین وزن تر و خشک را در تیمار شاهد به ترتیب با میانگین۸/۲۶ و ۴/۵۴ گرم و کمترین را با میانگین ۳/۴۵ و ۱/۳۶ گرم در تیمار ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم نشان داد (شکل۴-۶).

سایر نتایج محققان نیز نشان‌دهنده اثرات منفی کادمیوم بر اسفناج می‌باشد. بولان و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که بین غلظت کادمیم محلول خاک و وزن خشک اسفناج رابطه معکوس وجود دارد. در پژوهش‌های رضاخانی و همکاران (۲۰۱۳) مشخص شد که با افزایش غلظت کادمیوم بیشتر از ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک، وزن خشک اندام هوایی گیاه اسفناج کاهش یافت. به گفته این محققان، این کاهش به دلیل اثرات منفی کادمیوم بر مکانیسم تولید انرژی در میتوکندری و کلروپلاست است. به گزارش عبدوس (۱۳۹۷)، بین وزن خشک اندام هوایی و میزان کادمیوم همبستگی آماری با ضریب تبیین ۰/۹۶ معنی‌دار وجود داشت. این همبستگی موید این مطلب است که کادمیوم به علت اثرات

سوء بر متابولیسم گیاه و ایجاد تنش اکسیداتیو، باعث کاهش رشد و منتج آن، وزن خشک گیاه گردیده است. کیانی هرچگانی و افتخاری (۱۳۹۶) بیان کردند که کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی و ریشه اسفناج در اثر افزایش غلظت کادمیم درخاک احتمالا به دلیل افزایش معنی‌دار غلظت این عنصر در اندام هوایی و تاثیر منفی و معنی‌دار آن برمقدار کلروفیل درون برگ می‌باشد. این مسأله می‌تواند منجر به کاهش فتوسنتز و تولید کربوهیدرات‌ها گردد. افزایش غلظت کادمیم در ریشه و اندام هوایی در اثر کاربرد مقادیر بیشترکادمیم، باعث ایجاد مسمومیت و تنش در گیاه می‌گردد که این مسمومیت و تنش‌های یادشده می‌تواند علت دیگر کاهش وزن خشک ریشه و اندام هوایی باشد. همچنین افزایش غلظت کادمیم درخاک می‌تواند منجر به رقابت با دیگر عناصر ضروری گردیده و از جذب آنها توسط ریشه جلوگیری نماید. جذب و سوخت‌وساز عناصر غذایی ضروری مانند نیتروژن و فسفر در گیاهان تحت تأثیر شرایط تنش‌زا مانند کمبود آب، شوری و سمیت فلزات سنگین کاهش می یابد که در نتیجه، وزن خشک گیاه نیزکاهش می‌یابد (نورانی آزاد و کفیل‌زاده، ۱۳۹۰).

۴-۱-۳-۲- اثر سطوح مختلف روی بر وزن تر و خشک اندام هوایی :

نتایج نشان داد که اضافه کردن روی باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک و تر اسفناج شده است (جدول۴-۳). کاربرد ۲۰ میلی‌گرم روی میانگین وزن خشک و تر اسفناج را به ترتیب ۸۴ و ۲۷ درصد در مقایسه با شاهد (بدون روی) افزایش داده است (شکل۴-۷).



شکل ۴-۷: اثر سطوح مختلف روی بر وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه اسفناج

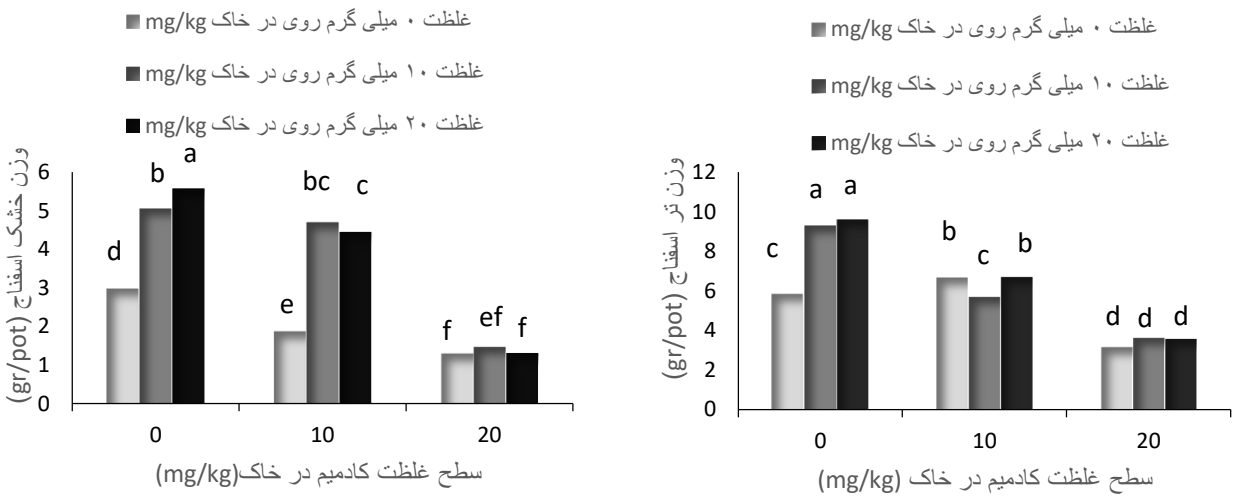
رحیمی و رونقی (۱۳۹۱) نیز گزارش کردند که دو منبع روی سولفاتی و کلاتی وزن خشک اسفناج را افزایش دادند؛ اما روی سولفاتی به‌طور معنی‌داری در افزایش وزن خشک مؤثرتر بوده است. با توجه به نقش روی در فعالیت آنزیم‌ها و سنتز پروتئین این مطلب قابل توجیه می‌باشد. روی یکی از ضروری‌ترین عناصر ریزمغذی می‌باشد که در بسیاری از اعمال بیولوژیک نقش دارد. به عنوان مثال، روی باعث ثبات غشای پلاسمایی سلول‌ها شده و همچنین کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو می-باشد (ژائو و همکاران ، ۲۰۰۵). بهتاش و همکاران (۱۳۸۹) عنوان کردند که کاربرد روی باعث افزایش وزن تر و خشک، شاخص کلروفیل، تعداد برگ و سطح برگ چغندر لبویی شده است.

۴-۱-۳-۳- اثرمتقابل سطوح مختلف روی و کادمیم بر وزن تر و خشک اندام هوایی :

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل کادمیوم و روی بر میزان وزن تر و خشک اندام هوایی (شکل ۴-۸) به خوبی نشان می‌دهد که افزایش روی در دو سطح ۰ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم مصرفی، باعث افزایش معنی‌داری در وزن خشک اسفناج شده است ولی در سطح ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم مصرفی، کاربرد روی افزایش معنی‌داری در وزن خشک ایجاد نکرده است.

همچنین وزن تر اندام هوایی اسفناج تحت تاثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت (شکل۴-۸). بدین صورت که در غیاب کادمیوم (سطح صفر کادمیوم) با افزایش کود روی وزن تر اندام هوایی اسفناج

افزایش یافت به‌طوری که بیشترین وزن تر (۹/۶۲ گرم در گلدان) مربوط به ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی بود. در تیمار ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم مصرفی، با مصرف ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی کاهش قابل ملاحظه‌ای در وزن تر اندام هوایی مشاهده شد ولی کاربرد ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی تغییر معنی‌داری در وزن تر اندام هوایی ایجاد نکرد. در سطح مصرف ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم، مقادیر مختلف روی بر وزن تر اندام هوایی اثر معنی‌داری نداشت.



شکل ۴-۸: اثر متقابل سطوح مختلف روی و کادمیم بر وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه اسفناج

رحیمی و رونقی (۱۳۹۱) نیز گزارش کردند که در سطوح ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم و عدم مصرف روی، افت وزن خشک در بخش هوایی اسفناج رخ داد، ولی در همین سطوح کادمیم، مصرف ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی منجر به افزایش وزن خشک بخش هوایی اسفناج در مقایسه با شاهد شد. نتایج حاصل از مطالعه دانشمندان نشان داده است که در حضور یون کادمیوم میزان پراکسیداسیون چربی به علت افزایش مقدار پراکسید هیدروژن در سلول افزایش می‌یابد (ناگاجاتی و همکاران ، ۲۰۱۰). این وضعیت باعث برهم‌خوردن تعادل آبی و تغذیه‌ای سلول شده که این یکی از مهمترین دلایل کاهش وزن گیاه می‌باشد اما زمانی که سطح روی افزایش می‌یابد کاهش در وزن تر و خشک کمتر می‌شود (ویزنیسکا و همکاران ، ۲۰۱۷). این نتایج با این نظریه که روی، گیاه را در مقابل سمیت کادمیوم محافظت می‌کند به خوبی ساز گار بود. بر طبق این نظریه روی با بهبود

مقاومت گیاه در مقابل تنش اکسیداتیو القاء شده به وسیله کادمیوم و با رقابت با کادمیوم بر سر اتصال به اجزای سلولی حساس مانند آنزیم‌ها، پروتئین‌های غشائی و لیپیدها گیاه را در مقابل سمیت کادمیوم حفاظت می‌کند (لکزیان و همکاران، ۱۳۸۸). وو و زانگ (۲۰۰۲) گزارش کردند که افزایش کاربرد روی در محیط کشت نیمه جامد اثر سمیت کادمیوم در گیاه جو را به وسیله بهبود دادن رشد و کاهش صدمات غشایی تعدیل کرده است.

روی ممکن است از گیاهان در مقابل سمیت کادمیم از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های مثل سوپراکسید دیسموتاز (یک آنزیم دارای روی) و همچنین رقابت با کادمیم برای پیوند با گروه‌های– SH آنزیم‌ها و پروتئین‌های غشاء محافظت کند (مظفری و همکاران، ۱۳۹۱).

۴-۱-۴- غلظت کادمیم اندام هوایی :

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۴-۴) نشان می‌دهد که غلظت کادمیم قابل جذب خاک و اثر متقابل روی و کادمیم، اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر میزان غلظت کادمیم در ماده خشک گیاه اسفناج دارد؛ اما سولفات روی به تنهایی بر میزان انباشتگی کادمیوم در ماده خشک گیاهی تأثیری نداشت.

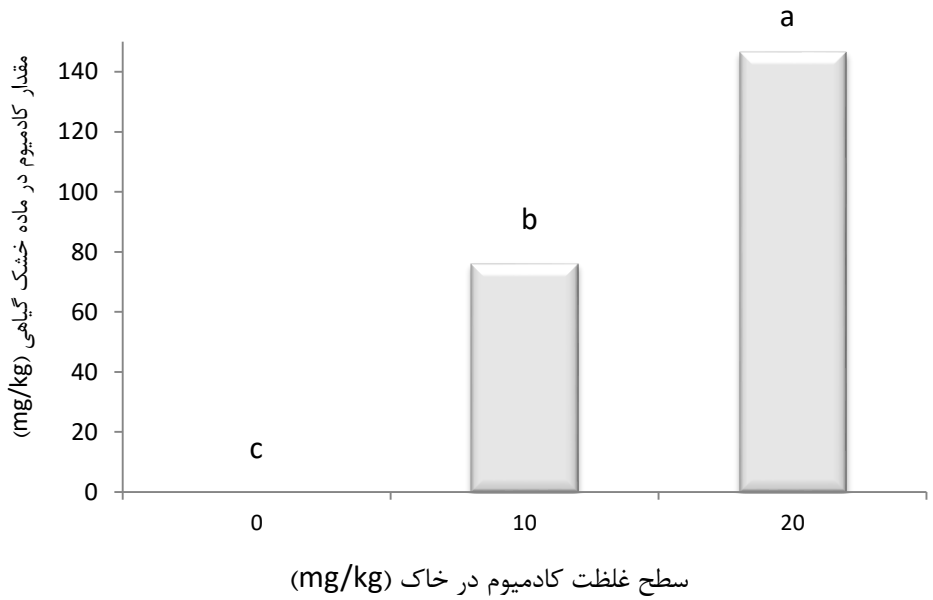
جدول۴-۴: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر غلظت کادمیم اندام هوایی گیاه اسفناج

منابع تغییرات	درجه آزادی	غلظت کادمیم اندام هوایی
غلظت کادمیم	۲	۹۶۸۲۱/۲۷**
غلظت روی	۲	۳۰۲/۹۵ns
غلظت کادمیم *غلظت روی	۴	۵۵۲۴/۴۰**
خطا	۱۸	۳۴۵۰/۴۱

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی داری و معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد

۴-۱-۴-۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر غلظت کادمیم اندام هوایی

براساس نتایج مقایسه میانگین (شکل۴-۹)، مشاهده می‌شود که افزایش سطوح کادمیم، میزان تجمع کادمیم در گیاه را تحت تأثیر خود قرار داده و موجب افزایش آن شده است. زمانی که غلظت کادمیوم صفر می‌باشد میزان تجمع هم صفر است و با افزایش میزان کادمیوم در محیط کشت، میزان تجمع آن در ماده خشک گیاهی افزایش می‌یابد. بیشترین میزان تجمع کادمیوم مربوط به غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک کادمیم با میانگین ۱۴۶/۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک می‌باشد. در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک کادمیوم، میانگین میزان تجمع کادمیوم در ماده خشک گیاهی برابر ۷۶/۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک می‌باشد.



