بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

گروه آب و خاک

تاثیر آب آبیاری آلوده به کروم بر خصوصیات رشدی گیاه فلفل و تربچه با کاربرد کودهای فسفره و آلی

قاسم صیدالی

اساتید راهنما

دکتر علی عباسپور

دکتر حمید رضا اصغری

استاد مشاور

دکتر احمد اخیانی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۴

پیوست شماره ۲

دانشگاه شاهرود

دانشکده : کشاورزی

گروه : آب و خاک

پایان نامه کارشناسی ارشد **آقای قاسم صیدالی** به شماره دانشجویی: **۹۲۰۹۲۰۴**

تحت عنوان: تاثیرآب آبیاری آلوده به کروم بر خصوصیات رشدی گیاه فلفل و تربچه با کاربرد کودهای فسفره و آلی

در تاریخ ۱۳۹۴/۰۶/۳۰ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی-خاکشناسی مورد ارزیابی و با درجه ..... عالی ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی : علی عباسپور حمیدرضا اصغری		نام و نام خانوادگی : احمد اخیانی	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی : محمدرضا عامریان		نام و نام خانوادگی : خلیل لاردری	
نام و نام خانوادگی : هادی قربانی			
نام و نام خانوادگی :			
[illegible]			

تعهد نامه

اینجانب قاسم صیدالی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی-خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه تاثیرآب آبیاری آلوده به کروم بر خصوصیات رشدی گیاه فلفل و تربچه با کاربرد کودهای فسفره و آلی تحت راهنمائی دکتر علی عباسپور و دکتر حمیدرضا اصغری متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه 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 پایان نامه تاکنون توســـط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دان شگاه شاهرود می با شد و مقالات م ستخرج با نام « دان شگاه شاهرود » و یا « Shahrood University» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، 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 شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

تقدیم به

پدر و مادر عزیز و مهربانم

که در سختی ها و دشواری های زندگی همواره یاوری دلسوز و فداکار

و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده اند.

تقدیم به خواهرانم:

که وجودشان شادی بخش و صفایشان مایه آرامش من است.

تقدیم به برادرانم:

که همواره در طول تحصیل متحمل زحماتم بوده اند و تکیه گاه من در مواجهه با مشکلات، و وجودشان مایه دلگرمی من می

باشد

تقدیر و تشکر

خداوند بزرگ را شاکرم که لطف خود را شامل حال من نمود تا بتوانم تحقیق خود را به پایان برسانم و بتوانم سهمی هر چند اندک، در راه توسعه علمی ایران عزیز بردارم که چو ایران نباشد، تن من مباد. همچنین از زحمات اساتید محترم راهنما، جناب آقای دکتر علی عباسپور و جناب آقای دکتر حمیدرضا اصغری استادمشاور، جناب آقایان دکتر احمد اخیانی اساتید محترم داور جناب آقای دکتر هادی قربانی و جناب آقای دکتر محمدرضا عامریان نماینده تحصیلات تکمیلی، جناب آقای دکتر خلیل اژدری کمال تشکر دارم. در پایان از زحمات خانواده خوبم و دوستان عزیزم آقایان مهندس حسین کیخسروی، احمد بازوبندی، عباس نصیری، یونس صبری، مهرزاد برزگر کلیجی، جواد علی پور، کاظم سعیدی، عسکر رحیمی- خانم ها مهندس احسانی، باطنی، آموزگار، رحیمی، کلیج، استخدامی و سایر کسانی که در تدوین این تحقیق مرا یاری نمودند تشکرم و از خداوند منان سلامت و سعات ایشان را خواستارم.

باسپاس

قاسم صیدالی

شهریورماه ۹۴

لیست مقالات مستخرج شده از پایان نامه

- **تأثیر کاربرد کودهای فسفره و آلی بر برخی خصوصیات رشدی گیاه تربچه آبیاری شده با آب آلوده به کروم،** همایش یافته‌های نوین در محیط زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی، ۳۰ آذر ۹۳
- **تأثیر کاربرد کودهای فسفره و آلی بر برخی خصوصیات رشدی گیاه فلفل آبیاری شده با آب آلوده به کروم،** هشتمین همایش ملی یافته‌های پژوهشی کشاورزی، ۲۳و ۲۴ اردیبهشت ۹۴
- **تأثیر کاربرد کودهای فسفره و آلی بر کلروفیل گیاه تربچه آبیاری شده با آب آلوده به کروم،** نخستین کنگره‌ی ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۳و ۲۴ اردیبهشت ۹۴

چکیده

وجود کروم, به ویژه کروم شش ظرفیتی در آب و خاک مشکلات جدی بر زندگی و محیط زیست بشر ایجاد نموده است. تثبیت یا غیر فعال کردن آن در محیط های آلوده با روشهای مختلف مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. در همین راستا، به منظور بررسی تأثیر کاربرد کودهای فسفره و ترکیبات آلی بر برخی خصوصیات رشدی گیاه تربچه و فلفل آبیاری شده با آب آلوده به کروم، آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه در دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل: تیمارها شامل شاهد (C)، کود دی آمونیوم فسفات (AP)، کود سوپر فسفات تریپل (TP)، پودر یونجه (OM)، اسید هومیک (HA)، کود دی آمونیوم فسفات + پودر یونجه (AP+OM)، کود دی آمونیوم فسفات + اسید هومیک (AP+HA)، سوپر فسفات تریپل + اسیدهومیک (TP+HA)، سوپرفسفات تریپل + پودر یونجه (TP+OM) بودند. نتایج نشان داد مقدار تجمع کروم VI در ریشه گیاه تربچه و فلفل به ترتیب ۵۹/۱۱ و ۳۴/۲۱ درصد بیشتر از اندام‌های هوایی بود. به طور کلی در همه تیمارهایی که از کودهای فسفره و ترکیبات آلی استفاده شد کاهش تجمع کروم VI در اندام های گیاه را به همراه داشت در حالی که کاربرد ترکیبی کودهای فسفره و ترکیبات آلی موثرتر بود. بیشترین مقدار کاهش کروم VI در ریشه مربوط به تیمار TP+HA و AP+HA به ترتیب به میزان ۵۷/۸ و ۳۹/۳۸ درصد نسبت به شاهد در گیاهان تربچه و فلفل بود. همچنین بیشترین مقدار کاهش کروم VI در تیمار OM به میزان ۴۵/۰۹ درصد نسبت به شاهد در اندام هوایی گیاه فلفل بود. همبستگی منفی و معنی داری بین فسفر محلول و کروم VI در در اندام های گیاه تربچه و فلفل وجود داشت. به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای فسفره و ترکیبات آلی می‌تواند سبب کاهش جذب کروم VI در اندام‌های گیاه تربچه و فلفل شود.

کلمات کلیدی: کروم VI، پودر یونجه، اسید هومیک، همبستگی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

کلیات و بررسی منابع ۵

۲-۱- عنصر سنگین کروم ۶

۲-۲- کروم در خاک ۸

۲-۳- کاربردهای کروم ۹

۲-۴- منابع عمده کروم ۹

۲-۵- کروم در گیاهان ۱۰

۲-۶- مقدار مجاز کروم در خاک، آب، گیاه ۱۲

۲-۷- گیاهان تجمع‌کننده کروم ۱۲

۲-۸- گیاه پالایی ۱۳

۲-۹- گیاه تثبیتی ۱۴

۲-۱۰- گیاه تربچه ۱۵

۲-۱۱ گیاه فلفل ۱۵

۲-۱۲- کودهای فسفره ۱۶

۲-۱۳- ترکیبات آلی ۱۷

۲-۱۳-۱- مواد آلی ۱۷
۲-۱۳-۲- اسید هومیک ۱۸
۲-۱۳-۳- فلزات سنگین و اسید هومیک ۱۸
مواد و روشها ۲۱
۳-۱- کلیات منطقه مورد مطالعه ۲۲
۳-۱-۱- موقعیت جغرافیایی فرومد ۲۲
۳-۱-۲- فیزیوگرافی و پستی و بلندی ۲۲
۳-۱-۲-۱- دشت‌های دامنه‌ای ۲۳
۳-۱-۲-۱- آبرفت‌های بادبزنی شکل سنگریزه دار ۲۳
۳-۱-۳- آب و هوا ۲۳
۳-۱-۴- پوشش گیاهی ۲۴
۳-۱-۵- منابع آب ۲۴
۳-۲- زمان و محل آزمایش ۲۵
۳-۳- خصوصیات خاک گلدان ۲۵
۳-۴- خصوصیات آب مورد آزمایش ۲۶
۳-۵- طرح آزمایشی و تیمارهای مورد مطالعه ۲۶
۳-۶- آماده سازی خاک برای آزمایش گلخانهای ۲۷
۳-۷- عملیات کاشت ۲۷
۳-۸- نحوه آبیاری و تعیین ظرفیت زراعی خاک گلدان‌ها ۲۷
۳-۹- نمونه‌گیری گیاهی ۲۷
۳-۱۰- اندازه‌گیری pH ، EC و فسفر محلول ۲۸

۳-۱۱- اندازه‌گیری درصد فسفر کل ۲۸
۳-۱۲- اندازه‌گیری کروم VI در گیاه (ریشه و اندام هوایی) ۲۸
۳-۱۳- اندازه‌گیری کروم VI در خاک..... ..... ۲۹
۳-۱۴- اندازه‌گیری کلروفیل برگ ۲۹
۳-۱۵- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها ۳۰
نتایج و بحث ۳۱
۴-۱- هدایت الکتریکی خاک (EC) ۳۲
۴-۱- pH خاک ۳۳
۴-۳- فسفر محلول خاک ۳۵
۴-۴- وزن خشک ریشه و اندام هوایی ۳۷
۴-۵- ارتفاع ۳۹
۴-۶- فسفر کل اندام هوایی..... ..... ۴۱
۴-۷- فسفر کل در ریشه ۴۳
۴-۸- غلظت کروم (VI) در گیاه تربچه ۴۴
۴-۹- غلظت کروم (VI) در گیاه فلفل ۴۷
۴-۱۰- کلروفیل (اسپد) ۵۰
۴-۱۱- کلروفیل a، b و کل (تربچه) ۵۲
۴-۱۲-همبستگی ۵۳
۴-۱۲-۱- همبستگی در گیاه تربچه ۵۳

۴-۱۲-۲- همبستگی در گیاه فلفل.....۵۴

نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۵۵

۵-۱- نتیجه‌گیری ۵۶

۵-۲- پیشنهادها.....۵۷

منابع ۵۹

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل ۳-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه حاوی آب آلوده ۲۲

شکل ۳-۲ کشت گیاه تربچه و فلفل ۲۸

شکل ۴-۱ تأثیر تیمارهای مختلف بر EC خاک تربچه ۳۲

شکل ۴-۲ تأثیر تیمارهای مختلف بر EC خاک فلفل ۳۳

شکل ۴-۳ تأثیر تیمارهای مختلف بر pH خاک (گیاه تربچه) ۳۴

شکل ۴-۴ تأثیر تیمارهای مختلف بر pH خاک (گیاه فلفل) ۳۴

شکل ۴-۵ تأثیر تیمارهای مختلف بر فسفر محلول خاک در گیاه تربچه ۳۵

شکل ۴-۶ تأثیر تیمارهای مختلف بر فسفر محلول خاک در گیاه فلفل ۳۶

شکل ۴-۷ اثر تیمارها بر وزن خشک ریشه گیاه فلفل..... ۳۸

شکل ۴-۸ اثر تیمارها بر وزن خشک اندام هوایی گیاه فلفل ۳۹

شکل ۴-۹ اثر تیمارها بر ارتفاع گیاه تربچه ۴۰

شکل ۴-۱۰ اثر تیمارها بر ارتفاع گیاه فلفل ۴۱

شکل ۴-۱۱ تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت فسفر کل اندام‌های هوایی گیاه تربچه. ۴۲

شکل ۴-۱۲ تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت فسفر کل اندام‌های هوایی گیاه فلفل ۴۳

شکل ۴-۱۳ تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت فسفر کل ریشه گیاه تربچه ۴۳

شکل ۴-۱۴ تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت فسفر کل ریشه گیاه فلفل ۴۴

شکل ۴-۱۵ تأثیر تیمارها بر غلظت کروم (VI) ریشه در گیاه تربچه ۴۵

شکل ۴-۱۶تأثیر تیمارها بر غلظت کروم (VI) اندام‌های هوایی تربچه ۴۷

شکل ۴-۱۷ تأثیر تیمارها بر غلظت کروم VI خاک در گیاه تربچه ۴۷

شکل ۴-۱۸ تأثیر تیمارها بر غلظت کروم (VI) ریشه فلفل ۴۸

شکل ۴-۱۹ تأثیر تیمارها بر غلظت کروم (VI) اندام هوایی فلفل ۴۹

شکل ۴-۲۰ تأثیر تیمارها بر غلظت کروم VI خاک فلفل ۴۹

شکل ۴-۲۱ اثر تیمارها بر روی کلروفیل تربچه ۵۱

شکل ۴-۲۲ اثر تیمارها بر روی کلروفیل a گیاه تربچه ۵۲

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- مقدار مجاز کروم در خاک، آب آبیاری، گیاه ۱۲

جدول ۳-۱- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.....۲۵

جدول ۳-۲ نتایج خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده برای آبیاری.....۲۶

فهرست جداول پیوست

عنوان **صفحه**

جدول پیوست ۱- آنالیز واریانس صفات مورد بررسی در گیاه تربچه ۶۹

جدول پیوست ۲- آنالیز واریانس صفات مورد بررسی در گیاه فلفل ۷۰

جدول پیوست ۳- آنالیز واریانس(میانگین مربعات) صفات مورد بررسی در گیاه تربچه ۷۱

جدول پیوست ۴- آنالیز واریانس(میانگین مربعات) صفات مورد بررسی در گیاه فلفل ۷۲

جدول پیوست ۵- ضرایب همبستگی پیرسون، گیاه تربچه ۷۳

جدول پیوست ۶- ضرایب همبستگی پیرسون گیاه فلفل ۷۴

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

فلزات سنگین از مهم‌ترین منابع آلاینده محیط‌زیست از جمله خاک هستند که در صورت تجمع در خاک علاوه بر آثار زیان‌بخش بر اکوسیستم خاکی، با آلوده کردن آب‌های زیرزمینی و همچنین جذب از طریق گیاهان، وارد زنجیره غذایی انسان و سایر موجودات زنده می‌شوند (انتونیادیس و آلوری، ۲۰۰۱). افزایش سریع جمعیت و به دنبال آن صنعتی سازی که از نشانه‌های بارز تمدن در دنیاست در چند دهه اخیر، اثرات معکوسی بر محیط‌زیست به جای گذاشته است. استفاده وسیع از مواد شیمیایی و آزادسازی آن‌ها در محیط، عامل تخریب زمین‌های کشاورزی، آب‌های سطحی و زیرزمینی گشته و نهایتاً می‌توان گفت که زندگی موجودات زنده را به مخاطره انداخته است، لذا یکی از نگرانی‌های عمده بشر در دنیای کنونی اثرات مخرب پسماندهای این صنایع در محیط هست که از مهم‌ترین آن‌ها فلزات سنگین است (ادیبووال و همکاران، ۲۰۰۴). کروم یکی از این ترکیبات فلزی است که به دلیل اهمیت اقتصادی بالا به طور گسترده در صنایع مختلف از جمله تهیه آلیاژهای کرومی، آبکاری کروم، شیشه سازی، صنعت نساجی، صنایع چوب، تولید سیمان، فرش بکار رفته و ورود آن به محیط‌زیست از طریق پساب این صنایع اجتناب‌ناپذیر است و به دلیل حلالیت بالایی که دارد آلودگی توسط آن به سرعت به سایر مناطق منتقل می‌گردد (اشوینی و همکاران، ۲۰۰۹ و پارامسواری و همکاران، ۲۰۰۹). کروم یک فلز سنگین سمی برای میکروارگانیسم ها، حیوانات و گیاهان محسوب می‌شود که به علت استفاده‌های وسیع صنعتی طی دهه اخیر، به یک آلاینده جدی محیطی تبدیل شده است. غلظت‌های بالای کروم به عنوان عاملی تنش زا برای گیاهان به شمار می رود که می‌تواند به عنوان یک عامل محدودکننده رشد، خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد (پیروز، ۱۳۹۱). کروم در طبیعت به اشکال متفاوت اکسیدشده وجود دارد، اما پایدارترین شکل‌های کروم، کروم III و کروم VI هستند که از لحاظ خواص شیمیایی و اثرات ایجادکننده کاملاً متفاوت عمل می‌کنند (بارنهارت، ۱۹۹۷). زایاد و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که کروم VI بسیار سمی تر از کروم با ظرفیت III است که به

عنوان یک عامل سرطان‌زای قوی برای انسان و حیوان تلقی می‌شود. یکی از روش‌های کنترل عناصر سنگین در خاک استفاده از روش غیر پویاسازی شیمیایی آن‌ها است. این روش با کاهش حلالیت فلزات سنگین باعث کاهش غلظت آن‌ها در گیاه می‌شود. تثبیت شیمیایی فلزات سنگین به دلیل هزینه کم و سرعت نسبتاً زیاد نسبت به روش‌های دیگر ارجحیت دارد. استفاده از اصلاح‌کننده‌ها از طریق سازوکار جذب سطحی، واکنش‌های اسید _ باز، رسوب، اکسایش و کاهش، تبادل یونی و هوموسی شدن باعث غیر پویا شدن و تثبیت فلزات سنگین در خاک می‌شوند. انتخاب افزودنی مناسب تحرک و فراهمی آلاینده را به سرعت کاهش داده و از آب شویی و جذب به وسیله گیاهان و موجودات زنده خاک جلوگیری می‌کند (شکول و رایان، ۲۰۰۳). انتخاب اصلاح‌کننده‌ها وابسته به مواردی مانند نوع آلاینده، خصوصیات خاک، مقدار کارایی مد نظر هست. همچنین اصلاح‌کننده‌ها باید به آسانی قابل‌دسترس و نسبتاً ارزان باشند، کاربرد راحت داشته باشند و باعث تخریب بیشتر محیط‌زیست نشوند (اسکندر، ۲۰۰۱). امروزه برتری استفاده از پسماندهای آلی در کشاورزی به عنوان منبع باارزشی از اصلاح‌کننده‌های آلی و عناصر تغذیه‌ای برای گیاه، بر هیچ کس پوشیده نیست به طوری که با کاربرد مواد آلی هم وضعیت مواد آلی(هوموس خاک) و هم مقدار عناصر غذایی آن بهبود می‌یابد (کورتنی و مولن، ۲۰۰۷). از سوی دیگر مصرف هم زمان کودهای آلی و شیمیایی به خاک باعث افزایش کارایی کودهای شیمیایی، بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و کاهش آلودگی محیط می‌شود (کیلینگ و همکاران، ۲۰۰۳). معادن کرومیت نیز منبع مهم کروم در طبیعت محسوب می‌شوند که با وجود باارزش بودن می‌تواند برای پوشش گیاهی منطقه منبع آلودگی محسوب شود. معدن کرومیت نزدیک شهرستان میامی منطقه فرومد، استان سمنان و مزارع کشاورزی به خصوص فلفل از لحاظ مقاومت و تحمل نسبت به سمیت کروم از چشم اندازهای این پژوهش بوده است. از آنجایی که کشاورزان در منطقه آلوده, به کشت گیاه فلفل می‌پردازند در این تحقیق سعی شد تا اثر آب آلوده به کروم و نیز تأثیرات متقابل کروم و ترکیبات آلی (اسید هومیک و پودر یونجه) و کودهای فسفره (دی آمونیوم

فسفات و سوپر فسفات تریپل) بر قابلیت دسترسی و جذب کروم VI در گیاه تربچه و فلفل بررسی شود.

اهداف پژوهش عبارتند از:

- بررسی تأثیر گیاهان تربچه و فلفل بر جذب کروم موجود در آب آبیاری
- پراکنش کروم در اندام‌های گیاه تربچه و فلفل
- بررسی تأثیر کودهای فسفر بر مقدار جذب کروم و تثبیت کروم در خاک
- بررسی مواد آلی بر قابلیت دسترسی و جذب کروم توسط گیاه تربچه و فلفل

فصل دوم

کلیات و بررسی منابع

۲-۱- عنصر سنگین کروم

کروم هفتمین عنصر فراوان در پوسته زمین بوده، دارای حالات اکسیداسیون مختلفی است که فرمهای سه ظرفیتی و شش ظرفیتی آن در محیط رایج تر و پایدارتر هستند (استپنویسکا و بیسر، ۲۰۰۱؛ میه و همکاران، ۲۰۰۲). کروم به عنوان یک آلاینده قوی در اکثر مناطق آلوده، مناطق مسکونی و مراکز صنعتی مانند کارخانه‌های آبکاری، چرم‌سازی و عمل‌آوری چوب یافت می‌شود. علت پیدایش این آلاینده در محیط‌زیست را می‌توان در نتیجه دفع ناصحیح آلاینده‌های خطرناک و یا نشت آن‌ها از مراکز دفن دانست. کروم سه ظرفیتی به علت جذب سطحی بالا به سطح ذرات خاک و تشکیل هیدروکسید کروم غیرقابل حل در آب، سمیت و تحرک کمتری نسبت به کروم شش ظرفیتی دارد. آنیون کروم شش ظرفیتی به علت تحرک بالا در محیط‌های زیرسطحی و همچنین خاصیت سرطان‌زایی و مخربی که برای بافت‌های زنده دارد، توجه زیادی را در چند سال اخیر به خود معطوف کرده است (شارما و همکاران، ۱۹۹۶). کروم (Cr) یکی از عناصر کم مقدار ضروری برای پستانداران بوده و نقش مهمی را در متابولیسم قندها، چربی‌ها و اسیدهای آمینه ایفا می‌کند و در غلظت‌های زیاد برای سلامتی انسان و سایر جانداران زنده مضر است. کروم دارای حالت‌های اکسایشی متعددی از (۲-) تا (۶+) هست ولی فقط حالت‌های سه و شش ظرفیتی آن در طبیعت پایدارند. ترکیبات کروم III در خاک پایداری بیشتری داشته و صد برابر کمتر از ترکیبات کروم VI سمی می‌باشند. واکنش‌های عمده کروم در خاک شامل هیدرولیز، اکسایش، کاهش، جذب و رسوب می‌باشند که در این بین واکنش‌های اکسایش-کاهش برای بررسی تحرک، سمیت و سرنوشت کروم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (سیلر و همکاران، ۱۹۸۸). کروم شش ظرفیتی عمدتاً به صورت یون‌های هیدروکرومات ($HCrO_4^-$)، کرومات (CrO_4^{2-}) و دی کرومات ($Cr_2O_7^{-2}$) در خاک و محیط‌های زیرسطحی یافت می‌شود (استپنویسکا و بیسر، ۲۰۰۱). بیشتر ترکیبات کروم III در خاک حل پذیری کمی دارند. با این حال کمپلکس های کروم III در pH بیشتر از ۵/۵ محلول بوده، درحالی‌که ترکیبات غیر کمپلکس آن در این محدوده pH

نامحلول می‌باشند (جیمز و بارتلت، ۱۹۹۳). ترکیبات Cr(VI) در محیط‌زیست و به ویژه خاک غالباً نسبت به ترکیبات کروم III محلول تر بوده، در نتیجه دارای سمیت بیشتری هستند. کروم محلول موجود در آب و خاک عموماً کروم VI است. کروم VI می‌تواند از پروفیل خاک شسته شده و وارد آب‌های زیرزمینی کم عمق (به ویژه سفره‌های شنی و سنگریزه‌ای) شود. گاهی این‌گونه آب‌های زیرزمینی دارای غلظت‌های زیادی از کروم VI هستند. درحالی‌که در سفره‌های رسی به دلیل کندی کروم، حضور مقادیر کمتری از کروم VI انتظار می رود (بارتلت و کیمبل، ۱۹۷۶). کروم شش ظرفیتی کروم VI به صورت آنیونی وجود داشته و به سهولت از ذرات خاک و رسوبات قابل‌استخراج بوده و به شدت متحرک است. درحالی‌که کروم سه ظرفیتی کروم III به شکل کاتیونی بوده و در pHهای خنثی به سهولت توسط انواع زیادی از مواد آلی و غیر آلی جذب‌شده و یا رسوب می‌کند و لذا از تحرک کمتری برخوردار است. گزارش شده است که ترکیبات کروم VI، ۱۰ تا ۱۰۰ برابر سمیت بیشتری نسبت به ترکیبات کروم III دارند. ترکیب کروم VI بسیار اکسنده بوده و در زمره مواد سرطان زا طبقه‌بندی می‌شوند. درحالی‌که کروم III در مقادیر کم برای پستانداران ضروری شناخته شده است. با توجه به مطالب ذکرشده، احیای کروم VI به کروم III مناسب‌ترین راه برای کاهش آلودگی محیط‌زیست به کروم VI محسوب می‌گردد (کیان و همکاران، ۲۰۰۸). معمول‌ترین روش‌های حذف کروم شامل فرایندهای الکترودیالیز، ترسیب شیمیایی، اسمز معکوس و تبادل یون هست که برای دیگر فلزات سنگین نیز کاربرد دارند. این‌گونه فرایندها به دلیل هزینه نسبتاً بالا، عدم حذف کروم و همچنین دفع زائد مواد ناشی از آن‌ها دارای محدودیت‌های خاص خود می‌باشند. از دیگر روش‌های مورد استفاده، فرایند جذب سطحی هست. جذب سطحی، فرآیند تجمع مواد در فصل مشترک بین دو فاز است. کربن فعال از موثرترین جاذب‌های مورد استفاده در فرایند جذب کروم هست (سیلوی و همکاران، ۲۰۰۱).