شکل ۴-۹: اثر سطوح مختلف کادمیم بر میزان کادمیم گیاه اسفناج

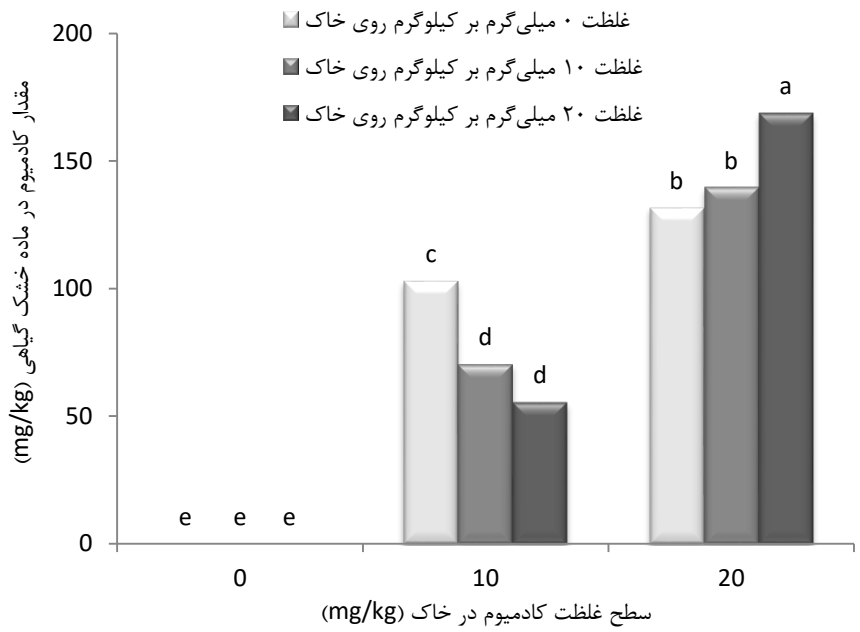
افزایش غلظت کادمیم در ماده خشک گیاهی، ناشی از افزایش غلظت آن در خاک، در تحقیقات پیشین نیز گزارش شده است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) دریافتند که میزان کل کادمیم خاک یکی از مهمترین عوامل مؤثر در میزان کادمیم گیاهان رشد کرده در خاک‌های آلوده می‌باشد. از جمله عوامل موثر بر جذب فلزات در گیاه می‌توان به غلظت این عنصر در خاک، pH خاک، نوع گیاه، شرایط آب و هوایی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اشاره نمود (هودجی و افیونی، ۱۳۸۸). در تحقیق

صورت گرفته توسط حسینی و همکاران (۱۳۹۰) نیز گزارش شد که سطوح انباشت فلزات مختلف در گیاه به غلظت آنها در خاک بستگی داشته و با افزایش غلظت فلز در خاک، غلظت آن در گیاه افزایش می‌یابد. بررسی‌های انجام شده در گیاهان اسفناج (جهانبخشی و همکاران ، ۲۰۱۵) و Salvinia cucullata (فت سم بات و همکاران،۲۰۰۶) مشخص شد که با افزایش غلظت کادمیم، بر تجمع آن در بخش هوایی گیاهان مورد مطالعه افزوده شد. رحیمی و رونقی (۱۳۹۱) طبق تحقیقی که در مورد گیاه اسفناج انجام دادند، گزارش کردند که با افزایش سطح کادمیم مصرفی، غلظت این عنصر در اندام هوایی گیاه افزایش یافت.

قادریان و جمالی‌حاجیانی (۱۳۸۹) با مطالعه بر روی گیاه Matthiola chenopodiifolia ملاحظه کردند که با افزایش غلظت کادمیوم در محلول غذایی میزان عنصر انباشته شده در بخش هوایی گیاه افزایش یافت و از این نظر بین تمام تیمارها و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. علت تجمع بیشتر کادمیم بدلیل سهولت حرکت آن در گیاه است (موستاکاس و همکاران ، ۲۰۱۱؛ یادگاری و همکاران ، ۲۰۱۳). کادمیم محلول از طریق حرکت در فضای آزاد دیواره سلولی (مسیر آپوپلاستی) و به وسیله عبور از مسیر سیم‌پلاستی وارد ریشه می‌شود و با ورود به جریان شیره خام به اعضای هوایی گیاه انتقال می‌یابد (ژانگ و همکاران ، ۲۰۱۴). گیاه عمدتآ کادمیم را به صورت یون فلزی آزاد Cd^{2+} از محلول خاک جذب کرده و در شرایط سمیت کادمیم در خاک، این عنصر را از طریق چند ناقل غشایی از جمله اعضای خانواده Narmp و Zip به اندام هوایی گیاه منتقل می‌کند (بنی‌هاشمی و همکاران، ۱۳۹۰؛ قاسمی و شهابی، ۱۳۸۹). به نظر می‌رسد نگهداشت کادمیم در واکوئل سلول‌های ریشه ممکن است بر حرکت شعاعی کادمیم به سمت آوندهای چوبی و در نتیجه انتقال بیشتر کادمیم به سمت اندام‌های هوایی تأثیر بگذارد (ولی‌زاده فرد و همکاران، ۱۳۹۰).

۴-۱-۴-۲- اثرمتقابل سطوح مختلف روی و کادمیم بر غلظت کادمیم اندام هوایی :

شکل (۴-۱۰) اثر غلظت‌های ۰، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم درکیلوگرم کادمیوم را بر میزان انباشتگی کـادمیوم در ماده خشک گیـاهی در حضور غلظت‌های ۰، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم درکیلوگرم روی نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت کادمیوم و روی میزان انباشتگی کـادمیوم در ماده خشک گیـاهی نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری پیدا می‌کند. در غلظت ۱۰ میلی گرم درکیلوگرم کادمیوم، افزایش غلظت روی باعث کاهش غلظت کـادمیوم در ماده خشک گیـاهی می-شود؛ ولی در سطح ۲۰ میلی گرم درکیلوگرم کادمیوم، با افزایش غلظت روی غلظت کـادمیوم در ماده خشک گیـاهی افزایش یافت. زمانی که غلظت کادمیوم صفر می‌باشد میزان تجمع هم صفر می‌باشد و با افزایش میزان کادمیوم در محیط کشت، میزان تجمع آن درماده خشک گیـاهی افزایش می‌یابد. بیشترین میزان تجمع کادمیوم مربوط به غلظت ۲۰ میلی گرم درکیلوگرم کادمیوم و ۲۰ میلی گرم درکیلوگرم روی می‌باشد.



شکل ۴-۱۰: تأثیر برهمکنش روی و کادمیم بر میزان کادمیم گیاه اسفناج

غلظت روی در خاک به‌دلیل وجود رقابت جذب بین این دو عنصر و انتقال آن در گیاه می‌تواند جذب کادمیم بوسیله گیاه را تحت تاثیر قرار دهد (صیاد، ۱۳۸۷). تحقیقات نشان داده است که انتقال روی به درون سلول از طریق پروتئین‌های ناقل که در غشای پلاسمایی سلول قرار دارند، صورت می‌گیرد. روی و کادمیم از نظر شیمیایی بسیار شبیه هم بوده و یون‌های روی و کادمیم از طریق ناقل‌های پروتئین مشترک وارد سلول می‌شوند و این دو یون درحین جذب توسط ریشه گیاه با هم رقابت نموده و هر دو یون روی و کادمیم باعث اختلال در جذب و انتقال یکدیگر می‌شوند (هارت و همکاران ، ۲۰۰۲).

گزارشات ارایه شده در مورد تأثیر کاربرد روی بر غلظت کادمیم در گیاهان ضد و نقیض بوده و بستگی به گونه‌های گیاهی، شرایط رشد از قبیل کشت در خاک یا محلول غذایی، کاشت در مزرعه یا اطاقک رشد و غلظت کادمیم استفاده شده در آزمایشات دارد (بهتاش و همکاران،۱۳۸۹). اثر متقابل روی و کادمیم در غلظت کادمیم در اندام‌های گیاهی به صورت آنتاگونیستی (ولی زاده فرد و همکاران ،۲۰۱۲؛ چاب و ثواقبی ،۲۰۱۰) و یا سینرژیستی (بهتاش و همکاران، ۱۳۹۱؛ موستاکاس و همکاران،۲۰۱۱) گزارش گردیده است. محمدی و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند که افزایش سطوح روی در خاک، تأثیر معنی‌داری بر میزان جذب عنصر کادمیم توسط گیاه نداشت. رحیمی و رونقی (۱۳۹۱) پیشنهاد کردند که در خاک‌های آلوده به کادمیم، کاربرد کودهای روی به خصوص سولفات روی می‌تواند اثر سوء کادمیم بر رشد و برخی پارامترهای گیاهی را کاهش دهد. نتایج مشابهی در مورد برهمکنش منفی این عناصر در گیاهان کاهو، اسفناج و گندم نیز گزارش شده است (هودجی و افیونی، ۱۳۸۸؛ ثواقبی و همکاران، ۱۳۸۱). چریف و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که در سطح ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم، کاربرد ۱۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم باعث کاهش غلظت کادمیم برگ‌های گوجه فرنگی شد. همچنین کاهش غلظت کادمیم در دانه گیاه برنج در صورت مصرف روی مشاهده گردید که ممکن است مربوط به اثر رقت، روند رقابتی بر جذب کادمیم یا اثر بازدارندگی روی بر انتقال کادمیم در گیاه باشد (رحیمی و رونقی، ۱۳۹۱). در مطالعه صورت گرفته

توسط لکزیان و همکاران (۱۳۸۸) تأثیر چشمگیری در میزان تجمع کادمیم اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان آفتابگردان و ذرت در صورت افزایش غلظت روی در خاک، مشاهده نگردید. افزایش غلظت کادمیم در اندام هوایی گیاه تربچه بر خلاف کاهش میزان آن در غده گیاه نیز همراه با افزایش سطوح روی در خاک گزارش شده است (شیروانی و فتوت، ۱۳۹۰).

عده‌ای از دانشمندان بر این باورند که درصورت وجود مقدار نسبتاً زیاد فلز روی در داخل خاک و یا گیاه، طی مکانیسم‌های خاصی از جذب فلز کادمیم به ریشه و یا انتقال آن از ریشه به سمت اندام‌های هوایی توسط گیاهان ممانعت می‌شود. هنوز مکانیسم‌های مسئول این پدیده کاملا شناخته نشده است؛ ولی بعضی از محققین بر این عقیده‌اند که در این حالت فلز کادمیم در داخل واکوئل‌های ریشه و به شیوه Compartmentation تجمع یافته و از حرکت آنها به بیرون از سلول ریشه و واکوئل‌های آن جلوگیری می‌گردد. در عین حال، محققین دیگر در این زمینه نظرات مخالف داشته و بر این باورند که مکانیسم‌های جذب و انتقال کادمیم و روی در گیاهان کاملا از هم مستقل بوده و هر یک از آنها می-توانند به صورت جداگانه در هر یک از گیاهان جذب و تجمع یابند (عموئی و همکاران، ۱۳۹۰).

۴-۲- بررسی تاثیر غلظت روی و کادمیم بر رشد و میزان انباشتگی کادمیوم در گیاه تربچه :

۴-۲-۱- ارتفاع اندام هوایی :

نتایج حاصل از تحلیل آماری داده‌ها نشان می‌دهد که سمیت روی و کادمیم در خاک، تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع اندام هوایی گیاه تربچه نداشته است (جدول۴-۵).

جدول۴-۵: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر ارتفاع گیاه تربچه

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه
غلظت کادمیم	۲	۰/۰۰۱ ns
غلظت روی	۲	۰/۰۴۳ ns
غلظت کادمیم *غلظت روی	۴	۴۲/۶۱ ns
خطا	۱۸	۰/۱۵

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی داری و معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد

یافته‌های ناشی از بررسی تاثیرات کادمیم بر پارامترهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهچه‌های کلزا نشان داد که افزایش غلظت کادمیم کاهش معنی‌داری در درصد جوانه زنی، وزن خشک، وزن تر، طول اندام‌های هوایی گیاه و مقدار کلروفیل ندارد (آقا عباسی و همکاران،۱۳۹۲). جذب کادمیم در بین ژنوتیپ‌های گیاهان متفاوت می‌باشد.

اختلاف در جذب کادمیم به وسیله ریشه و میزان انتقال و تجمع آن در اندام‌های هوایی فاکتور اساسی در توضیح اختلاف بین ژنوتیپ‌های مختلف به تحمل به سمیت کادمیم می باشند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۴).

۴-۲-۲- سطح برگ :

نتایج بررسی‌ها در مورد سطح برگ گیاه تربچه به این صورت بود که غلظت‌های مختلف کادمیم به‌طور معنی‌داری این صفت را تحت تأثیر خود قرار داده است این درحالی است که اثر روی و نیز اثر متقابل روی و کادمیم معنی‌دار نشد (جدول۴-۶).

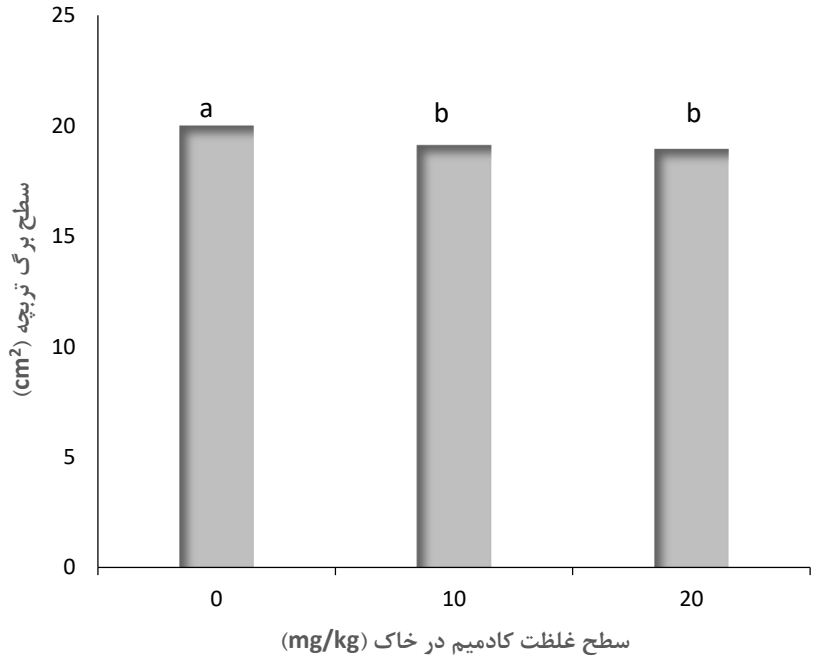
جدول۴-۶: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر سطح برگ گیاه تربچه

منابع تغییرات	درجه آزادی	سطح برگ
غلظت کادمیم	۲	۲/۹۰**
غلظت روی	۲	۰/۲۸ ns
غلظت کادمیم *غلظت روی	۴	۰/۵۳ ns
خطا	۱۸	۰/۴۳

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی داری و معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد

۴-۲-۲-۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر سطح برگ :

براساس شکل ۴-۱۱ مشاهده شد که افزایش سطوح کادمیم سطح برگ را تحت تأثیر خود قرار داده و موجب کاهش آن شده است؛ به‌طوری که در محیط فاقد کادمیم حداکثر سطح برگ با میانگین ۲۰/۰سانتیمترمربع و حداقل سطح برگ با میانگین ۱۸/۹۴ سانتیمترمربع در خاک با ۲۰ میلی‌گرم کادمیم به دست آمد.



شکل ۴-۱۱: اثر سطوح مختلف کادمیم بر سطح برگ گیاه تربچه

نتایج مشابهی توسط سایر محققین در مورد تأثیر کادمیم بر سطح برگ گزارش شده است. آزادی و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که افزایش غلظت کادمیم سبب کاهش سطح برگ در گیاه اسفناج و تربچه شده است. در تحقیقی گزارش شده است که در اثر افزایش غلظت کادمیم تا پنج میلی‌گرم در لیتر سطح برگ گیاه چغندر لبویی کاهش معنی‌داری نشان داده است (بهتاش و همکاران، ۱۳۸۹). محققان کاهش سطح برگ و کلروز را از علائم دیگر سمیت کادمیم دانستند (برنفت و همکاران ، ۲۰۱۳؛شارما وهمکاران ۲۰۱۵).

۴-۲-۳- وزن تر و خشک اندام هوایی :

نتایج حاصل از تجزیه واریانس برای این صفات نشان داد که اثر کادمیم، روی و برهمکنش آنها نتوانست اختلاف معنی‌داری در مقادیر این صفات نشان دهد (جدول۴-۷).

جدول۴-۷: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر وزن تر وخشک اندام هوایی گیاه تربچه

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر	وزن خشک
غلظت کادمیم	۲	۰/۳۵^{ns}	۰/۷۰ ^{ns}
غلظت روی	۲	۰/۴۵^{ns}	۰/۷۴ ^{ns}
غلظت کادمیم *غلظت روی	۴	۰/۲۱ ^{ns}	۰/۴۷ ^{ns}
خطا	۱۸	۰/۲۴	۰/۲۷

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی داری و معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد

محمدی و همکاران (۱۳۹۴) نیز با بررسی اثر سطوح مختلف عناصر روی و کادمیم بر عملکرد گیاه ترب سفید مشاهده کردند که افزایش غلظت فلزات سنگین روی و کادمیم، تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک و تر اندام هوایی گیاه ترب سفید بر خلاف بخش ریشه آن، نداشته است. بنابراین می‌توان این‌گونه بیان نمود که اندام هوایی گیاه تربچه توانایی تحمل غلظت‌های بالای فلزات مذکور را بدون بروز هیچ گونه کاهش عملکرد، دارا می‌باشد. معمولاً کادمیم جذب ریشه گیاه گردیده و به کندی وارد ساقه‌ها و برگ‌ها می‌گردد و انتقال ناچیزی از برگ به میوه را نیز دارد (روحانی و همکاران، ۱۳۹۱).

۴-۲-۴- وزن تر و خشک ریشه تربچه :

تجزیه وارانس داده‌ها نشان داد وزن تر و خشک ریشه تربچه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف کادمیم قرار گرفته است؛ این درحالی است که اثر روی و نیز اثر متقابل روی با کادمیم در صفت مورد بررسی معنی‌دار نیست (جدول۴-۸).

جدول۴-۸: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر وزن تر وخشک ریشه گیاه تربچه

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر	وزن خشک
غلظت کادمیم	۲	۱۶/۷۷**	۴/۰۵**
غلظت روی	۲	۱/۰۴^{ns}	۰/۲۱^{ns}
غلظت کادمیم *غلظت روی	۴	۰/۹۷^{ns}	۰/۳۶^{ns}
خطا	۱۸	۰/۴۶	۰/۱۱

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی داری و معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد

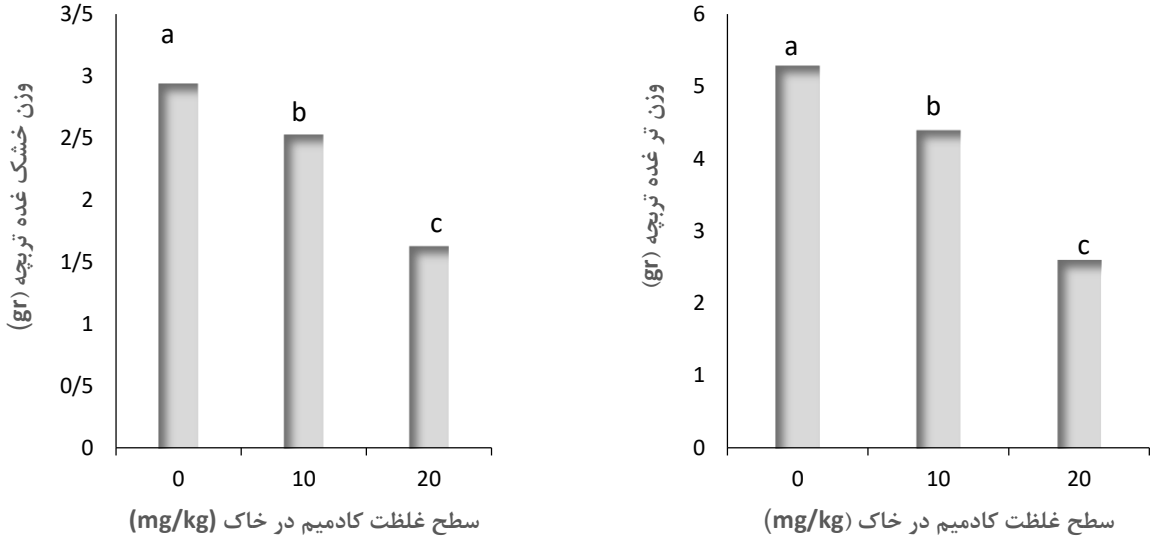
در این آزمایش نیز برخلاف اندام هوایی گیاه، کاهش وزن تر و خشک ریشه (شکل۴-۱۲) در خاک آلوده به کادمیم اتفاق افتاد که می‌تواند به دلیل کاهش رقت کادمیم در گیاه و انتقال اندک آن به اندام هوایی باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۴).

۴-۲-۴-۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر وزن تر و خشک ریشه تربچه :

مقایسه میانگین‌های تاثیر سطوح مختلف کادمیم بر صفات مورد بررسی نشان دادکه حداکثر میانگین وزن تر و خشک به خاک فاقد کادمیم تعلق دارد که به ترتیب ۵/۲۸ و ۲/۹۴ گرم بود. حداقل وزن تر و خشک نیز در خاک دارای بیشترین غلظت کادمیم (۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) حاصل شد (شکل۴-۱۰).

مشابه نتایج این تحقیق، یعنی کاهش وزن تر و خشک ریشه ناشی از وجود غلظت بالای کادمیم در محیط ریشه، از طرف برخی محققین دیگر نیز گزارش شده است. در بررسی های آزادی و همکاران (۱۳۹۳) نیز اثر آلودگی کادمیم خاک بر کاهش وزن تر و خشک ریشه تربچه ظاهر شد.

یافته های اخیر در مورد کاهش وزن تر حاکی از عدم ورود آب به درون بافت‌های گیاهی است؛ به‌طوری که مشخص شده است، گیاهان تحت تیمار کادمیم در غلظت‌های بالاتر از ۱۰ میکرومولار، محتوای آبی کمتری نسبت به گیاهان شاهد دارند (قاسمی و شهابی، ۱۳۸۹).



شکل ۴-۱۲: اثر متقابل سطوح مختلف روی و کادمیم بر وزن تر و خشک ریشه گیاه تربچه

۴-۲-۵- طول ریشه(غده) :

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مشاهده شد که طول ریشه گیاه تربچه متأثر از سطوح مختلف کادمیم شده و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود این در حالی است که اثر روی و اثر متقابل بین کادمیم با روی غیرمعنی‌دار شد (جدول۴-۹).