۲-۲- کروم در خاک

موضوع توزیع کروم در خاک‌ها تمایل آن را به سنگ‌های آتش‌فشانی بازی و رسوبات رسی نشان می‌دهد. در سنگ‌های فوق بازی ممکن است میزان آن تا بیش از۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و در فلدسپارها مثل گرانیت ممکن است کمتر از۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد. به طور کلی مقدار کروم در معادن کرومیت به دلیل نسبت متغیر آن‌ها در ترکیب با کانی‌های سیلیکاتی متفاوت هست. احتمالاً کانی‌های با پیروکسن ها، آمفیبول ها و میکاها در ارتباط هستند. در میان این کانی‌ها کرومیت ($FeCr_2O_7$) دارای اهمیت اقتصادی بالایی است (کاباتا- پندیاس و موخرجی، ۲۰۰۷). به طور اساسی، جذب سطحی کروم در خاک با میزان رس و به مقدار کمتر با هیدروکسیدهای آهن و میزان مواد آلی ارتباط دارد. همبستگی مثبت بین کروم و اجزاء دانه‌های ریز در خاک منجر به بیش‌ترین میزان کروم در خاک‌های سیلتی و لومی نسبت به خاک‌های شنی می‌شود. خاک‌های شنی و لومی سبک دارای۳۵۰-۲ میلی‌گرم در کیلوگرم کروم هست درحالی‌که در خاک‌های رسی و لومی سنگین ۱۱۰۰-۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کروم وجود دارد (کاباتا- پندیاس و پندیاس، ۲۰۰۱).

اثر مواد آلی خاک بر روی تغییر و تبدیل و به خصوص کاهش کروم Cr^{6+} وCr^{3+} از نظر زیست‌محیطی بسیار قابل توجه است و به طور گسترده‌ای مطالعه شده است. شکل‌ها و تغییر شکل‌های کروم در خاک‌ها روی امنیت محیط‌زیست تأثیر دارد. از این رو گونه‌بندی کروم در خاک‌ها و حلالیت آنها در خاک‌های آلوده به کروم به طور گسترده‌ای مطالعه شده است. چنین غلظت‌هایی از کروم می‌تواند برای رشد گیاهان سمی باشد. علاوه بر این‌گونه بندی کروم تحت بسیاری از شرایط محیطی به pH- Eh وابسته است. فرم اکسیدشده کروم VI نسبت به گونه کروم III به ویژه تحت شرایط pH اسیدی و قلیایی تحرک بیشتری دارد، تحت شرایط اکسایشی کروم VI در خاک‌ها به طور اساسی به شکل‌های کرومات و هیدروکرومات موجود است (جیمز و همکاران، ۱۹۹۷). در خاک‌های الترامافیک که بخش اعظمی از کروم در فاز نامحلول هست کروم موجود در فاز محلول خاک تحت شرایط پوشش گیاهی

طبیعی در محدوده ۱۰-۲/۷ میکروگرم بر کیلوگرم بود. درحالی‌که در شرایط پوشش گیاهی کشت شده، به خاطر اثرات کودهای شیمیایی فسفاته غلظت آن به بیش از ۷۰۰ افزایش یافت (بیسکیور و همکاران ۲۰۰۳). میزان کروم در لجن فاضلاب (مخصوصاً پسماندهای شهری) که برای خاک‌های کشاورزی به کار می رود معمولاً بین ۲۰۰- ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم تغییر می‌کند از این رو اراضی کشاورزی اصلاح‌شده با لجن فاضلاب، احتمالاً غلظت بالایی از کروم را دارند به ویژه آنکه کروم در لایه‌های نازک بالایی خاک‌ها تجمع می‌یابد (کاباتا- پندیاس و موخرجی، ۲۰۰۷). کروم نیز مانند سایر کاتیون‌های عناصر کم مصرف به طور یکنواخت در خاک‌ها توزیع نمی‌شود. اما احتمالاً در کلوخه ها و سخت دانه‌ها تجمع می‌یابد. کلوخه های جداشده از خاک‌های آلوده‌شده با بقایای فرایند سنگ معدن کرومیت در اسکاتلند میزان زیادی از کروم بین ۳۶۴۰۰-۱۴۷۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم را نشان داد. درحالی‌که لایه خاک سطحی اطراف صنایع آبکاری در پرتقال حاوی ۱۰۰۰ کیلوگرم بر کیلوگرم کروم بودند (مورگادو و همکاران ۲۰۰۱).

۲-۳- کاربردهای کروم

بخش عمده‌ای از کروم در تهیه فولاد ضد زنگ و کرومات استفاده می‌شود. در صنایع شیمیایی کروم به عنوان رنگدانه، پرداخت فلزات، دباغی چرم و نگه‌دارنده‌های چوب استفاده می‌شود. آن معمولاً در ساخت رنگ‌های سبز برای رنگ‌کاری و نقاشی، صیقلی کردن، لعاب انداختن و تهیه مرکب استفاده می‌شود (کاباتا- پندیاس و موخرجی، ۲۰۰۷).

۲-۴- منابع عمده کروم

منبع اصلی آلودگی کروم دباغی چرم و ماده رنگی که پسماندها به طور مستقیم به شکل مایع یا جامد به جریان‌های پسماند تخلیه می‌شود توصیف می‌شود. با این حال باقی‌مانده فرایند سنگ معدن کرومیت یک خطر زیست‌محیطی بزرگ در برخی مناطق است. استفاده اصلی از کروم در صنایع مواد، صنایع شیمیایی و مواد نسوز است. ریزش غبارهای اقلیمی منبع طبیعی اصلی کروم در اتمسفر است.

منابع انسانی، به طور اصلی از انتشار حاصل از صنایع فلزی و از احتراق سوخت بیش از ۷۰٪ از کروم را تشکیل می‌دهند.

۲-۵- کروم در گیاهان

تاکنون مدارک روشنی در زمینه ضروری بودن کروم جهت انجام سوخت و ساز در گیاه به دست نیامده است و بدین ترتیب توصیف اثرات مثبت کاربرد کروم بر رشد و نمو گیاه ممکن است ساختگی باشد. کروم برای گیاه اندکی دسترس‌پذیر هست و به راحتی درون گیاه جابه‌جا نمی‌گردد، از این رو عمدتاً در ریشه تجمع پیدا می‌کند. شکل دسترس‌پذیر آن برای گیاه کروم VI هست، که در شرایط طبیعی خاک بسیار ناپایدار هست. همچنین کروم III و چندین کروم همتافت آنیون‌های کروم (از قبیل CrO_4^{2-}) به نظر می‌رسد که به راحتی برای گیاهان دسترس‌پذیر باشد. زاید و همکاران (۱۹۹۸) نشان داده‌اند که الگوی انباشتگی و جابجایی این دو گونه از کروم (Cr^{3+} و CrO_4^{2-}) مثل هم هست، با وجود این، Cr^{3+} برای بیشتر گیاهان تا حدی بی‌خطر هست و به شدت به بخش جامد خاک پیوند می‌یابد.

سازوکار جذب و جابه‌جایی کروم در گیاه شباهت آشکاری با آهن دارد و بنابراین قابلیت ریشه‌ها در تبدیل نمودن cr^{3+} به CrO_4^{2-} فرایند کلیدی در جذب کروم هست، این تبدیل کروم علیرغم شکل‌های مختلف عرضه کروم به گیاه مشاهده شده است. مدارکی وجود دارد که کروم VI به راحتی دسترس‌پذیر در سلول‌های گیاه به اشکال کروم III تبدیل می‌شوند (زاید و تری ۲۰۰۳). فندروف و همکاران (۲۰۰۴) بر اساس نتایج یک تحقیق جدید نتیجه‌گیری کردند که دسترس‌پذیری زیستی کروم تابعی از نوع خاک و زمان نگهداری است. گیاهان به طور کلی کروم را غالباً در ریشه‌های خود انباشته می‌سازند، که گویا به علت گرایش و تمایل کروم به پیوند یافتن با دیواره‌های سلولی است (زاید و همکاران ۱۹۹۸). نسبت غلظت کروم ساقه به ریشه در بیشتر نباتات زراعی از نوع سبزیجات به طور گسترده از ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم تغییر می‌کند.

مقدار کروم در گیاهان اخیراً بیشتر مورد توجه قرار گرفته است، زیرا شناخت آن از این جهت که یک ریزمغذی مورد نیاز از فرایندهای سوخت و سازی انسان به شمار می رود، حائز اهمیت هست، گذشته از این به دلیل اثرات سرطان‌زایی مورد توجه هست. به این ترتیب، مقدار مناسب کروم تغذیه‌ای یک موضوع حائز اهمیت تلقی می‌شود. در مورد سمیت گیاهی کروم مدارکی چند موجود هست، چاترجی (۲۰۰۰) گزارش نمود که کروم اضافی در گیاهان موجب تشکیل پروتئین ناچیز شده که نتیجه آن ایجاد اختلال در سوخت و ساز ازت می‌گردد. در دانه‌های غلات و محصول سبزیجات، مقدار کروم نسبتاً یکنواخت هست. به نظر می‌رسد مقادیر کروم موجود در دانه‌های غلات، نسبتاً پایدار بوده و یا از ۰/۰۷ تا ۰/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم (براتاکوس و همکاران ۲۰۰۲) تغییر می‌کند. دانه‌های گندم زمستانه و جو کاشته شده در کشور سوئد به طور میانگین به ترتیب دارای ۰/۰۱و ۰/۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم کروم بوده‌اند (اریکسون ۲۰۰۱). دانه‌های غلات نمونه‌برداری شده در سال ۱۹۹۸در کشور فرانسه حاوی کروم در محدوده ۰/۰۴ تا ۰/۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است که بیشتر تحت تأثیر نوع خاک قرار گرفته است (بیز و همکاران ۲۰۰۳). بیش‌ترین مقدار کروم در هویج (۰/۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم)، پیاز (۰/۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم)، و کلم (۰/۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم)، موجود است. مقدار کروم موجود در سبزیجات برگی و میوه‌جات در محدوده ۰/۰۸- ۰/۰۴ میلی‌گرم در کیلوگرم هست. مقادیر بالنسبه بیشتر کروم در فندق ۰/۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) و بادام (۰/۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) یافت شده است.

با وجود این، کروم VI نیز اثرات سمی داشته و هر گونه تماس (از راه دهان، پوست و از طریق استنشاق) با غلظت‌های زیاد کروم می‌تواند مضر باشد (آژانسی در مورد مواد سمی و ثبت بیماری ۲۰۰۲). ساز و کارهای سرطان‌زایی موجب شده توسط کروم VI به طور گسترده مورد بررسی قرارگرفته است (اندرسون ۱۹۹۷؛ کلیین ۱۹۹۶). مقدار بیش از حد کروم ممکن است به نارسایی کبد و کلیه و کم خونی، تحلیل عضلانی و اختلال در انعقاد خون منجر گردد. هنگامی که ترکیبات کروم اضافی استنشاق شود، امکان دارد که سرطان ریه، بینی و معده گسترش یابد (آژانسی در مورد مواد سمی و ثبت بیماری ۲۰۰۲).

همین طور حساسیت پوستی و تنگی نفس (آسم) نیز ممکن است در نتیجه تماس با ترکیبات کروم پیش بیاید.

۲-۶- مقدار مجاز کروم در خاک، آب، گیاه

جدول ۲-۱- مقدار مجاز کروم در خاک، آب آبیاری، گیاه

پارامتر	آب ($mg .L^{-1}$)	گیاه ($mg.kg^{-1}$)	خاک ($mg.kg^{-1}$)
(WHO)	۰/۱	۱/۳	۵۰
Zayad and terry (2003)	۰/۰۵	۰/۰۰۶-۱۸	۵-۱۰۰

۲-۷- گیاهان تجمع‌کننده کروم

بیش از ۴۰۰ گیاه بیش انباشت گر برای جذب فلزات سنگین گزارش شده است که شامل خانواده‌های Euphurbiaceae,Violaceae,Fabaceae, Lamiaceae, Poaceae, Flacourtianceae, Caryophyllaceae, Cyperaceae, Cunouniaceae, Brassicaceae و Asteraceae هست (پادماواتیما و لورتا، ۲۰۰۷). پس از کشت این گیاهان به مدت چندین هفته یا ماه و برداشت گیاهان و تکرار این عمل، سطح آلودگی‌ها کاهش‌یافته و به حد مجاز می‌رسد (ناندا - کومار و همکاران، ۱۹۹۵). زمان مورد نیاز برای گیاه پالایی بستگی به نوع و سطح گسترش آلودگی، مدت زمان رشد گیاه و کارایی گیاه در حذف فلزات سنگین از خاک دارد اما به طور عادی این فرایند بین ۱ تا ۲۰ سال زمان نیاز دارد. این روش برای مناطق وسیع آلوده با عمق آلودگی کم و دامنه آلودگی کم تا وسیع قابل استفاده است (ناندا- کومار و همکاران، ۱۹۹۵).

۲-۸- گیاه پالایی

بشر از قدیم با گیاهان آشنا بوده و از آن برای مقاصد خوراکی، دارویی، ساخت ابزار و وسایل استفاده نموده است. از جمله کاربردهای جدید گیاهان، استفاده از آن‌ها برای بازیابی یا استخراج فلزات است که به آن گیاه پالایی (Phytoremediation) گفته می‌شود. از این تکنولوژی می‌توان برای پاک‌سازی محیط‌ها و خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و خطرناک بهره برد (پاجیلو و همکاران، ۲۰۰۷؛ اندرسون و همکاران، ۲۰۰۳). یکی از روش‌های سمیت زدایی و کاهش مواد سمی از جمله فلزات سنگین در محیط‌های آلوده استفاده از گیاهان بیش انباشت گر است (ایبس و همکاران، ۱۹۹۷؛ لاست، ۲۰۰۲). استخراج فلزات توسط گیاهان روشی است که معمولاً برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تکنولوژی معمولاً از گیاهانی استفاده می‌شود که قابلیت برداشت این فلزات از خاک و انتقال به اندام‌های هوایی را دارند. سپس زیست توده گیاهی از مزرعه برداشت‌شده و برای کاهش حجم آلودگی سوزانده می‌شود که در نهایت در محل دفن زباله دفن می‌گردد (کرکهام، ۲۰۰۶). پتانسیل گیاهان مختلف برای جذب فلزات سنگین متفاوت است. از طرفی در صورت کشت گیاهان زراعی این فلزات وارد اندام‌های مصرفی نظیر دانه، میوه و به طور کلی بافت‌های گیاهی شده و در صورت مصرف این اندام‌ها و بافت‌ها توسط انسان و یا دام باعث تجمع فلزات سنگین در بدن آن‌ها و ایجاد بیماری‌های خطرناک می‌گردد (براما و همکاران، ۲۰۰۷). لذا انتخاب گیاهانی که بخش اقتصادی آن‌ها (مثلاً اسانس) عاری از فلزات سنگین باشند بسیار حائز اهمیت است. استخراج توسط گیاه به پالایش آلودگی از خاک اطلاق می‌شود که در این سازوکار گیاهان فلزات سنگین را جذب، تغلیظ و بهزیست توده بخش‌های هوایی (ساقه‌ها، برگ‌ها و غیره) منتقل می‌کنند (هنتی، ۲۰۰۰). این روش بهترین رهیافت برای پالایش مقدماتی فلزات سنگین از خاک و ایزوله کردن آن بدون تخریب ساختمان و باروری خاک هست. این روش، پالایش تجمعی نیز نامیده می‌شود (آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا، ۲۰۰۰). دو رهیافت به عنوان استراتژی‌های این روش محسوب می‌شوند. اول اینکه با کمک کلات‌های فلزات سنگین عمل استخراج توسط گیاهان افزایش می‌یابد. این کلات‌ها به تحرک فلزات در

خاک کمک می‌کنند و به طور مصنوعی به خاک افزوده می‌شوند. دوم اینکه استخراج مداوم برای جذب فلزات سنگین به پتانسیل طبیعی گیاه برای پالایش بستگی دارد (سالت و همکاران، ۱۹۹۵). یافتن گیاهان بیش انباشت گر به این روش کمک می‌کند. برای اینکه این تکنولوژی عملی شود، گیاهان باید مقادیر زیادی از فلزات سنگین را استخراج و توسط ریشه جذب نموده و بهزیست توده بخش‌های هوایی خود انتقال دهند و نیز مقدار زیادی زیست توده تولید نمایند. چند مزیت برای این روش ذکر شده است. هزینه استخراج توسط گیاه در مقایسه با سایر روش‌های متداول ارزان‌تر است. در برخی از موارد آلودگی ممکن است از طریق زیست توده گیاهان آلوده مجدداً به خاک برگردد. کارایی استفاده از گونه‌های بیش انباشت گر از طریق رشد کند، سیستم ریشه کم‌عمق و تولید زیست توده کم محدود می‌شود. سایر عواملی که باعث محدود شدن گسترش گیاه پالایی می‌شوند عبارت‌اند از (هنتی، ۲۰۰۰):

۱- فراهمی زیستی فلزات سنگین در ریشه

۲-میزان جذب فلزات سنگین توسط ریشه

۳-سهم فلزات تثبیت‌شده توسط ریشه

۴-میزان بارگیری و انتقال فلزات سنگین از ریشه به ساقه و برگ

۵-مقاومت سلولی زیاد جهت ورود فلزات سنگین به سلول

۲-۹- گیاه تثبیتی

تثبیت توسط گیاه به غیرفعال شدن آلودگی در محل نیز گفته می‌شود. این اصطلاح عبارت از محدود کردن تحرک و فراهمی زیستی عنصر در خاک است (هنتی، ۲۰۰۰). تثبیت فلزات سنگین توسط گیاه ممکن است از طریق کاهش فرایندهای جذب توسط کلوئیدها، رسوب، ایجاد کمپلکس در خاک انجام شود و برای فلزات سرب، آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس و روی مفید است. یکی از مزایای این سازوکار این است که نیازی به انهدام آلودگی ناشی از مواد یا زیست توده خطرناک نیست (آژانس

حفاظت محیط‌زیست آمریکا، ۲۰۰۰) و جهت غیرقابل تحرک کردن فلزات در خاک بسیار موثر است. لذا آب سطحی و زیرزمینی از آلودگی در امان می‌ماند (هنتی، ۲۰۰۰). از معایب عمده سازوکار تثبیت توسط گیاهان این است که آلودگی در خاک باقی می‌ماند و به علت کاربرد وسیع کودها، اصلاح خاک به پایش مستمر نیاز دارد. این سازوکار عمدتاً برای زمین‌هایی که تحت تأثیر فعالیت‌های معادن قرارگرفته‌اند مورد استفاده قرار گرفته است.

۲-۱۰- گیاه تربچه

تربچه با نام علمی *Rhaphanus sativus l* یک سبزی ریشه‌ای مهم و متعلق به خانواده چلیپائیان هست که به عنوان انباشت کننده عناصر سنگین مطرح هست. ارزش غذایی تربچه مربوط به میزان بالای فیبر های محلول رژیمی آن و ترکیبات آنتی اکسیدانی گلوکوزینولیدی وایزوتیوسیاناتی آن است. از نظر گیاه‌شناسی، قسمت خوراکی تربچه در انواع نقلی فقط از هیپوکوتیل و در انواع دراز و کشیده از ریشه و هیپوکوتیل تشکیل شده است. تربچه گیاهی روز بلند است که گرما نیز باعث گل دهی و تولید بذر در این گیاه می‌شود. تربچه را می‌توان در تمام طول سال کشت نمود، اما در هر فصل باید از ارقام خاصی استفاده کرد. اختلاف در رنگ و شکل ریشه تربچه در مراحل اولیه رشد شکل می‌گیرد. ارقام مختلف دارای ریشه‌های تخم‌مرغی، پهن، گرد و گلابی شکل و با رنگ‌های قرمز ـ سفید هستند. در بازار جهانی شکل و اندازه ریشه‌ها اهمیت بیشتری از رنگ آن‌ها دارد (هارا، ۲۰۰۹).

۲-۱۱- گیاه فلفل

فلفل قرمز با نام علمی *Capsicum annuum* و مترادف آن Capsicum frutescens از خانواده‌ی solanaceae (سیب‌زمینی) و با نام انگلیسی red pepper گیاهی است علفی، یک ساله، دارای ساقه‌ای بی کرک با ارتفاع ۶۰-۳۰ سانتی متر، برگ‌های منفرد، بیضوی، نوک‌تیز و عاری از کرک در قسمت تحتانی ساقه، گل‌ها به رنگ سفید یا سفید مایل به زرد است. میوه‌اش به شکل و اندازه‌های مختلف، شفاف، به رنگ‌های سبز، زرد، قرمز مایل به بنفش و محتوای دانه‌های فراوان مسطح و سفید رنگ است.

میوه در حالت تازه عاری از بو و دارای طعم تند ملایم هست ولی اگر رسیده شود، طعم بسیار تند و غیرقابل‌تحملی پیدا می‌کند (حاجی شریفی و همکاران، ۱۳۸۴؛ مظفریان و همکاران، ۱۳۸۶). فلفل از سبزی‌های فصل گرم هست و نسبت به سرما و یخبندان و دماهای کمتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد بسیار حساس است و دمای پایه برای رشد آن در حدود ۱۸ درجه سانتی‌گراد مناسب هست. نیاز آبی فلفل در حدود ۱۰۰۰-۴۰۰ میلی‌متر هست؛ به طوری که رطوبت کم باعث ریزش گل و رطوبت زیاد باعث ریزش برگ می‌شود. خاک مناسب برای کشت این گیاه خاک‌های لوم یا شنی است. همواره شدت نور کم باعث ریزش گل‌های فلفل می‌شود. به طور کلی با افزایش شدت نور در زمان گل دهی اگر کمبود رطوبت وجود نداشته باشد، عملکرد افزایش خواهد یافت (مایکل وینگ، ۱۳۸۷).