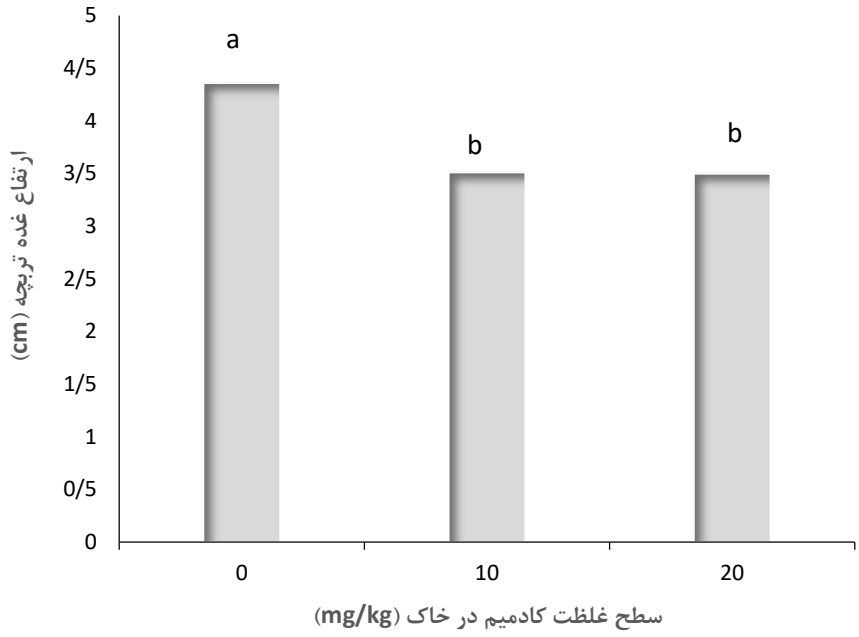
جدول۴-۹: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر طول غده گیاه تربچه

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول ریشه
غلظت کادمیم	۲	۲/۲۰**
غلظت روی	۲	۰/۹۳ ns
غلظت کادمیم *غلظت روی	۴	۰/۸۱ ns
خطا	۱۸	۰/۲۵

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی داری و معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد

۴-۲-۵-۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر طول ریشه

مقایسه میانگین‌ها نشان داد طول ریشه با افزایش سطوح کادمیم کاهش یافته و در حضور حداکثر غلظت آن (۲۰میلی گرم در کیلوگرم خاک) کمترین اندازه طول ریشه به دست آمد و حداکثر اندازه طول ریشه در خاک فاقد کادمیم حاصل شد (شکل۴-۱۳).



شکل ۴-۱۳: اثر سطوح مختلف کادمیم بر طول ریشه گیاه تربچه

میزان رشد ریشه یک گیاه به عنوان یکی از شاخص‌های مهم مقاومت گیاه نسبت به غلظت‌های مختلف یک فلز است. از آنجا که ریشه به‌طور ویژه‌ای به حضور فلزات سمی حساس می‌باشد و اولین اندامی است که در معرض سمیت قرار می‌گیرد، از طول ریشه به عنوان یکی از مهمترین معیارهای تأثیر سمیت فلزات برگیاهان استفاده می‌شود (استراوینسکین و راکایت،۲۰۱۴). نتایج این بخش از تحقیق کاهش شاخص مقاومت ریشه با افزایش غلظت کادمیم در محیط کشت را نشان می‌دهد. درحقیقت کادمیوم از تقسیم سلول‌های منطقه مریستمی و رشد سلول‌های منطقه رشد جلوگیری می‌کند. از طرف دیگر تمایز زودرس و چوبی شدن دیواره سلول‌های واقع در منطقه رشد می‌تواند از دلایل دیگر کاهش رشد ریشه باشد (مهتدی و هوشیاری، ۱۳۹۵).

۴-۲-۶- غلظت کادمیم اندام هوایی تربچه :

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف کادمیم و نیز اثر متقابل کادمیم با روی در سطح احتمال یک درصد بر میزان انباشتگی کـادمیوم در ماده خشک برگ تربچه معنی‌دار است؛ اما سطوح مختلف روی تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول۴-۱۰).

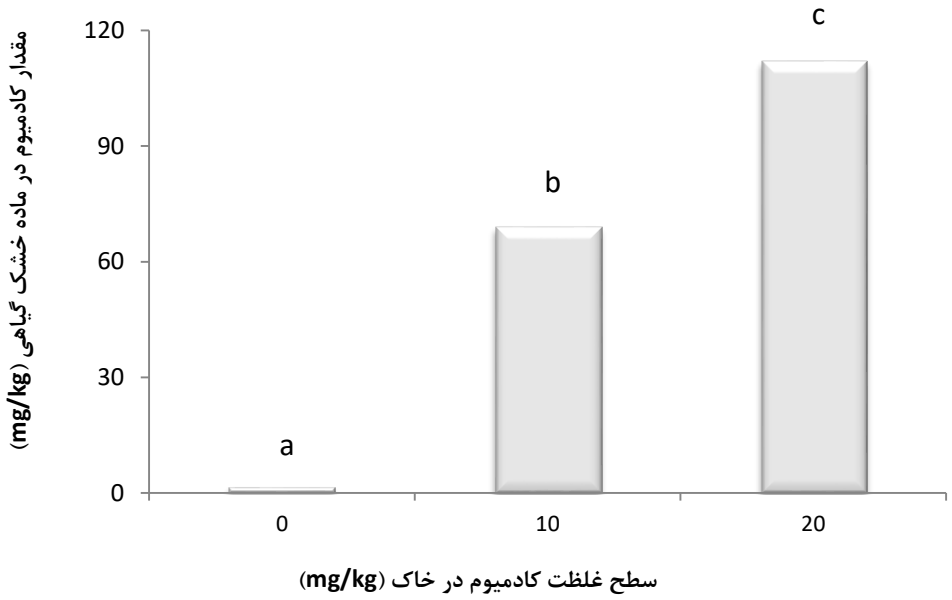
جدول۴-۱۰: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر غلظت کادمیم اندام هوایی گیاه تربچه

منابع تغییرات	درجه آزادی	غلظت کادمیم اندام هوایی
غلظت کادمیم	۲	۵۵۷۸۳/۴۹**
غلظت روی	۲	۳۰۸/۳۶ ns
غلظت کادمیم *غلظت روی	۴	۲۷۳۲/۴۷ **
خطا	۱۸	۲۸۶۳/۳۷

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی داری و معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد

۴-۲-۶-۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر غلظت کادمیم اندام هوایی تربچه :

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان انباشتگی کـادمیوم در ماده خشک گیاهی با افزایش سطوح کادمیم افزایش یافته و در حضور حداکثر غلظت آن (۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، بیشترین میزان انباشتگی کـادمیوم در ماده خشک گیاهی با میانگین ۱۱۲/۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک، به‌دست آمد و کمترین میزان انباشتگی کـادمیوم در ماده خشک گیاهی، در خاک فاقد کادمیم حاصل شد (شکل۴-۱۴).



شکل ۴-۱۴: اثر سطوح مختلف کادمیم بر میزان کادمیم اندام هوایی گیاه تربچه

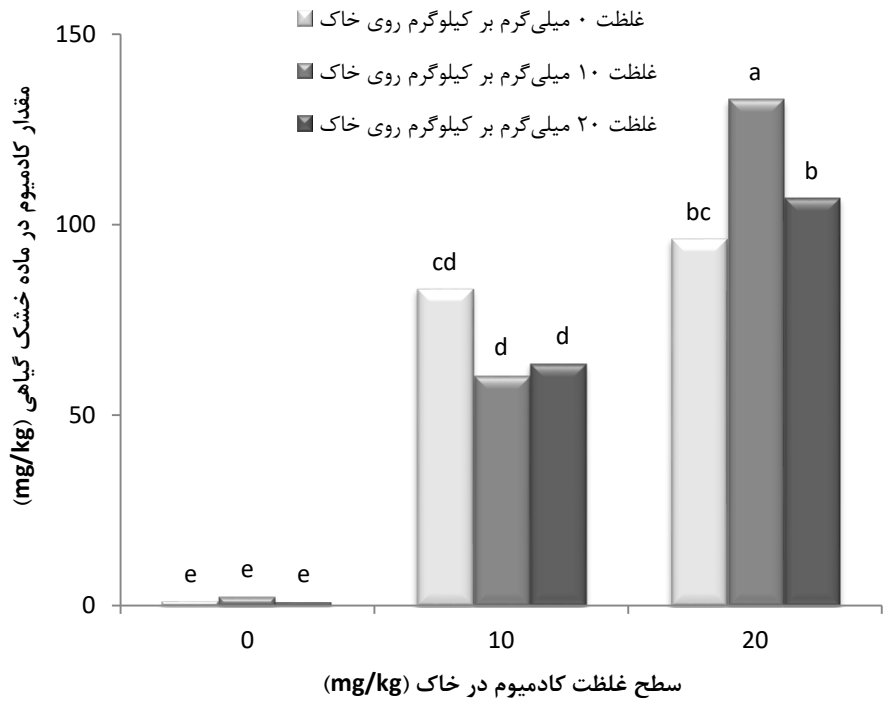
عربی و همکاران (۱۳۸۹) گزارش دادند که با افزایش کادمیم خاک غلظت کادمیم در ریشه و اندام هوایی تربچه افزایش یافته و میزان کادمیم در اندام هوایی تربچه در مقایسه با ریشه بیشتر بوده است که این موضوع به علت حلالیت زیاد فلز می‌باشد. نتایج تحقیق یارقلی و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی تأثیر غلظت کادمیم در خاک محیط ریشه بر مقدار جذب و تجمع آن در اندام‌های مختلف چهار محصول غده‌ای رایج در کشور(چغندرقند، هویج، تربچه، سیب زمینی) نشان داد که میزان تجمع کادمیم با افزایش غلظت آن در محیط ریشه نسبت مستقیم دارد. آنها همچنین دریافتند که مقدار تجمع کادمیم بسته به شرایط خاک و گونه گیاهی متفاوت است؛ ولی عمدتاً میزان تجمع در اندام‌های هوایی به ویژه برگ و ساقه بیشتر از سایر اندام‌هاست. تحقیقات نشان داده است که افزایش غلظت کادمیم در خاک باعث افزایش غلظت بافتی این عنصر در گیاهان می‌شود و در برخی از گونه‌های کلم، کاهو و توتون، تجمع سطوح کادمیم در برگ‌ها نسبت به ریشه بیشتر است (لون و همکاران، ۲۰۰۸). بخش‌های خوراکی ریشه سبزیجاتی نظیر سیب‌زمینی شیرین، هویج، تربچه، که بافت ریشه در تماس مستقیم با خاک است، سبب ورود عناصر سنگین از طریق بافت ریشه به گیاه می‌شوند. ریشه خوراکی

از نظر ذخیره مواد غذایی اهمیت دارد و عناصر سنگین با دیگر مواد غذایی فتوسنتزی به برگها منتقل می‌شوند؛ بنابراین ریشه و برگ سبزیجات تحت تأثیر کادمیم قرار می‌گیرند (چنگ و یوآن ، ۲۰۰۶).

۴-۲-۶-۲- اثرمتقابل سطوح مختلف روی و کادمیم بر غلظت کادمیم اندام هوایی تربچه :

همانگونه که در شکل ۴-۱۵ مشاهده می‌شود، در سطوح ۰ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم مقادیر مختلف روی تفاوت معنی‌داری بر غلظت کادمیوم اندام هوایی تربچه ایجاد نکرده است ولی در سطح ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم مصرفی، با کاربرد ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی غلظت کادمیوم اندام هوایی به شکل قابل توجهی افزایش می‌یابد. اگرچه در این سطح از مصرف کادمیوم افزایش۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی نیز باعث افزایش در این صفت شد اما به لحاظ آماری معنی‌دار نبود.

افزایش غلظت کادمیوم در اندام هوایی گیاه تربچه همراه با افزایش سطوح روی در خاک توسط شیروانی و فتوت (۱۳۹۰) نیز گزارش شده است.