۲-۱۲- کودهای فسفره

فسفر بعد از نیتروژن مهم‌ترین عنصر مورد نیاز گیاهان و ریز جانداران هست و در کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی، ترکیبات انرژی‌زا و ساخت غشاءهای سلول و کارهای انتقال انرژی دخالت دارد، افزون بر آن فسفر در ساختار بیوشیمیایی فسفولیپیدها، نوکلئوتیدها و اسیدهای نوکلئیک نقشی ویژه دارد (ملکوتی و همایی، ۱۳۷۳). جهت جبران این کمبود سالیانه مقادیر زیادی کودهای شیمیایی فسفر دار به خاک اضافه می‌گردد. ولی به دلیل وارد شدن فسفر در واکنش‌های مختلف با اجزای خاک فراهمی این عنصر در خاک کاهش می‌یابد (عفیف و همکاران، ۱۹۹۳). نتیجه این امر راندمان جذب فسفر به وسیله گیاه است. تجمع فسفر در خاک علاوه بر این که از لحاظ اقتصادی و آلودگی محیط‌زیست امری نامطلوب تلقی می‌گردد، باعث به هم خوردن توازن بین عناصر غذایی نیز می‌گردد. محققان به منظور افزایش کارایی استفاده از فسفر، راه‌کارهایی ارائه نمودند که از آن جمله استفاده از منابع آلی فسفر دار هست. کودهای آلی قادرند که تحرک فسفر تجمع یافته در خاک را افزایش دهند (تور و همکاران، ۱۹۹۷). این تحرک به وسیله تبدیل شکل‌های نامحلول آهن، آلومینیوم و کلسیم به شکل‌های محلول فسفر و با مکانسیم های تولید اسیدهای آلی و کلات کننده‌ها در طی تجزیه کودهای آلی محقق

می‌گردد (آل- بارونی و السن، ۱۹۷۹). کاظمی پشت مساری و همکاران (۱۳۸۶) نیز گزارش کردند که تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه گیاه باقلا با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. گیاهان زراعی در سال بین ۱۰ تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر جذب می‌کنند. شواهدی در دست است که فسفر محلول خاک باید دائماً جایگزین شود و اگر مقدار کمی فسفر به صورت پایدار در اختیار گیاهان باشد به خوبی می‌توانند رشد کنند (لطف الهی و همکاران، ۱۳۸۳).

۲-۱۳- ترکیبات آلی

۲-۱۳-۱- مواد آلی

برگرداندن شاخ و برگ گیاهان و دادن کود سبز به زمین زراعی جذب فسفر به وسیله گیاه را که در فصل زراعی بعد کاشته می‌شود افزایش می‌دهد. به عبارت دیگر قابلیت جذب فسفر خاک زیادتر می‌شود. علل زیادی برای این اثر مواد آلی ارائه شده است که مهم‌ترین آن‌ها این است که ترکیبات و اسیدهای آلی و هوموسی در نتیجه پوسیدگی مواد آلی تولید می‌شوند در مقابل جذب نمودن فسفر نقش موثری دارند. مقدار گازکربنیک در افزایش قابلیت جذب فسفر در خاک‌های خنثی و حتی اسیدی نیز اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد که تا سال‌های اخیر مورد توجه قرار نگرفته بود. با آنکه اسیدکربنیک در محدوده وسیعی از pH می‌تواند در قابلیت جذب فسفر موثر باشد، با این حال بیش‌ترین اثر این اسید در حدود کمی اسیدی تا کمی قلیایی است. غیر از اسیدکربنیک، پوسیدگی مواد آلی تولید اسیدهای کمپلکس کننده‌ای مانند سیترات، اکسالات، تارتارات، مالات و مالونات می‌کند که قادرند با هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم ترکیب‌شده و مانع رسیدن آن‌ها به فسفات و رسوب آن شوند. علاوه بر این به نظر می‌رسد که این اسیدها قادرند فلزاتی را که قبلاً با فسفر تثبیت‌شده‌اند کمپلکس کرده و بنابراین فسفر آن را آزاد کنند (سالار دینی ۱۳۸۷).

۲-۱۳-۲- اسید هومیک

اسید هومیک، یک پلیمر طبیعی است که دارای مواضع H^+ مربوط به عامل‌های اسیدی کربوکسیل بنزوئیک و فنلی (مکان‌های تبادل کاتیونی) است (سردشتی و محمدیان مقدم، ۱۳۸۶). این اسید ماکرو مولکول پیچیده آلی هست که با پدیده‌های شیمیایی و باکتریایی در خاک تشکیل می‌شود و نتیجه نهایی عمل هومیفیکاسیون است. این اسید دارای وزن مولکولی نسبتاً بالای ۱۰۴ تا ۱۰۶ دالتون هست و ۵۰ درصد از وزن مولکولی آن را کربن تشکیل می‌دهد (سردشتی و علی دوست، ۱۳۸۶). اسید هیومیک می‌تواند به طور مستقیم اثرهای مثبتی بر رشد گیاه بگذارد. رشد قسمت هوایی و ریشه گیاه توسط اسید هومیک تحریک می‌شود، حجم ریشه را افزایش داده و باعث اثربخشی بهتر سیستم ریشه می‌گردد. اسید هومیک جذب نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر را توسط گیاه افزایش می‌دهد (سبزواری و همکاران، ۱۳۸۸). اسید هومیک اسیدی ضعیف است که باعث اصلاح ساختار فیزیکی خاک و بهبود بافت و ساختمان خاک شده و با تأثیری که بر روی موجودات زنده خاک می‌گذارد. نقش بسزایی در کاهش سمیت کودها و عناصر اضافی خاک و آب دارد. مواد هومیکی شامل مخلوطی از ترکیبات آلی مختلف هستند که از بقایایی گیاهان و حیوانات حاصل می‌شود.

۲-۱۳-۳- فلزات سنگین و اسید هومیک

فلزات سنگین از آلاینده‌های مهم‌اند که امروزه به طرق مختلف به خاک افزوده می‌شوند. ویژگی مهم فلزات سنگین در مقایسه با سایر آلاینده‌ها پایدار بودن آن‌ها و در نتیجه تجمع تدریجی آن‌ها در خاک است. مواد آلی خاک با تشکیل پیوند با فلزات سنگین زیست فراهمی، سمیت، تحرک و توزیع آن‌ها را در سیستم خاک و آب افزایش می‌دهند (تن، ۲۰۰۳؛ تیپینگ، ۲۰۰۴). مواد آلی خاک ترکیب نامتجانسی از انواع ترکیبات آلی با ساختار مولکولی متفاوت است. بنابراین برهم‌کنش اجزای مواد آلی با فلزات سنگین تابعی از ساختار مولکولی آن‌ها و خصوصیات فلزات سنگین است. اسیدهای هیومیک ماکرو مولکول‌های هتروژنی اند که از تجزیه‌ی شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی مواد آلی به وجود می‌آیند

(استیونسون، ۱۹۹۲). توپاراکایی و همکاران (۲۰۰۵) به این نتیجه رسیدند که pH محلول‌های حاوی کروم VI اثر مهمی بر روی فرایندهای فتوکاتالیستی دارد. احیای کروم VI در pHهای اسیدی بیشتر از بازی هست. طبق نتایج رموداکی و همکاران (۲۰۰۳) غلظت کروم III در pH بین ۵/۵ و ۵/۶ (بسته به غلظت اولیه) به صفر می‌رسد ولی در همین دامنه pH و در محلول‌های که اسیدهای آلی، آمینواسید ها و پروتئین‌ها حضور دارند نزدیک به ۱۰۰درصد آن باقی می‌ماند. نجیم و همکاران (۲۰۰۹) مطالعه‌ای در مورد حذف کروم شش ظرفیتی توسط پوست انار اصلاح‌شده انجام دادند. نتایج مطالعه آن‌ها بیانگر افزایش ظرفیت جذب و کاهش راندمان با افزایش غلظت اولیه کروم از ۱۰ به ۶۰ میلی‌گرم در لیتر بود. قانعیان و همکاران (۲۰۱۲) مطالعه‌ای تحت عنوان حذف کروم شش ظرفیتی توسط پودر گل گیاه تلخه انجام دادند. ساپوترو و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی که به بررسی اثر زمان بر روند جذب انجام دادند نشان داد که در کم تر از ۱۲۰ دقیقه جذب یون‌های کروم توسط جاذب به حالت تعادل می‌رسد. حذف کروم از آب‌های طبیعی ناشی از احیاء کروم VI به کروم III به وسیله ماده آلی مانند مواد هومیک هست. باریک‌بین و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی که روی پوست سبز بادام انجام دادند به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین حذف کروم شش ظرفیتی در pH برابر ۲ اتفاق افتاد. به دلیل محل‌های محدود در جاذب با افزایش غلظت اولیه کروم راندمان حذف کاهش‌یافته و با افزایش زمان تماس دما و مقدار جاذب راندمان افزایش می‌یابد پوست سبز بادام به طور موثری حذف کروم شش ظرفیتی را از فاضلاب صنعتی انجام می‌دهد.

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱- کلیات منطقه مورد مطالعه

۳-۱-۱- موقعیت جغرافیایی فرومد

اراضی منطقه که حاوی آب آلوده به کروم به مساحت ۵۰۴ هکتار در محدوده فرومد در شرق شهرستان میامی استان سمنان واقع گردیده است. این منطقه در محدوده جغرافیایی ۴۶۸۱۱۴ تا ۴۸۶۰۳۳ طول شرقی و ۴۰۴۷۹۵۵ تا ۴۷۳۷۴۲ عرض شمالی بر اساس سیستم UTM قرار گرفته است (شکل۳-۱). ارتفاع محدوده فوق به طور میانگین ۱۲۵۰متر بالاتر از سطح دریا بود. راه ارتباطی منطقه مورد مطالعه از جاده شاهرود- سبزوار بوده که پس از گذشتن از شهرستان میامی و پس از طی مسافتی حدود ۱۶۵ کیلومتر ابتدای جاده دهستان فرومد شروع‌شده و از جاده اصلی تا این دهستان جاده آسفالته به طول ۳۰ کیلومتر است. سایر راه‌های ارتباطی داخل حوزه از نوع خاکی است.

شکل ۳-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه حاوی آب آلوده

۳-۱-۲- فیزیوگرافی و پستی و بلندی

در منطقه دو واحد فیزیوگرافی به شرح زیر مشخص شده است

۳-۱-۲-۱- دشت‌های دامنه‌ای

شیب کلی در این اراضی از کم تا نسبتاً زیاد و شیب جانبی کم و اغلب بدون پستی و بلندی تا پستی و بلندی کم است.

۳-۱-۲-۲- آبرفت‌های بادبزنی شکل سنگریزه دار

شیب کلی در این اراضی زیاد و شیب جانبی نسبتاً زیاد و پستی و بلندی از کم تا نسبتاً زیاد متغیر است.

۳-۱-۳- آب و هوا

با توجه به اطلاعات هواشناسی گردآوری‌شده که برآورد پارامترهای هواشناسی برای منطقه مورد مطالعه می باشد متوسط بارندگی سالیانه معادل ۱۵۹/۴ میلی متر بوده که ۳۷/۵ درصد آن در بهار ، ۲/۹ درصد در تابستان ، ۱۵/۵ درصد در پائیز و ۴۴/۱ درصد در زمستان به وقوع می‌پیوندد، حداکثر مطلق درجه حرارت در تیر و مردادماه معادل ۴۲ درجه سانتی‌گراد و حداقل مطلق در دی ماه معادل ۱۱- درجه سانتی‌گراد و میانگین درجه حرارت سالیانه معادل ۲۱/۹ درجه سانتی‌گراد می باشد. زمین‌شناسی حوزه عموماً از سنگ‌های آذرین بوده و بخشی از آن در شمال غرب حوزه و همچنین بخش مرکزی دارای سنگ‌های رسوبی نیز می باشد در مجموع شازندها و واحدهای زمین‌شناسی آن از قدیم به جدید شامل واحدهای دیرباز، دونیت وهارزبورژیت سرپانتینیزه شده، ملانژای تکتونیکی، گابرو، بازالت آندزیتی و گدازه‌های بالشی زیردریایی، سنگ آهک گلوبوترانکانای سفید تا صورتی، تناوب ماسه‌سنگ سفید متمایل به صورتی وتوف وتوفیت، برش‌های ولکانیکی همراه با توف و بازالت آندزیتی قهوه‌ای تیره تا روشن، برش‌های ولکانیکی همراه با آندزیت، کنگلومرای فاقد جورشدگی کرم رنگ روشن، ماسه‌سنگ وکنگلومرای خاکستری متمایل به کرم رنگ روشن، کنگلومرای فاقد جور شدگی غیر متراکم با رنگ کرم متمایل به خاکستری، مخروط افکنه های همراه با تراسهای قدیمی بلند، مخروط افکنه های جوان همراه با سطوح تراسی و در نهایت آبرفت‌های بستر رودخانه فصلی می باشد. از نظر

تکتونیکی بطورکلی و دریک مقیاس وسیع منطقه عموماً در زون ایران مرکزی واقع‌شده و یقیناً از حوادث و فرآیندهای این زون تأثیرپذیر شده است که وجود سنگ‌های خردشده و تداخل سازندهای رسوبی و آذرین و گسل‌های مختلف با سازوکارهای گوناگون و با روند عمومی غالب شمال شرق- جنوب غرب نیز بیانگر موضوع است. از نظر لرزه‌خیزی و سازوکار آن نیز به لرزه‌خیزی کلی این زونهای ذکرشده وابسته بوده و دارای زمین‌لرزه‌های فراوان اما غالباً با عمق کانونی زیاد (زلزله‌های عمیق) می باشد.

۳-۱-۴- پوشش گیاهی

بنا بر نتایج مطالعات انجام‌شده در این حوزه عمده کاربری‌های اراضی مورد نظر شامل مرتع، صخره و توده سنگی، کشاورزی و معدن می باشد. از نظر مساحت به ترتیب اراضی مرتعی، صخره‌ای و سنگی، کشاورزی و سپس معدن بیش‌ترین و کمترین سطح را به خود اختصاص می‌دهد. از مجموعه گیاهان بومی موجود در حوزه، سهم گونه‌های خانواده کاسنی (Compositae) با تعداد ۷ جنس و ۵ گونه ؛ خانواده Cenopodiceae با تعداد ۶ جنس و ۴ گونه؛ خانواده Asteraceae با تعداد ۵ جنس و ۳ گونه و خانواده Geramineae و Labiateae با تعداد ۴ جنس و ۴ گونه جز خانواده‌های گیاهی غالب در سطح حوزه می‌باشند. از مجموع گونه‌های موجود حدود ۳۴/۶ درصد آن‌ها دارای شکل رویشی فورب (علفی یا پهن‌برگ علفی)؛ حدود ۷/۷ درصد دارای فرم گراس یا گرامینه؛ حدود ۵۷/۷ درصد به صورت فرم بوته‌ای است. در بین محصولات زراعی به ترتیب فلفل، غلات، جالیز و علوفه و در بین محصولات باغی نیز به ترتیب انار، پسته، انگور و درختان هسته‌دار از اهمیت بیشتری برخوردارند.

۳-۱-۵- منابع آب

در منطقه مورد مطالعه رودخانه دائمی وجود ندارد و نحوه استحصال آب از زیرزمینی صورت می‌گیرد، که بخش اعظم برداشت‌ها در محل مورد مطالعه از قنوات منطقه است.

۳-۲- زمان و محل آزمایش

این تحقیق در شهرستان شاهرود واقع در استان سمنان در سال زراعی ۹۳ به صورت گلدانی در شرایط گلخانه‌ای در دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود انجام شد.

۳-۳- خصوصیات خاک گلدان

نمونه‌های خاک گلدان از زمین‌های دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود تهیه شد. اندازه‌گیری کربن آلی خاک به روش واکلی و بلاک (آلیسون،۱۹۶۵)، اسیدیته خاک با (pHمتر) بر روی گل اشباع، هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه هدایت سنج بر روی عصاره گل اشباع، نیتروژن خاک به روش کجلدال (پیج و همکاران، ۱۹۸۲)، فسفر قابل‌جذب (اولسن، ۱۹۵۴) و بافت به روش هیدرومتری (گی و باودر، ۱۹۷۹) انجام گرفت. نتایج حاصل از تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۳-۱ نشان داده شده است.

جدول۳-۱ نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

رس (درصد)	۱۹
سیلت (درصد)	۳۸
شن (درصد)	۴۳
فسفر قابل‌جذب ($mg.kg^{-1}$)	۱۴/۳
ماده آلی (درصد)	۰/۹۱
نیتروژن (درصد)	۰/۰۴۵
هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	۰/۹۷
اسیدیته	۷/۷۸
بافت خاک	لوم

۳-۴- خصوصیات آب مورد آزمایش

آب آلوده به کروم از منطقه فرومد تهیه گردید. فرومد در شرق شهرستان میامی استان سمنان واقع گردیده است که برخی چاه‌های آن حاوی برخی از عناصر سنگین به ویژه کروم (به دلیل واقع‌شدن معدن کرومیت در منطقه فرومد و آلوده بودن آب آبیاری مزارع کشاورزی به کروم) هست (جدول ۳-۲).

جدول ۳-۲ نتایج خصوصیات کیفی آب مورد استفاده برای آبیاری

EC	۰/۸۱	$dS.m^{-1}$
pH	۷/٦	-
HCO_3^-	۳	$meq.l^{-1}$
Cl^-	٤/۸	$meq.l^{-1}$
SO_4^{-2}	۰/۸	$meq.l^{-1}$
Na^+	۲/۷	$meq.l^{-1}$
$Ca^{+2}+Mg^{+2}$	٤/۹	$meq.l^{-1}$
SAR	۱/۸	-
Cr (VI)	۰/۲٥	$mg.l^{-1}$

۳-۵- طرح آزمایشی و تیمارهای مورد مطالعه

این آزمایش در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۹ تیمار در ۳ تکرار انجام شد. بدین ترتیب, تیمارها شامل شاهد (C)، کود دی آمونیوم فسفات (AP)، کود سوپر فسفات تریپل (TP)، پودر یونجه (OM)، اسید هومیک (HA)، کود دی آمونیوم فسفات + پودر یونجه (AP+OM)، کود دی آمونیوم فسفات + اسید هومیک (AP+HA)، سوپر فسفات تریپل + اسیدهومیک (TP+HA)، سوپر فسفات تریپل + پودر یونجه (TP+OM) بودند.

۳-۶- آماده سازی خاک برای آزمایش گلخانه‌ای

نمونه‌برداری خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتری از مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود برداشته شد و پس از عبور دادن از الک ۰/۵ سانتی متر به گلدان‌های پلاستیکی با گنجایش ۵ کیلوگرم منتقل شد. بدین منظور به هر یک از تیمارها مقادیر۱۵۰ کیلوگرم فسفر به صورت دی آمونیوم فسفات و یا سوپر فسفات تریپل در هکتار و ۵ کیلوگرم اسید هومیک در هکتار، ۱۰ گرم پودر یونجه در کیلوگرم خاک (۴۵ تن در هکتار) قبل از کاشت به گلدان‌ها اضافه شد.

۳-۷- عملیات کاشت

در هر گلدان ۳ عدد نشاء فلفل و برای تربچه ۷ عدد بذر تربچه کشت گردید و بعد از دو هفته تعداد گیاهان فلفل و تربچه به ترتیب به ۲ و ۵ بوته کاهش یافت.

۳-۸- نحوه آبیاری و تعیین ظرفیت زراعی خاک گلدان‌ها

آبیاری گلدان‌ها با آب آلوده به کروم پس از ۱ هفته از کشت گیاه صورت گرفت. تعیین مقدار آب مورد نیاز در آبیاری گلدان‌ها در آزمایش گلخانه‌ای از طریق توزین گلدان‌ها کنترل شد و همواره سعی شد رطوبت خاک از طریق توزین گلدان ها در حد ۷۰ درصد ظرفیت زراعی حفظ شود.

۳-۹- نمونه‌گیری گیاهی

بعد از ۱۱۰روز از کشت فلفل و ۴۵ روز از کشت تربچه، بخش های ساقه و ریشه برداشت شد. با شستشوی نمونه‌ها, قسمت ریشه از اندام‌های هوایی جدا و با قرار دادن در پاکت به آزمایشگاه منتقل شد. وزن تر ریشه و اندام‌های هوایی با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد و نمونه‌ها توسط دستگاه آون در دمای ۷۰°c به مدت ۷۲ ساعت خشک و وزن خشک آن‌ها تعیین شد.

شکل ۳-۱ کشت گلدانی گیاه تربچه و فلفل

۳-۱۰- اندازه‌گیری pH ، EC و فسفر محلول

به منظور اندازه‌گیری pH، EC و فسفر محلول از سوسپانسیون۱ به ۲/۵ خاک به آب مقطر استفاده شد. جهت تعیین فسفر محلول خاک از روش رنگ سنجی، کلرید قلع استفاده گردید. مقدار فسفر بعد از ده دقیقه با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۵۰ نانومتر قرائت گردید.

۳-۱۱- اندازه‌گیری درصد فسفر کل

در این روش نمونه‌ها پس از آماده سازی، در مخلوط اسید نیتریک و پرکلریک اسید هضم شدند. سپس در عصاره حاصله، میزان فسفر با روش رنگ سنجی، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد(اولسن، ۱۹۸۲).

۳-۱۲- اندازه‌گیری کروم VI در گیاه (ریشه و اندام هوایی)

پس از آسیاب نمودن نمونه‌های گیاهی, ۰/۵ گرم از ماده خشک با ۱ سی‌سی اسید پرکلریک + ۶ سی‌سی اسید نیتریک مخلوط نموده و به مدت یک شب گذاشته شد. سپس به مدت چهار ساعت در دمای ۱۵۰درجه سانتی‌گراد، یک ساعت در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و دو ساعت در دمای ۲۲۰

درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد تا عمل هضم به طور کامل انجام گیرد. نمونه هضم شده با آب مقطر به حجم ۱۰۰ سی‌سی رسانده شد (میلر، ۱۹۸۲). ۹۵ سی‌سی عصاره با ۲ سی‌سی DPC[1]، (۰/۲۵g از دی فنیل کار بازید به ۵۰ سی‌سی استون اضافه شد) مخلوط و به حجم ۱۰۰ سی‌سی رسانده شد. بعد از ده دقیقه غلظت کروم VI با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۴۰ نانومتر قرائت گردید (جیمز و بارتلت، ۱۹۹۶). برای تهیه منحنی استاندارد کروم VI از محلول های استاندارد دی کرومات پتاسیم ($K_2Cr_2O_7$) استفاده شد.

۳-۱۳- اندازه‌گیری کروم VI در خاک

۵ گرم نمونه خاک خشک با ۵۰ میلی‌لیتر از KH_2PO_4 ۰/۰۰۵ مولار و K_2HPO_4 ۰/۰۵ مولار مخلوط نموده و نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در شیکر با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه تکان داده شد. سپس به مدت ۱۵ دقیقه و با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شده و از کاغذ صافی عبور داده شد. pH محلول با اسید سولفوریک (۱۰درصد) به حدود ۲/۵-۱/۵ تنظیم شد. مقدار کروم VI با محلول دی فنیل کاربازید استخراج و به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۴۰ نانومتر قرائت شد (جیمز و بارتلت، ۱۹۹۶).

۳-۱۴- اندازه‌گیری کلروفیل برگ

میزان کلروفیل برگ با دستگاه اسپد مدل Minolta 502 در مرحله قبل از گل دهی اندازه‌گیری شد به منظور استخراج و سنجش میزان کلروفیل مطابق روش لیچنتار (۱۹۸۷) از هر گلدان ۰/۲ گرم برگ بریده و با ۵ میلی لیتر استن خوب ساییده شد. عصاره به دست آمده بعد از عبور از کاغذ صافی به لوله آزمایش (فالکون) منتقل شد. سانترفیوژ به مدت ۵ دقیقه با ۳۰۰۰ دور در دقیقه انجام شد. محلول شفاف بالایی به سلول‌ها ویژه (سل) منتقل گردید جذب آن در طول موج‌های ۶۶۳/۳ و ۶۴۶/۸ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر جذبی خوانده شد. از استن ۸۰ درصد به عنوان شاهد

[1] (1,5- Diphenyl carbazide)

استفاده شد. برای به دست آوردن میزان کلروفیل کل و کلروفیل های a و b از فرمول‌های زیر استفاده شد.