شکل ۴-۱۵: تأثیر برهمکنش روی و کادمیم بر میزان کادمیم اندام هوایی گیاه تربچه

دلیل اینکه روی باعث افزایش جذب کادمیم توسط گیاه می‌شود این است که با افزودن روی به محلول غذایی یا محیط رشد گیاهی، روی باعث تغییر در ناقلین ویژه یون‌های فلزی در غشای پلاسمایی می‌شود. کادمیم نیز گرایش زیادی به انتقال از طریق این ناقلین داشته و با افزودن روی به محلول غذایی یا محیط رشد گیاهی، جذب کادمیم توسط سلول‌های ریشه و انتقال کادمیم به اندام‌های هوایی، بیشتر می‌گردد (یانگ و همکاران ، ۲۰۰۴). اگرچه رقابت بین روی و کادمیوم در غلظت‌های کم کادمیوم گزارش شده است، وقتی غلظت کادمیوم در محلول بالاست، افزایش روی منجر به افزایش جذب کادمیوم می‌گردد (دانبر،۲۰۰۴).

۴-۲-۷- غلظت کادمیم ریشه(غده) تربچه :

نتایج بررسی‌ها در مورد میزان انباشتگی کادمیوم در ماده خشک غده تربچه به این صورت بود که غلظت‌های مختلف کادمیم به‌طور معنی‌داری این صفت را تحت تأثیر خود قرار داده است. این درحالی است که اثر روی و نیز اثر متقابل روی و کادمیم معنی‌دار نشد (جدول۴-۱۱).

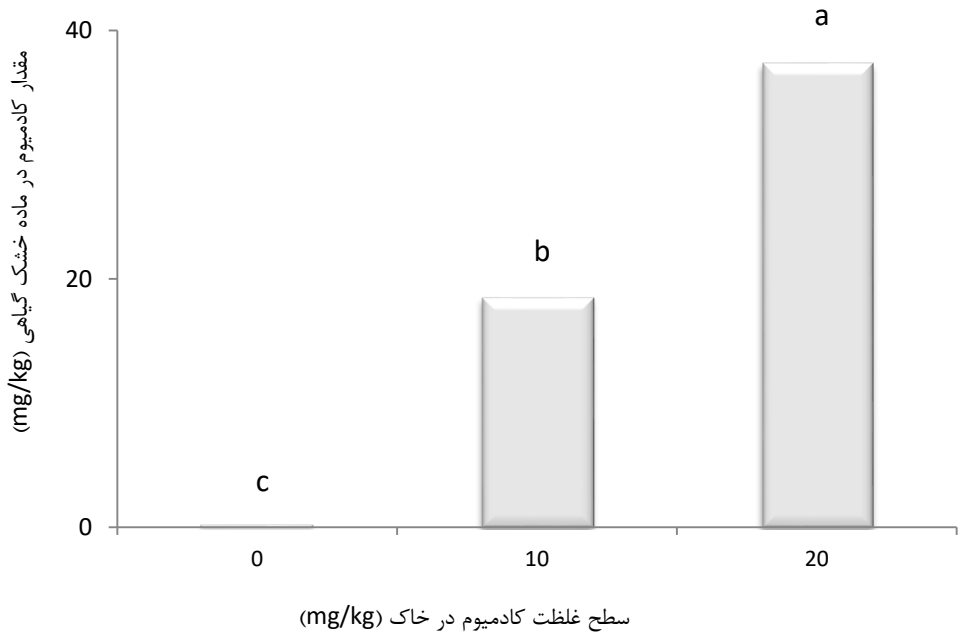
جدول۴-۱۱: نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت روی، کادمیم و اثرات متقابل بر غلظت کادمیم ریشه گیاه تربچه

منابع تغییرات	درجه آزادی	غلظت کادمیم اندام هوایی
غلظت کادمیم	۲	۶۱۵۸/۳۲**
غلظت روی	۲	۳۳/۱۴ ns
غلظت کادمیم *غلظت روی	۴	۱۴۲/۱۹ns
خطا	۱۸	۴۷۰/۱۹

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی داری و معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد

۴-۲-۷-۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر غلظت کادمیم ریشه :

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها، تفاوت معنی‌داری را بین سطوح تیماری نشان داد. با توجه به شکل ۴-۱۶، مشاهده می‌شود که بالاترین میزان کادمیم در گیاه مربوط به تیمار سطح ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک با میانگین ۳۷/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک و کمترین به تیمار صفر کادمیم با میانگین ۰/۳میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک بود.



شکل ۴-۱۶: اثر سطوح مختلف کادمیم بر میزان کادمیم ریشه گیاه تربچه

محمدی و همکاران (۱۳۸۵) جذب روی و کادمیم را در تربچه و شاهی بررسی و مشاهده کردند با افزایش سطوح کادمیم در خاک، مقدار کادمیم در غده تربچه نیز افزایش معنی‌دار نشان داد، اما این افزایش سطح، در مورد روی معنی‌دار نبود. افزایش غلظت عناصر سنگین روی و کادمیم در گیاه ترب سفید در صورت تغلیظ آنها در خاک، توسط محمدی و همکاران (۱۳۹۴) نیز گزارش شده است. عربی و همکاران (۱۳۸۹) گزارش دادند که با افزایش کادمیم خاک غلظت کادمیم در ریشه و اندام هوایی

تربچه افزایش یافت. نتایج تحقیق یارقلی و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی تأثیر غلظت کادمیم در خاک محیط ریشه بر مقدار جذب و تجمع آن در اندام‌های مختلف چهار محصول غده‌ای رایج در کشور(چغندرقند، هویج، تربچه، سیب زمینی) نشان داد که میزان تجمع کادمیم با افزایش غلظت آن در محیط ریشه نسبت مستقیم دارد.

فصل ۵

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱-نتیجه‌گیری :

در مطالعهٔ حاضر، تأثیر غلظت‌های مختلف روی بر جذب کادمیم در دو گیاه اسفناج و تربچه در شرایط گلخانه‌ای بررسی شد. براساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، در هر دو گیاه (اسفناج و تربچه) بیشترین مقدار جذب، در بالاترین سطح آلودگی خاک به کادمیم (۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک) و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (بدون کادمیم) صورت گرفت. یعنی با افزایش سطح کادمیم خاک، مقدار کادمیم جذب شده توسط هر دو گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

مقدار کادمیمی که از ریشه بـه ساقه، بـرگ و انـدام هوایی گیاه حرکت می‌کند بستگی به عواملی از قبیل گونه گیـاهی، نوع خاک و غلظت اولیه کادمیم در محلول خاک دارد (ولی‌زاده کامران و همکاران، ۱۳۹۶). در این پژوهش نیز مقایسه میانگین‌های جذب کادمیم در دو گیاه مختلف (اسفناج و تربچه) نشان داد که در تمامی تیمارهـا، مقدار کادمیوم جذب شده توسط تربچه کمتر از گیاه اسفناج بود.

از آنجا که عکس‌العمل اندام‌های گوناگون گیاه به مقادیر آلودگی با یکدیگر تفاوت دارد، در این بررسی بین تجمع کادمیم در برگ و غده تربچه مقایسه‌ای صورت گرفت. نتایج نشان داد که در بین اندام‌های مختلف تربچه، میزان تجمع این عنصر در برگ بیشتر از غده بود. چنین یافته‌ای با داده‌های پژوهـشی سایر پژوهشگران در ایران و نقاط دیگر گیتی همسویی دارد. از جمله دالوند و افتخاری (۱۳۹۳) با بررسی میزان جذب کادمیم توسط گیاه تربچه نقلی سرخان (*Raphanus sativus* L.) در خاک‌های آلوده به کادمیم دریافتند که در بین اندام‌های مختلف تربچه، بیشترین میزان تجمع کادمیم در برگ‌ها است و این نشان می دهد که کادمیم در سیستم گیاه تحرک بالایی دارد. به گزارش این محققان، در اراضی آلوده میزان تجمع کادمیم در اندام‌های تربچه بیش از حد مجاز برای مصرف خوراکی است و کشت آن در خاک‌های آلوده مستلزم مطالعه و دقت فراوان است؛ در غیر این صورت نباید در زنجیره غذایی مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج این مطالعه همچنین نشان‌دهنده وجود اثر متقابل روی و کادمیم بر میزان تجمع کادمیم در ماده خشک اسفناج و برگ تربچه معنی‌دار بود. بدین صورت که تجمع کادمیم در گیاهان فوق در

محیط فاقد کادمیم و روی اختلاف معنی‌داری با محیط دارای روی نداشت؛ اما با افزایش غلظت کادمیم، حضور روی مؤثر واقع شد؛ که البته این تأثیر در شرایط مختلف، متفاوت بود. حضور روی در محیط دارای ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم، باعث کاهش معنی‌دار تجمع کادمیم در اسفناج شد؛ در حالیکه این کاهش تجمع در برگ تربچه از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. در محیط دارای ۲۰ میلی-گرم بر کیلوگرم کادمیم، حضور روی تجمع کادمیم را در هر دو گیاه اسفناج و برگ تربچه افزایش داد؛ با این تفاوت که در گیاه اسفناج بیشترین تجمع کادمیم با مصرف ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی حاصل شد ولی در برگ تربچه حداکثر تجمع کادمیم با مصرف ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی بدست آمد.

۵-۲- پیشنهادات

- با توجه به اینکه این پژوهش در محیط گلخانه در شرایط کنترل‌شده صورت پذیرفته است و شرایط رشد گیاه در محیط گلخانه با محیط مزرعه متفاوت است، توصیه می‌شود نتایج این مطالعه در محیط مزرعه نیز مورد بررسی قرار گیرد.

- مطالعات بیشتر با غلظت‌های متفاوت روی وکادمیم جهت تعیین محدوده غلظت‌هایی که این دو عنصر اثر آنتاگونیستی یا سینرژیسمی با یکدیگر در جذب دارند در گیاهان مختلف پیشنهاد می‌گردد.

- از آنجا که عوامل متعددی از جمله pH خاک، مصرف کودهای فسفری و همچنین شوری خاک بر جذب کادمیم تأثیر دارند، پیشنهاد می‌شود که در این زمینه بررسی‌های بیشتری صورت گیرد.

منابع

احمدی زاده م،(۱۳۷۶) . سم شناسی صنعتی فلزات سنگین. چاپ اول، نشر هزاران، ص۱۴۴.

آزادی، ف.، کسرائیان، ع و کریمیان، ن. (۱۳۹۳). اثر آلودگی کادمیم خاک بر شاخص‌های رشد اسفناج و تربچه، نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، (۲۸)۳: ۵۳۰-۵۲۱.

اسدی قارنه ح، (۱۳۸۷)" مبانی پرورش اسفناج" چاپ اول ، انتشارات دانشگاه ایلام ، ص ۲۲۳.

اسماعیلی ساری ع. (۱۳۸۱) "آلاینده ها ، بهداشت و استاندارد در محیط زیست" انتشارات نقش مهر. چاپ اول. ص۷۶۹.

اعتصامی م. ، تاج‌پور ف. ، خسروی م. و بیابانی ع. ،(۱۳۹۴) ، تأثیر مخلوط کودهای آلی بر رشد و عملکرد گیاه تربچه(Raphanus sativus L.)، نشریه علوم باغبانی ، شماره۲ ،جلد۲۹ ، ص۳۰۱-۲۹۶.

آقاعباسی، ک.، بی‌باک، ح. و قطب‌زاده، س. (۱۳۹۲)، بررسی تاثیرات کادمیم بر پارامترهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهچه های کلزا (Brassica napu L.)، اولین همایش تخصصی زیست پالایی، تهران، دانشگاه شریف، مرکز همکاری‌های فناوری و نوآوری ریاست جمهوری.

برومند ن. ، دیانت‌مهارلوئی ز و سلیمانی ا. ،(۱۳۹۷)، بررسی واکنش ارقام مختلف گندم نسبت به کود سولفات روی در خاک های سبک بافت.

بغوری ا. ،(۱۳۷۰) "مروری بر نتایج حاصل از کاربرد کودهای فسفره بر کادمیم خاک و گیاه و بررسی میزان کادمیم در کودهای وارداتی " موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه۸۲۲، تهران، ایران.