Chlorophyll a = (۱۹/۳ * A۶۶۳ – ۰/۸۶ * A۶۴۵) V/۱۰۰W

Chlorophyll b = (۱۹/۳ * A۶۴۵ – ۳/۶ * A۶۶۳) V/۱۰۰W

V =حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

A =جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر

W =وزن تر نمونه بر حسب گرم

۳-۱۵- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

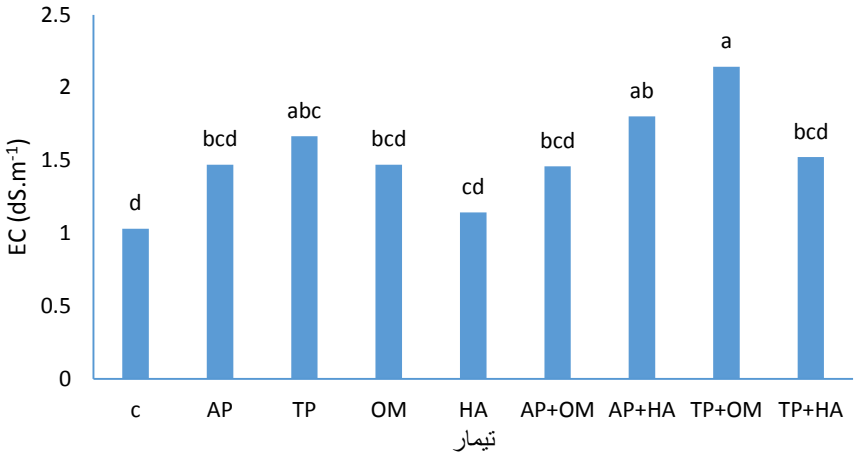
تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS وMSTAT-C انجام شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- هدایت الکتریکی خاک (EC)

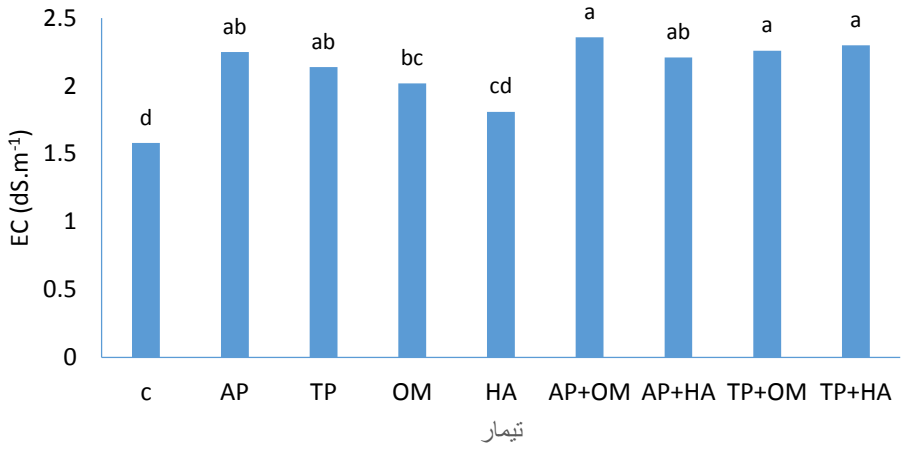
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد بین تیمارها از نظر مقدار EC خاک اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد در گیاه تربچه و در سطح ۱ درصد در گیاه فلفل وجود داشت (جدول پیوست ۳ و ۴). در بین تیمارها کود سوپرفسفات تریپل (TP) به تنهایی و به همراه پودر یونجه (TP+OM) و نیز کود دی آمونیوم فسفات به همراه مواد آلی (AP+HA) سبب افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی خاک نسبت به شاهد (C) شدند. کمترین مقدار EC خاک مربوط به تیمار شاهد (C) و بیش‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار TP+OM بود که هدایت الکتریکی خاک را نسبت به شاهد ۲ برابر افزایش داد (شکل ۴-۱).



* شاهد (C)، کود دی آمونیوم فسفات (AP)، کود سوپر فسفات تریپل (TP)، پودر یونجه (OM)، اسید هومیک (HA)، کود دی آمونیوم فسفات + پودر یونجه (AP+OM)، کود دی آمونیوم فسفات + اسید هومیک (AP+HA)، سوپر فسفات تریپل + اسیدهومیک (TP+HA)، سوپر فسفات تریپل + پودر یونجه (TP+OM)

شکل۴-۱ تأثیر تیمارهای مختلف بر EC خاک تربچه

در گیاه فلفل، معمولاً تیمارهایی که از کود فسفره در آنها استفاده شد مقدار EC بالاتری را نسبت به دیگر تیمارها نشان دادند. در بین تیمارها کاربرد ترکیبی کودهای فسفر و مواد آلی (اسید هومیک، پودر یونجه) سبب افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی خاک نسبت به شاهد (C) شدند (شکل ۴-۲).



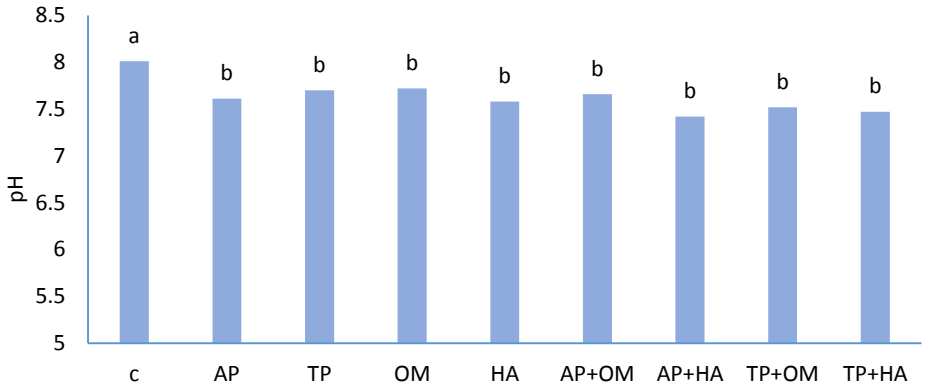
شکل۴-۲ تأثیر تیمارهای مختلف بر EC خاک فلفل

کمترین مقدار EC خاک مربوط به تیمار HA و C و بیش‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار AP+OM بود که هدایت الکتریکی خاک را نسبت به تیمار شاهد ۴۹/۳۶ درصد افزایش داد (شکل ۰-۲). احتمالاً کاربرد کودهای شیمیایی به دلیل حلالیت زیاد, باعث افزایش EC خاک در مقایسه با تیمار شاهد شدند و تأثیر کود دی آمونیوم فسفات نسبت به سوپرفسفات تریپل در این خصوص بیشتر بود. تجزیه مواد آلی نیز سبب آزاد شدن عناصر موجود در آن شده و به تدریج سبب افزایش هدایت الکتریکی خاک می‌گردد. پروتون‌های آزادشده در طول اکسیداسیون آمونیوم با کاتیون‌هایی همچون کلسیم و پتاسیم مبادله می‌شوند، که به موجب آن EC خاک در تیمار مربوطه افزایش می‌یابد. دلیل احتمالی دیگر اینکه افزودن کودهای آلی و آمونیومی با کاهش pH خاک ممکن است حلالیت برخی ترکیبات معدنی را افزایش داده و در نتیجه EC خاک را افزایش دهند (عباسپور و همکاران، ۲۰۰۴).

۴-۲- pH خاک

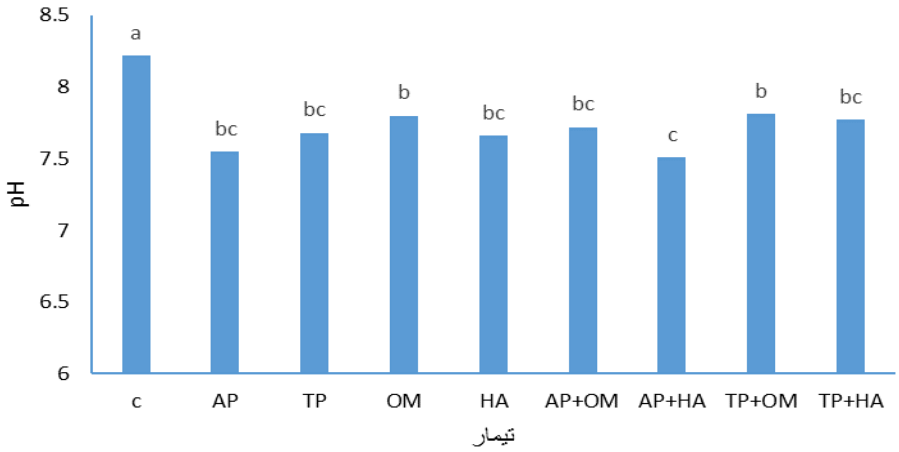
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد بین تیمارها از نظر مقدار pH خاک اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد در گیاه تربچه و فلفل وجود دارد (جدول پیوست ۳و۴). نتایج مقایسه میانگین pH خاک نشان داد که در گیاه تربچه همه تیمارها نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند و تأثیر تیمارهای

حاوی کودهای فسفره و ترکیبات آلی در کاهش pH خاک محسوس تر بود (شکل ۴-۳). تبدیل آمونیوم به نیترات در فرایند نیتریفیکاسیون از عوامل کاهش pH خاک‌ها در اثر کاربرد کودهای آمونیومی هست.



شکل۴-۳ تأثیر تیمارهای مختلف بر pH خاک گیاه تربچه

در گیاه فلفل نتایج مقایسه میانگین pH خاک نشان داد که همه تیمارها نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند که pH را نسبت به تیمار شاهد کاهش دادند. تیمار AP+HA بیشترین کاهش را نسبت به دیگر تیمار در مقایسه با تیمار C به میزان ۸/۶۳ درصد نشان داد (شکل ۴-۴).

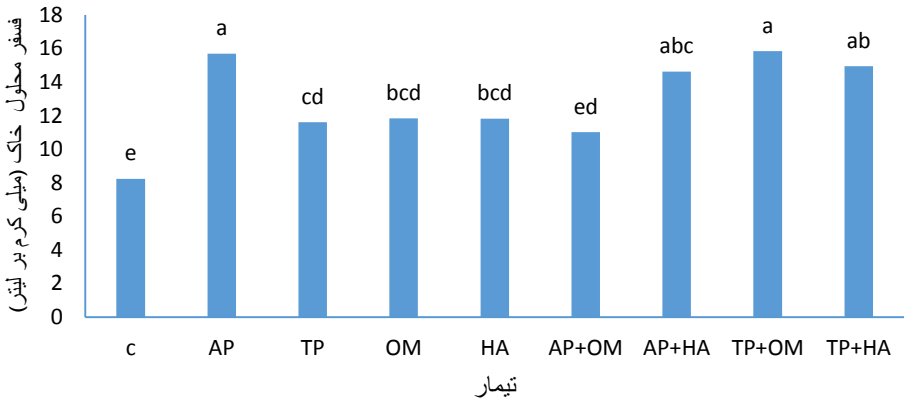


شکل۴-۴ تأثیر تیمارهای مختلف بر pH خاک (گیاه فلفل)

تجزیه ترکیبات آلی و تولید اسیدهای آلی و اسیدکربنیک نیز سبب کاهش pH خاک در تیمارهای حاوی ترکیبات آلی می‌گردد. کاشم و سینگ (۲۰۰۱) در تحقیقات خود دریافتند که دی اکسید کربن حاصل از فرایند تجزیه مواد آلی با آب، اسیدکربنیک تولید می‌نماید. آمونیاک نیز یکی دیگر از ترکیباتی است که با اکسید شدن در فرایند نیترات سازی، پروتون آزادکرده و موجبات کاهش pH را فراهم می‌نماید. عباسپور و همکاران (۲۰۰۴) در تحقیقات خود دریافتند که تجزیه بقایای گیاهی در طول زمان و تولید ترکیبات اسید زا معمولاً باعث کاهش pH خاک‌های آهکی می‌گردد.