بنی‌هاشمی، س. م.، لیاقت، ع. ا. و متشرع‌زاده، ب. (۱۳۹۰). بررسی تأثیر شوری محیط ریشه بر جذب کادمیم توسط آفتابگردان، پنجمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران. تهران.

بهتاش، ف.، طباطبایی، ج.، ملکوتی، م. ج. و سرورالدین، م. ح. (۱۳۹۱). تأثیر مصرف توأم کادمیم و روی بر ویژگی‌های رشد گیاه برنج و غلظت روی، کادمیم، آهن و منگنز خاک در دو شرایط رطوبتی غرقاب و غیرغرقاب. مجله تحقیقات خاک و آب ایران (۴۳)۳. ۲۰۵-۱۹۵.

بهتاش، ف.، طباطبایی، ج.، ملکوتی، م. ج.، سرورالدین، م. ح. و اوستان، ش. (۱۳۸۹). اثر کادمیم و روی بر رشد، مقدار کلروفیل، فتوسنتز و غلظت کادمیم در چغندر لبویی. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک وآب). (۲۴)۱,۴۱-۳۱.

بیضایی س. ، صفی‌پور افشار ا. و سعیدنعمت‌پور ف. ، (۱۳۹۳). تولید ترکیبات فنلی در کشت ریشه های مویین گیاه تربچه(Raphanus sativus *L.*) ، مجله پژوهش های سلولی و مولکولی.

پورتبریزی ث. ، پورسیدی ش. ، عبدالشاهی ر. و نادرنژاد ن.، (۱۳۹۷) ، تأثیر تنش فلز کادمیم بربرخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه داروئی ماریتیغال ، مجله فرایند و کارکرد گیاهی ، شماره۲۶، جلد۷

پورمقدس، ح. و ظفرزاده، ع. (۱۳۹۵). اثر استفاده کودهای شیمیایی در افزایش غلظت کادمیم،سرب و روی خاک مزارع کشاورزی اصفهان. مجله مهندسی بهداشت محیط(۲) ۱۳۸,۴-۱۲۷

ثواقبی،غلامرضا و م.ج..ملکوتی.۱۳۷۹ . بررسی اثرات روی و کادمیم بر غلظت عناصر و ترکیب شیمیائی دانه گندم. نشریه علمی پژوهشی خاک و آب . جلد ۱۲ .شماره ۹، تهران ، ایران.

ثواقبی، غ. ر.، اردلان، م و ملکوتی، م. ج. (۱۳۸۱). اثر مصرف توام کادمیم و روی در خاک آهکی بر پاسخ های گیاه گندم، مجله علوم کشاورزی ایران، (۳۳)۲: ۳۴۱-۳۳۱.

جعفری ر. ،(۱۳۸۲) پایان نامه کارشناسی ارشد: "تأثیر برهمکنش کادمیم و اسیدسالیسیلیک‌اسید بر رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه لوبیا" ،دانشگاه تربیت معلم تهران.

حسنی ب. ، عابدینی م. ، همتی آ. و فلاحی س. ، (۱۳۹۷) ، گیاه تربچه و خواص دارویی آن ، سومین همایش ملی گیاهان دارویی و کشاورزی پایدار .

حسینی، س. ع.، یوسفی راد، م.، ارادتمند اصلی، د. و احتشامی، م. ر. (۱۳۹۰). توانایی جذب و توزیع عنصر کادمیم در اندام‌های گیاه ارزن با حضور باکتری محرک رشد، اولین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، ساوه.

حمزه نژاد ر. ، سپهر ا. ،صمدی ع. ، رسولی صدقیانی م. و خداوردیلو ح. (۱۳۹۷)، بررسی تأثیر نانوذرات آهن صفرظرفیتی (nZVI) بر تحرک و شکل‌های شیمیایی عناصر کادمیم و سرب در خاک، مجله تحقیقات آب و خاک ایران ، شماره۳ ، دوره۴۹ ، ص۵۵۹-۵۴۰.

خانی م. ر. ملکوتی م. و شریعت س، (۱۳۷۹) "بررسی رابطه بین تغییرات فسفر با کادمیم در خاک-های شالیزاری شمال کشور" مجله علوم خاک و آب ، موسسه تحقیقات خاک و آب ، ویژه نامه کشاورزی پایدار. شماره۹ ،ص۱۸-۱۲.

خدیوی ا. نوربخش ف. افیونی م. و شریعتمداری ح.(۱۳۸۶)"شکل های مختلف سرب ،نیکل وکادمیم در یک خاک آهکی تیمارشده با لجن فاضلاب"مجله علوم و فنون کشاورزی, شماره۱۱،دوره ،ص ۵۴-۴۱.

خسروی دهکردی، ا. و افیونی، م. وسفیانیان، ع. (۱۳۹۶). مدل سازی آلودگی خاک سطحی شهر اصفهان به کادمیم و سرب به روش کریجینگ ناپیوسته. نخستین همایش بین المللی سامانه اطلاعات جغرافیایی جاده ابریشم.

دالوند، ک. و افتخاری، ع. (۱۳۹۳). بررسی میزان جذب کادمیم توسط گیاه تربچه نقلی سرخان (Raphanus sativus L.) در خاک‌های آلوده به کادمیم. مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی). ۱(۳۷). ۷۵-۶۷.

رجائی م. (۱۳۸۵) رساله دکتری :" تأثیر زمان، سطوح و منابع کادمیم و نیکل بر شکل‌های شیمیایی،و رشد و جذب این دو عنصر توسط اسفناج" دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

رحیمی، ط. و رونقی، ع. (۱۳۹۱). اثر کاربرد منابع مختلف روی بر غلظت کادمیم و برخی عناصر کم-مصرف در گیاه اسفناج در یک خاک آهکی. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. (۳)۱۰. ۱۱۱-۱۰۱.

رحیمی، ق. امرایی، ل. کیمیایی طلب، ع.(۱۳۹۴).اثر آبیاری با پساب صنعتی بر روند تغییرات برخی فلزات سنگین در خاک و گیاه تربچهRaphanus Sativus.مجله علوم و فنون کشت های گلخانه ای. (۶) ۲۰,۲۴ -۱۱.

روحانی، س. خ.، سماوات، س. و معز، ا. (۱۳۹۱). ارزیابی اثر بخشی زئولیت بر جذب کادمیم بر وزن ماده خشک در گیاه کاهو، مجله زراعت و اصلاح نباتات، (۸)۲: ۶۹-۶۱.

زارع, اسماعیل؛ احمد گلچین؛ الهیار خادم و سعید شفیعی، ۱۳۸۶، تأثیر روی بر جذب کادمیم و شاخصهای رشد ذرت، دهمین *کنگره علوم خاک ایران*، کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

زیدی طولابی، ن.، دیرکوندی، س.، موسوی راد، ه. و رحیمی چگنی، ر. (۱۳۹۵)، بررسی اثر سطوح مختلف سولفات روی بر خصوصیات کمی و کیفی گونه های ماشک علوفه ای در کشت دیم، نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی)، ۱۱: ۳۸-۲۹.

شعبانخانی ب. و آزادبخت م. ، (۱۳۷۸) ، اندازه گیری میزان سرب و کادمیم در دو سبزی اسفناج و تربچه شهرستان ساری ، مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران ، شماره ۳۰ ، ص ۲۷.

شیروانی س. و فتوت ا. (۱۳۹۰) "اثرات کاربرد عنصر روی درکاهش غلظت کادمیم در گیاه تربچه"، اولین همایش ملی گیاه پالایی، کرمان، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی.

صیاد، غ.م. (۱۳۸۷). مدل‌سازی روند انباشت کادمیم در خاک و بذر شالیزارهای استان خوزستان، از مجموعه طرح‌های پژوهشی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور، شماره طرح (۸۶۰۹۵/۴۳).

عادلی، ط.، سیادت، ع.، جعفری، س. و کوچک‌زاده، ا. (۱۳۹۶). اثر روی و کادمیم بر جذب آهن و مس و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و رشدی در شبدر برسیم، مجله به‌زراعی کشاورزی، (۱۹)۱: ۲۴۱-۲۲۹.

عابدی کوپایی ج. ،متین ن. و جواهری طهرانی م. ،(۱۳۹۴) "علوم و فنون کشت‌های گلخانه ای"، شماره۲۱، ص۵۲-۴۱.

عبدوسی، س. (۱۳۹۷). اثرات کادمیوم و ورمی کمپوست بر برخی پارامترهای رشدی گیاه اسفناج (L. Spinacea oleracea)، تغذیه گیاهان باغی، (۲)۳۶:۱-۲۵.

عرفانی، م. حسندخت، م. برزگر، م. و جباری، ع.، (۱۳۸۵). "تعیین و مقایسه برخی از مواد مغذی هفت رقم اسفناج ایران" فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، دوره۳، شماره ۲.

علی‌پوردرواری ح. ، زارع‌مایوان ح. و شریفی م.، ۱۳۸۸ ، بررسی میزان فعالیت پراکسیدازی تربچه خوراکی و ارتباط آن با میزان فلزات سنگین خاک ، مجله علوم دانشگاه تهران ، شماره۱ ، دوره۳۵: ص-۳۷-۴۳.

عموئی، ع.، محوی، ا. و ندافی، ک. (۱۳۹۰). تأثیر مواد افزودنی شیمیایی خاک بر میزان جذب و تجمع سرب و کادمیم در گیاهان بومی شمال ایران، مجله دانشگاه علوم پزشکی. (۸۶)۲۱. ۱۲۴- ۱۱۶.

فرزانگان، ز. وثواقبی، غ .و میرسیدحسینی، ح. (۱۳۹۰). بررسی تأثیر اصلاحی گوگرد و اسیدسیتریک در گیاه جذبی کادمیم و سرب از یک خاک آلوده . نشریه آب و خاک. (۴)۲۵. ۷۴۵-۷۳۶.

قادریان، م. و جمالی حاجیانی، ن. (۱۳۸۹) بررسی مقاومت، جذب و انباشتگی کادمیوم در گیاه Matthiola chenopodiifolia Fisch & C. A. Mey (Brassicaceae). زیست‌شناسی گیاهی، (۶)۲. ۸۷-۹۸.

قاسمی، ز.، شهابی، ع. ا. (۱۳۸۹). تأثیر کادمیم بر شاخص‌های فیزیولوژیکی، صفات رویشی و غلظت عناصر غذایی در گیاه گوجه فرنگی در کشت بدون خاک، مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. (۲)۱: ۶۵- ۵۵.

کافی م. و مهدوی دامغانی ع، (۱۳۸۱) "مکانیسم های مقاومت گیاهان به تنش های محیطی " انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۴۶۷.

کریمیان فریمان ز. ، موسوی بزاز آ. و بنایان اول م. (۱۳۹۱)، مدل سازی سطح برگ گیاه داروئی بادرشبی(Dracocephalum moldavica L.) با استفاده از روش‌های تخریبی و غیرتخریبی ، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان داروئی و معطر ایران ، جلد۲۸ ، شماره ۱ ، ص۱۷۶-۱۸۶.

کیانی هرچگانی، آ و افتخاری، ع. (۱۳۹۶). ارزیابی میزان غلظت کادمیم و رشد در سه توده اسفناج (Spinacia oleracea L.) بومی ایران در خاک های آلوده به کادمیم. مهندسی زراعی(مجله علمی کشاورزی)، (۴۰)۱: ۱۴-۱.

لکزیان، ا.، حلاج‌نیا، ا.، حق‌نیا، غ. ح. و رمضانیان، ع. (۱۳۸۸). تأثیر عناصر مس و روی در قابلیت جذب کادمیوم در ذرت و آفتابگردان، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، (۲۷)۳:۷۳-۷۱.

محمدی، م.، خرم‌دل، ز.، واقف، ا.، غفاری مقدم، م.، برخوردار، ا. و اکبری مقدم، ع.ا. (۱۳۹۴). بررسی اثر سطوح مختلف عناصر روی و کادمیم بر عملکرد گیاه ترب سفید در یک خاک آهکی. مجله زراعت و اصلاح نباتات. (۱۱)۱: ۲۱-۸.

مظفری، ا.، حبیبی، د.، ملکی، ع. و بابایی، ف. (۱۳۹۱). ارزیابی توان چند گونه زراعی در کاهش آلودگی خاک به فلز سنگین کادمیم، مجله زراعت و اصلاح نباتات، (۸)۳: ۱۴- ۱.

منصوری ط. ، گلچین ا. ، فریدونی ج. و وفایی م. ، (۱۳۹۵) ، تشدید استخراج روی از خاک توسط تربچه با استفاده از EDTA و اسیدسولفوریک ، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک ،شماره۱ ،دوره۲۳: ص۲۲-۱.

مهتدی، ا. و هوشیاری، س. (۱۳۹۵). بررسی برهم کنش کادمیوم و روی در گیاه Matthiola flavida .Boiss، مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)، (۲۹)۱: ۲۲۰-۲۱۰.

ناظمی، س. و خسروی، ا. (۱۳۹۰). بررسی وضعیت فلزات سنگین در خاک، آب و گیاه اراضی سبزی-کاری. فصلنامه تندرستی و دانش. (۴)۵: ۳۱-۲۸.

ناظمی، س.، عسگری، ع. و راعی، م. (۱۳۸۹). بررسی مقدار فلزات سنگین در سبزیجات پرورشی حومه شهر شاهرود، مجله سلامت و محیط، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، (۳)۲:۲۰۲- ۱۹۵.

نورانی آزاد، ح. و کفیل‌زاده، ف. (۱۳۹۰). تاثیر سمیت کادمیم بر رشد، قندهای محلول، رنگیزه های فتوسنتزی و برخی آنزیم‌ها در گلرنگ (.Carthamus tinctorius L)، مجله زیست شناسی ایران، (۲۴)۶: ۸۶۷-۸۵۸.

واثقی س. ، افیونی م. شریعتمداری ح. و مبلی م. (۱۳۸۲) "اثر لجن فاضلاب و PH خاک بر قابلیت جذب عناصر کم مصرف و فلزات سنگین" مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره۷، دوره۳، ص ۱۰۵-۹۵.

هودجی، م. و افیونی، م. (۱۳۸۸) . اثر مصرف لجن فاضلاب و کلرید کادمیم بر انتقال این عنصر در خاک و جذب آن به وسیله گیاه، علوم و تکنولوژی محیط زیست. (۱۱)۲: ۵۷- ۴۷.

ولی‌زاده فرد، ف.، ریحانی تبار، ع.، اوستان، ش. و نجفی، ن ا.، (۱۳۹۰). تأثیر روی و کادمیم مصرفی بر گیاه برنج بر شکل قابل جذب برخی از عناصر کم مصرف در یک خاک شن لومی در شرایط غرقاب و غیر غرقاب، اولین کنگره ملی علوم و فناوری‌های نوین کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان.

ولی‌زاده کامران، ر.، وجودی مهربانی، ر. و حسن‌پور اقدم، م.ب. (۱۳۹۶). بررسی اثر سرب و کادمیم بر رشد و فعالیت برخی آنزیمهای اسفناج در شرایط کشت درون شیشه‌ای. مهندسی ژنتیک و ایمنی زیستی. (۶)۲. ۲۶۸-۲۵۷.

همایی، م. و ملکوتی، م. ج. (۱۳۸۳). حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک و نیمه‌خشک "مشکلات و راه حل‌ها"، تهران:دانشگاه تربیت مدرس، ۵۱۸ صفحه.

هودجی، م. و افیونی، م. (۱۳۸۸). اثر مصرف لجن فاضلاب و کلرید کادمیم بر انتقال این عنصر در خاک و جذب آن به وسیله گیاه، علوم و تکنولوژی محیط زیست. (۱۱)۲: ۵۷- ۴۷.

یارقلی، ب. (۱۳۹۴). بررسی مقدار جذب و تجمع کادمیم در اندام‌های مختلف چهار گیاه زراعی (گندم، اسفناج، خیار و هویج)، مجلهآب و فاضلاب. ۶: ۱۱۴-۱۰۷.

یارقلی، ب.، عظیمی، ع.ا.، باغوند، االف.، عباسی، ف.، لیاقت، ع.ا. و اسداله فردی، غ. (۱۳۸۸). بررسی جذب و تجمع کادمیم در اندام‌های مختلف محصولات غده‌ای در خاک‌های آلوده. مجله آب و فاضلاب. ۲۰(۷۲). ۷۰-۶۰.

Adriano D. C. (1986) “Trace elements in the terrestrial environment” Springer , Verlage, New York.

Alexander R. (1990) “Explanding compost market” Biocycle., 31, 8, pp 54-63.

Alloway B.J, 2008. Zn in Soils and Crop Nutrition. 2nd ed. Published by IZA and IFA, France.

Alloway BJ., (1995), ‘‘Heavy Metals in Soils’’, 2nd ed. Glasgow: Blackie Academic and
An Y.J. 2004. Soil ecotoxicity assessment using cadmium sensitive plants. Environmental Pollution, 127: 21-26.

Andersen M. Refsgaraard K. A. Raulund-Rasmussen K. W. Strobe B. and Hansen C. B. H. (2002). “Cotene, distribution and solubility of cadmium in arable and forest soils” Soil Sci. Am. J., 66, pp 1829-1835.

Andresen, E., Küpper H.(2013). Cadmium toxicity in plants. Met Ions Life Sci.11:395-413.

Anderson P.R. and Christensen T.H. 1988. Distribution coefficients of Cd, Co, Ni, and Zn in soils. J. Soi. Sci, 39:15-22.

Anderson, S., Schoenau, J. and Vandenberg, A. (2018). Effects of zinc fertilizer amendments on yield and grain zinc concentration under controlleenvironment conditions. Journal of Plant Nutrition. 41(14):1842-1850.

Baker A. J. M. and Proctor j. (1990) “The influence of cadmium, copper, lead and zinc on the distribution and evolution of metallophytes in the british Isles” Plant sys. Evol., 173, pp 91-108.

Bingham F. T. Spsito J.and Strong J. E. (1984) “The effect of chloride on the availability of Cadmium” J. Environ. Qual.,13, pp71-74.

Bernhoft, R. A. (2013). Cadmium Toxicity and Treatment: Article Literature Review. The Scientific World Journal, (7):394652.

Bolan, N. S., D. C. Adriano, P. Duraisamy, A. Mani and K. Arulmozhiselvan. (2003). Immobilization and phytoavailability of cadmium in variable charge soils. I. Effect of phosphate addition. Plant Soil 250: 83-94.

Calace N., Deriu D., Petronio, B. M., and Pietroletti, P. M. (2009). Adsorption isotherms and breakthrough curves to study how humic acids influence heavy metal–

soil interactions. Water Air Soil Pollut, 204, 373-383

Chaab, A. and Savaghebi, Gh. (2010). Effect of zinc application on cadmium uptake of maize growth. Agricultural Segment, 1(1), AGS/1515.

Chang A. C. Page A. L. Warneke G. E. and Jhnson G. B. (1982) "Effect of Sludge application on the Cd , Pb , Zn Levels of Selected Vegetable Plants" Hilgardi., 50, pp 1-14.

Chaney R. L. and Rayan J. A. (1994) "Risk based standards for arsenic, lead and cadmium in urban soils" DECHEMA, Frankfurt, Germany.

Chaoui A., Ferjani E. 2005: Effects of cadmium and copper on antioxidant capacities, lignification and and auxin degradiation in leaves of Pea (Pisium sativum L.) seedlings. Comptes Rendus Biologies 328, 23-31.

Cheng, S.F and Yuan Huang, Ch. (2006). Influence of cadmium on growth of root vegetable and accumulation of cadmium in the edible root. Applied Science and Engineering, 4(3): 243- 252.

Cherif, J., Mediouni, C., Ben Ammar,W., Jemal, F. (2011) Interactions of zinc and cadmium toxicity in their effects on growth and in antioxidative systems in tomato plants (Solanum lycopersicum). J Environ Sci 23: 837–844.

Cowan, C. E., Zachara, J. M., and Resch, C. T. (1991). Cadmium adsorption on iron oxides in the presence of alkaline earth elements. Environ. Sci. Technol., 25, 437-446

Davis, A. P. and Bhatnagar, V. (1995). Adsorption of cadmium and humic acid onto hematite. Chemosphere, 30(2), 243-256.

Davis R. D. (1984) "Cadmium in sludge used as fertilizer" Environ. Protect. Direct., 40, pp 171-126.

Das P. Rout R. and Samantaray S. (2000) "Studies on cadmium toxicity in plants" A review. Environ. Pollute.,98,pp 29-36.

Deheri G. S. Brar M. S. and Mallhi S. (2007) "Influence of phosphorus application on growth uptake of spinach in cadmium-contaminated soils" J. Plant Nutr. Soil Sci., 70, pp 495-499.

Dunber, K.R. (2004). Uptake and partitioning of cadmium in two cultivars of potato (Solanum tuberosum L.). PHD thesis School of Earth and Environmental Sciences. The University of Adelaide

El Nabarawy, K.A. (2002). Effect of cadmium (Cd) accumulation on spinach plant. Journal of Plant Physiology, 17: 21–34.

Ernest, W. H. O. 1996. Bioavailability of heavy metals and decontamination of soils by plants. Applied Geochem. 11: 163-167.

Hall J. L. (2002) “Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance” J. of Exp. Bot., 53, pp 1-11.

Hart, J.J., Welch, R.M., Norvell, W.A. and Kochian, L.V. (2002). Transport interactions between Cd and Zn in roots of bread and durum wheat seedlings. Physiol. Plant. 45:91-97.

Hassan, M. J., Z. Zhu, B. Ahmad and Q. Mahmood. (2006). Influence of cadmium toxicity on rice genotypes as affected by zinc, sulfur and nitrogen fertilizers. Caspin J. Env. Sci. 4(1): 1-8.

Helal H. M. Abdel Mone M. and Azam F.,(1995) Heavy metal uptake by L. italicum as affected by salt water irrigation , In : R. Prost (Ed) Third International Confererence on the Biogeochemistry of Trace Elements. Proceeding. Paris, France.

Jahanbakhshi S.h, Rezaei M.R, Sayyari-Zaman M.H. (2015). Comparison effect of phytoremediation in cadmium and chromium contaminated soil in Spinacia oleracea and Lepidium sativum. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Journal of Water and Soil Science 18(70): 1-11.

Jaakola L. Maatta K. Pirttila A. M. Torronen R. Karenlampi S. and Hohola A. (2002) “Expression of genes involved in anthocyanin biosynthesis in relation to anthocyanin, proanthocyanidin, and flavonol levels during bilberry fruit development” Plant Physiology., 130, 2, pp 729-739.

Ji P., Sun T., Song Y., Ackland M., and LiuY. 2011. Strategies for enhancing the phytoremediation of cadmiumcontaminated agricultural soils by Solanumnigrum L. Environmental Pollution159: 762-768.

Jiang L. Y. Yong X. E. and He Z. L. (2004) “Growth response and phytoextraction of copper at different levels in soils by Elsholtzia splendens” j. Chemosphere, 55, pp 1179-1187.

Johnson, B. B. (1990). Effect of pH, temperature, andconcentration of the adsorption of cadmium ongoethite. Environ. Sci. Technol., 24, 112-118.

Kabata-pendias A. Pendias A. and Pendias F. (1992) “Trace elements in soils and plants” 2 nd Ed., CRC press, Inc., Boca Rotan, Florida.

Kadirvelu, K., Thamaraiselvi, K., and Namasivayam, C. (2001). Removal of heavy metals from industrial wastewaters by adsorption onto activated carbon prepared from an agricultural solid waste. Bioresource Technology, 76, 63-65.

Kal G. and Bergh B. O. (1993) “ Gentic Improvement of Vegetable Grop” Peramion Press., pp 833.

Kawazu okimura Y. M. Ishii T. and Vui S. (2003) “Varietals and seenal difference in

oxalate content of spinach" Scientia Horticulturae.,97,pp 203-210.

Koleli N. S. Eker and Cakmak I. (2004) "Effect of Zinc fertilization on Cadmium toxicity in durum and bread wheat in zinc deficient soil" Environ. Pollut., 131, pp 453-459.

Krpata D., Fitz, W., Peintner, U., Langer, I. and Schweiger, P. (2009) Bioconcentration of zinc and cadmium in ectomycorrhizal fungi and associated aspen trees as affected by level of pollution. Environmental Pollution 157: 280-286.

Lagriffoul, A., Mocquot, B., Mench, M. and Vangronsveld, J. (1998) Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll content, and activities of stressing related enzymes in young maize plants (Zea mays L.). Plant and Soil 200: 241-250.

Lin J. and Schorr M. (1977) "A challenger for the phosphate industry: Cd removal , phosphorous and potassium" Environ. Pollu, 208, pp 27-31.

Lone, M.I., Li, H., Zhen, P.J., Stoffella, E. and Yang, X. (2008). Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: Progresses and perspectives. Journal of Zhejiang University Science Bulletin . 9: 210 -220.

Lopez, E., Soto, B., Arias, M., Nunez, A., Rubinos, D., and Barral, M. T. (1998). Adsorbent properties of red mud and its use for wastewater treatment. 32,1314-1322.

Marschner, H. 1995.Mineral Nutrition of Higher Plants.2nd ed., Academic Press.Harcourt Brace Company, Pub. Co., New York.889 p.

Mauskar J.M. 2007. Cadmium –An Environment Toxicant, Central Pollution Control Board, Ministry of Environment & Forests, Govt of India, Parivesh Bhawan, East Arjun Nagar,Delhi-110032.

Mclean J. E. and Bledsoe, B. E. (1992) "Behaviour of metals in soils" EPA Ground water Issue. EPA 540-S-92-018:25 pp.

Mobin M. and Khan N. A. (2007) "photosynthetic activity pigment composition and antioxidative response of two mustard cultivars differing in photosynthetic capacity subjected to cadmium stress" J. Plant Physiol., 164, pp 601-610.

Mohamed, A. A., Ismail, A. Z., and Emad, E. Sh. A. (2011). Accumulation of heavy metal in crop plants from Gaza Strip, Palestine and study of the physiological parameters of spinach plants. Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences, 10:21-27.

Moustakas N.K., Akoumianaki - Ioannidou, A. and Barouchas, P.E. (2011). The effects of cadmium and zinc interactions on the concentration of cadmium and zinc in pot marigold (Calendula officinalis L.). Australian Journal of Crop Science . 5(3): 277 -282.

Murphy, E. M. and Zachara, J. M. (1995). The role of sorbed humic substances on the distribution of organic and inorganic contaminants in groundwater. Geoderma, 67, 103-124.

Nagajyoti P. C., Lee K. D. and sreekanth T. V. M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. Environmental Chemistry Letters. 8: 199-216.

Niebore E. and Richardson D. H. S. (1980) “The replacement of the non-descript term heavy metals by a biologically and chemically signification classification of metal ions” Environ. Pollu(Series B)., 1, pp 3-26.

Norvell W. A. J. Wu D. G. Hopkins and R. M. Welch . (2000) “Association of cadmium in durum wheat grain with soil chloride and chelate-extractable soil cadmium” Soil Sci. Soc. Am. J., 64, pp 2162-2168.

Nriogo P. O. (1979) “Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere” Nature.,279, pp 409-411.

Phetsombat S, Kruatrachue M, Pokethitiyook P, Upatham S. 2006. Toxicity and bio-accumulation of cadmium and lead in Salvinia cucullata. Journal of Environmental Biology 27 (4):645-652.

Pilon-Smits E.A.H. (2005). Phytoremediation. Annual Review of Plant Biology, vol. 56, pp. 15–39.

Posmyk M. M. Komtek R. and Janas, K. M. (2007) “Effect of anthocyanin-rich red cabbage extract on cytological injury induced by copper stress in plant and animal tissues” Environmental Protection of Natural Soures., pp 50-56.

Prasad M. and Strzalka E. (1999) “Impact of heavy metals on photosynthesis” jornal Exp. Bot., 41, pp 314-320.

Rabatky V. E. and Yamaguchi M. (1997) “World Vegetables, Producion and Nutritive Value” Chopman and Hair., pp 843.

Rezakhani, L. Golchin, A. and Samavat, S. (2013). Effect of different rates of Cd on growth and chemical composition of spinach. International Research Journal of Applied and Basic Sciences,Vol, 7 (14): 1136-1140.

Romheld, V. and H.Marschner.1991.Function of micronutrients in plants p.297-328. In J.J. Mortvdet et.al.(ed.) .Micronutrients in Agricultural.Soil Sci. Amer. Inc., Madison. WI.

Salunkhe D. K. Bilon H. R. and Recdy N. R. (1991) “Sterage Processing and Nutitional Quality of and Vegetables” Vol 1 CRC Press, Boea Rator., pp 283.

Schnoor J.L. 1997. Phytoremediation. Technology Overview Report, Ground-Water Remediation Technologies. Analysis Center, Series E.

Senesi, N., Sposito, G., Holtzclaw, K. M., and Bradford, G. R. (1989). Chemical properties of metal: Humic acid fractions of a sewage sludge: Amended aridisol. Journal of Environmental Quality, 18, 186-194.

Shah, F. R., N. Ahmad, K. R. Masood and D. M. Zahid. (2008). The influence of cadmium and chromium on the biomass production of shisham (Dalbergia sissoo ROXB.) seedlings. Pak. J. Bot. 40(4): 1341-1348.

Shanker, A. K., C. Cervantes, H. Loza-Tavera and S. Avudainayagam. (2005). Chromium toxicity in plants. Environ. Int. 31: 63-68.

Sharma. H., Rawal, N. and Mathew, B. B. (2015). The characteristics, toxicity and effects of cadmium. International Journal of Nanotechnology and Nanoscience, 3: 1-9.

Simon T., Eberhard A. 2000: Effect of Ni and As on Radish tuber cultivated on artificially polluted soils. Eur. J. Soil Biol. **36**, 73-80.

Singh, R.P. and Agrawal, M. 2007. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of Beta vulgaris plants. J. Chemosphere, 67: 2229-2240.

Smith, S.R. 1994. Effect of soil pH on availability to crops of metals in sewage sludge-created soils. I. Nickel, copper and zinc uptake and toxicity to ryegrass. Environ. Pollut. 85: 321-327.

Stover R. C. Sommers L. E. and Silviera D. J. (1976) "Evaluation of metal in wast water sludge" Water Pollut., 48, pp 2165-2175.

Stravinskienė, V. and Račaitė, M. (2014). Impact of Cadmium and Zinc on the Growth of White Clover (Trifolium repens L.) Shoots and Roots. Pol. J. Environ. Stud. 23(4):1355-1359.

Talatam, S. and B. Parida. 2009. Crop growth as influenced by zinc and organic matter in cadmium-rich polluted soils. Avaliable at: http:\\scholarship.org/uc/item 127783q.04.13. 2009.

Tan, K. H. (2003). Humic matter in soil and the environment principles and controversies, Marcel Dekker, New York, NY, USA.

Tipping, E. and Hurley, M. A. (1992). A unifying model of cation binding by humic substances. Geochimica et Cosmochimica Acta, 56(10),3627-3641.

Tkalec, M., Štefanić, P. P., Cvjetko, P., Šikić, S., Pavlica, M. and Balen, B.(2014). The Effects of Cadmium-Zinc Interactions on Biochemical Responses in Tobacco Seedlings and Adult Plants. PLoS One. 9(1): e87582.

Valizadehfard, F., Reyhanitabar A., Najafi, N. and Oustan S. (2012). Interactive Effects of Cadmium and Zinc Application on Their Uptake by Rice Under Waterlogged and Non waterlogged Conditions. Journal of Plant Physiology and Breeding.2(2): 1-12.

Van Assche F. V. and Clijsters H. (1990) "Effects of metals on enzyme activity in plants" Plant Cell Environment., 13, pp 195-206.

Wagner G. J. (1993) "Accumilation of cadmium in crop plants and consequence to

human health" Adv. Agron., 51, pp 173-212.

Wiszniewska, A., Hanus-Fajerska E, Muszyńska, E. and Smoleń, S. (2017). Comparative Assessment of Response to Cadmium in Heavy Metal-Tolerant Shrubs Cultured In Vitro, Water Air Soil Pollut, 228(8): 304.

Wu F.B., Zhang, G.P. (2002). Alleviation of cadmium-toxicity by application of zinc and ascorbic acid in barley. Journal of Plant Nutrition. 25: 2745-2761.

Yadegari, M., Karimi, S. and Irani Pour, R. (2013). The effect of heavy metals (Cd and Ni) on growth, yield and other characters of Portulaca oleracea L. Journal of Applied Science and Agriculture . 8(7): 1438 -1445.

Yong X. Baligar V. C. Martens D. C. and Clark R. B. (1996) "Plant tolerance ti Ni toxicity. I. Influx , transport and accumulation of Ni in four species" j. Plant Nutr., 19, pp 73-85.

Yang, X.E., H.B. Ye, X.X. Long, B.He, Z.L.He, P.J. Stoffella, and D.V.Calvert.2004.Uptake and accumulation of cadmium and zinc by Sedum alfredii Hance at different Cd/Zn supply levels. J. of Plant Nutr.27:1963-1977.

Zhang, H., Chen, J., Zhu, L., Yang, G. and Li. D. (2014). Transfer of Cadmium from Soil to Vegetable in the Pearl River Delta area, South China. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108572.

Zhang, H., Guo, Q., Yang, J. and Ma, J. (2014). Cadmium accumulation and tolerance of two castor cultivars in relation to antioxidant systems. Journal of Environmental Sciences 26(10): 2048 -2055.

Zhao Z.Q, Zhu Y.G., Kneer R and Smith SE, (2005). Effect of Zn on Cd toxicity induced oxidative stressing winter wheat seedlings. J Plant Nutr 28: 1947-1959.

Zu, Y.Q., L. Yuan, C. Schvartz, L. Langlade and L. Fan. 2004. Accumulation of Pb, Cd, Cu and Zn in plants and hyperaccumulator choice in Lanping lead-zinc mine area, China. Environ. Int. 30: 567-576.

Abstract

Concerning the cadmium toxicity at low concentrations and the behavioral similarity between zinc and cadmium ions, in order to investigate the effect of cadmium and zinc on plant growth and cadmium accumulation in spinach and radish, a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications was done in the greenhouse of Shahrood University of Technology in 2018. Cadmium and zinc, both from their sulfate sources, were applied in three concentrations (0, 10 and 20 mg/kg soil) as the experimental treatments. The results showed that in spinach, plant height, leaf area, fresh and dry weight and Cd concentration in areal part were significantly influenced by the different soil Cd concentrations. Moreover, in terms of radish, soil Cd concentration significantly affected the root length, leaf area, fresh and dry root weight and Cd concentration in root and areal part; whereas, shoot height and shoot fresh and dry weight of radish were not impacted by cadmium. The increasing effect of zinc on plant height, leaf area, fresh and dry weight of aerial parts of spinach were significant, but in radish, zinc application had no significant effect on the studied traits. In addition, the reciprocal effects of cadmium and zinc application on plant height, fresh and dry weight and shoot cadmium concentration in spinach was significant; whereas in radish, only root cadmium concentration was significantly influenced by these reciprocal effects. In both plants (spinach and radish), the highest Cd uptake was observed at the highest level of soil contamination with Cd (20 mg Cd/kg soil) and the lowest amount was in control treatment (without Cd), i.e., with the increase of soil cadmium level, the amount of cadmium absorbed in shoots of both plants increased significantly. In this case, higher zinc levels increased the uptake and concentration of cadmium in areal parts of both plants, but the effects of cadmium toxicity on growth characteristics were less observed. Increased soil Zn concentrations had no considerable influence on root Cd content in radish plant.

Keywords: Spinach, Radish, Zinc, Cadmium

Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture

M.Sc. Thesis in Soil Chemistry and Fertility

The Study of Zinc Sulfate Application on Cadmium Uptake in Spinach and Radish

By: Nahid Samiei

Supervisor:

Dr. H.Ghorbani

Advisors:

Dr. H. Mirzaei Moghadam

Dr. Y. Safari

January 2020