۴-۳- فسفر محلول خاک

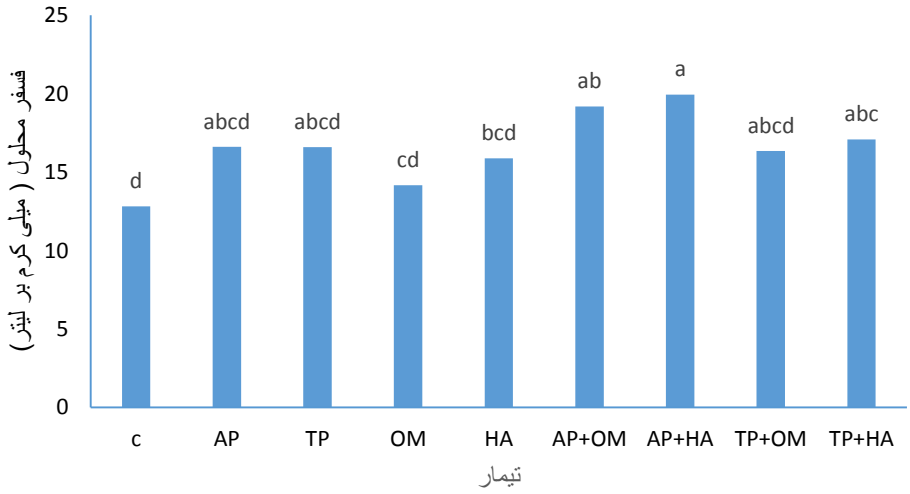
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد بین تیمارها در فسفر محلول خاک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد در گیاه تربچه و ۵ درصد در گیاه فلفل وجود داشت (جدول پیوست ۳و۴). بیش‌ترین مقدار فسفر محلول خاک در گیاه تربچه مربوط به تیمار AP و کمترین میزان فسفر محلول خاک مربوط به تیمار C بود (شکل ۴-۵).



شکل۴-۵ تأثیر تیمارهای مختلف بر فسفر محلول خاک در گیاه تربچه

تیمارهای AP،TP+OM, AP+HA و TP+HA از نظر آماری در یک گروه قرار داشتند که نسبت به تیمار C اختلاف معنی‌داری داشتند (شکل ۰-۵). طبیعی است که افزودن کودهای فسفره سبب افزایش فسفر محلول خاک می‌گردد. اما دلیل دیگر بالا رفتن فسفر محلول خاک در تیمار AP به خاطر

وجود آمونیوم است که در اثر فرایند نیتریفیکاسیون پروتون تولید نموده و مقدمات کاهش pH خاک و در نتیجه افزایش فسفر محلول خاک را فراهم می‌نماید. کاهش pH خاک در تیمارهای حاوی فسفر در اشکال ۴-۳ و ۴-۴ نشان داده شده است. بیغم (۱۹۹۶) در تحقیقات خود به این نتیجه رسید که کاربرد ترکیبات فسفری به خصوص کودهای مبتنی بر آمونیوم می‌توانند به طرز بالقوه ای pH خاک را اسیدی کنند. به دلیل اینکه در خاک‌های با pH بالا آمونیوم به آسانی به نیترات، اکسیده می‌شود بنابراین پروتون‌هایی را آزاد می‌کند. به هر حال تیمارهایی که حاوی کود سوپر فسفات تریپل, بقایای گیاهی و اسید هومیک بودند نیز تا حدودی توانستند فسفر محلول خاک را افزایش دهند. بایستی یادآور شد که تجزیه مواد آلی سبب آزاد شدن فسفر موجود در آن شده و بدین طریق نیز سبب افزایش فسفر محلول خاک می‌گردد. در کل, همه تیمارها نسبت به تیمار C فسفر محلول خاک را افزایش دادند که بیش‌ترین مقدار افزایش فسفر محلول خاک مربوط به تیمار AP به میزان ۹۲/۵۳ درصد و کمترین مقدار افزایش مربوط به تیمار AP+OM به میزان ۳۳/۸۹ درصد نسبت به تیمار C بوده است (شکل ۴-۵). در گیاه فلفل بیش‌ترین مقدار فسفر محلول خاک مربوط به تیمار AP+HA و کمترین میزان فسفر محلول خاک مربوط به تیمار C بود (شکل ۴-۶).



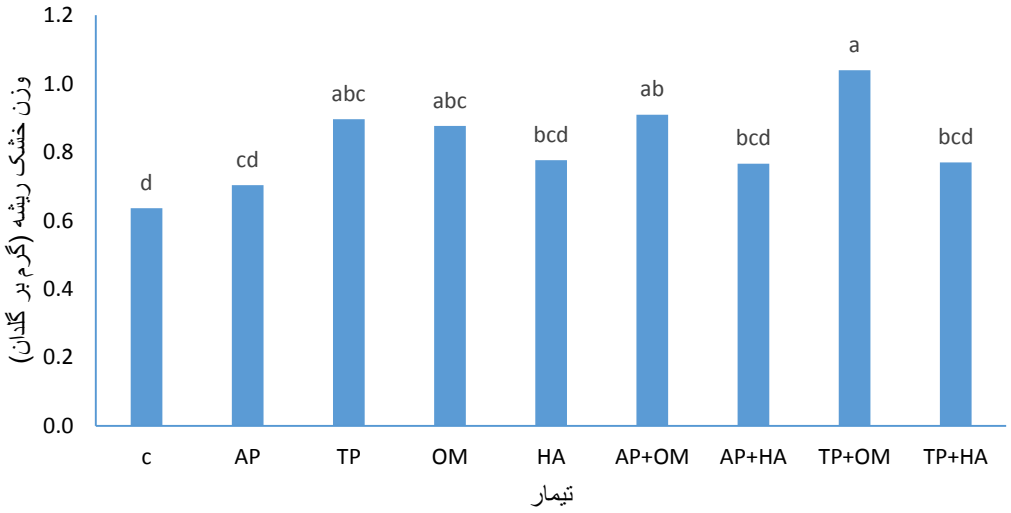
شکل۴-۶ تأثیر تیمارهای مختلف بر فسفر محلول خاک در گیاه فلفل

در کل, همه تیمارها نسبت به تیمار C فسفر محلول خاک را افزایش دادند اما تنها ۳ تیمار AP+HA، AP+OM و TP+HA نسبت به شاهد معنی دار بود، بیش‌ترین مقدار افزایش فسفر محلول خاک به ترتیب مربوط به تیمار AP+HA و AP+OM به میزان ۵۱/۵ و ۴۹/۴ درصد و کمترین مقدار افزایش مربوط به تیمار OM به میزان ۱۴/۵ درصد نسبت به تیمار C بوده است (شکل ۴-۶). میزان فسفر محلول در خاک‌های تیمار شده با ماده آلی به صورت معنی‌داری بیشتر بود، که احتمالاً ماده آلی سبب افزایش فراهمی فسفر در خاک شد. تجزیه مواد آلی نیز سبب تولید ترکیبات آلی اسیدی و نیز اسیدکربنیک نموده که بدین طریق سبب کاهش pH خاک (دو شکل) و بالطبع افزایش غلظت فسفر محلول خاک می‌گردد. در تیمارهایی که از کودهای فسفره (دی آمونیوم فسفات و سوپر فسفات تریپل) و ترکیبات آلی (اسید هومیک و پودر یونجه) استفاده شد pH خاک در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت که نتیجه آن افزایش حلالیت فسفر محلول خاک هست. احتمالاً اثر مواد آلی، بقایایی گیاهی (پودر یونجه) که در نتیجه پوسیدگی مواد آلی باعث تولید ترکیبات و اسیدهای آلی و هوموسی می‌شوند که در جذب نمودن فسفر نقش موثری داشت. نتایج مو خرجی و زیمرمان (۲۰۱۳) نیز موید همین مطلب است. آن‌ها بیان کردند که تیمار فسفر و بیوچار باعث افزایش معنی‌داری در فسفر محلول خاک نسبت به شاهد می‌شود که عامل اصلی این افزایش به دلیل حضور کود فسفر است. بایستی یادآور شد که تجزیه مواد آلی سبب آزاد شدن فسفر موجود در آن شده و بدین طریق نیز سبب افزایش فسفر محلول خاک می‌گردد.

۴-۴- وزن خشک ریشه و اندام هوایی

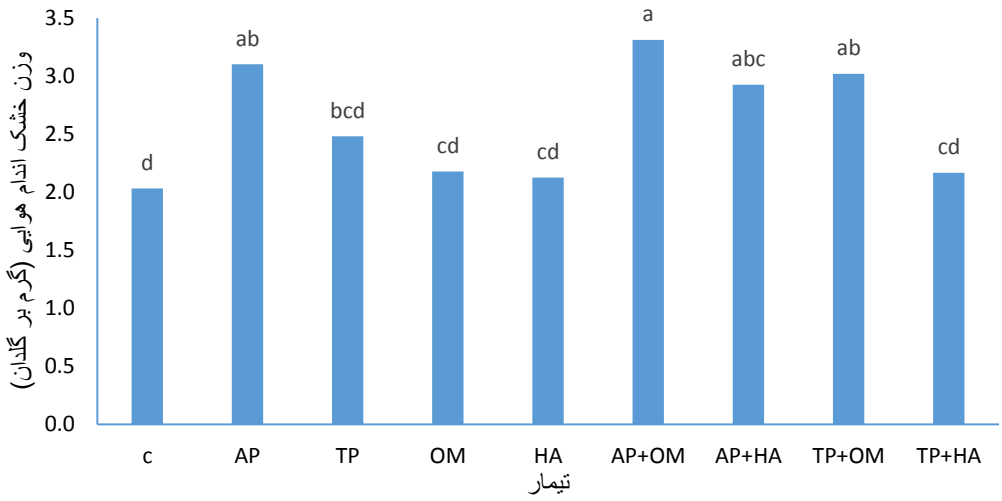
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه در سطح ۵ درصد در گیاه فلفل وجود داشت اما در گیاه تربچه در صفات مذکور اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد (جدول پیوست ۱و ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد

بیش‌ترین میزان وزن خشک ریشه گیاه فلفل مربوط به تیمار TP+OM بود که با تیمارهای OM، TP و AP+OM در یک گروه آماری قرار داشتند (شکل ۴-۷).



شکل۴-۷ اثر تیمارها بر وزن خشک ریشه گیاه فلفل

در گیاه فلفل، تیمارهایی که از کودهای فسفره شامل دی آمونیوم فسفات و سوپر فسفات تریپل و همچنین کاربرد ترکیبی این کودها با پودر یونجه استفاده شد وزن خشک اندام هوایی سطح بالاتری را نسبت به دیگر تیمارها نشان داد (شکل ۴-۷). به طور کلی همه تیمارها نسبت به شاهد سطح بالاتری از وزن خشک اندام هوایی گیاه فلفل را نشان دادند. بیش‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار AP+OM بود که وزن خشک اندام هوایی را نسبت به شاهد به میزان ۷۷ درصد افزایش داد (شکل ۴-۸).

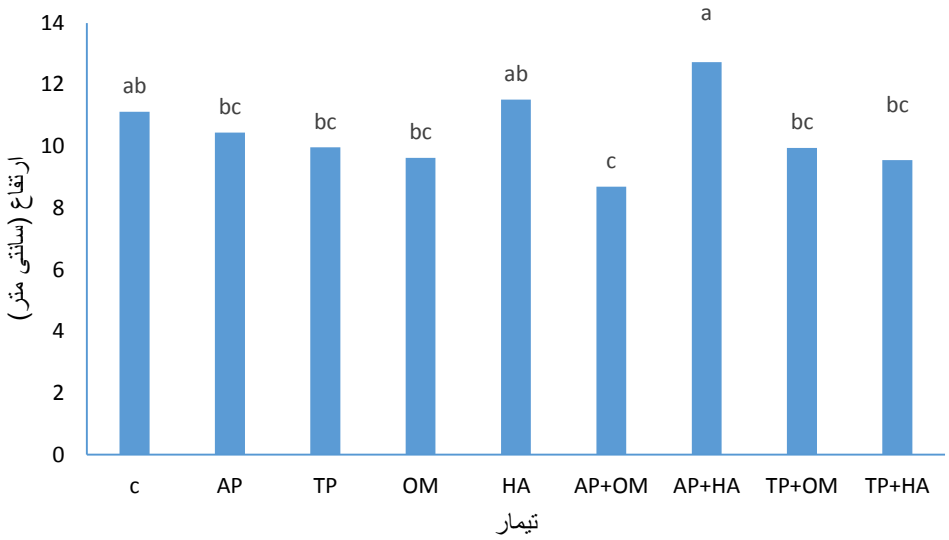


شکل۴-۸ اثر تیمارها بر وزن خشک اندام هوایی گیاه فلفل

تحقیقات متعددی نشان داده است وقتی گیاهان در معرض غلظت‌های بالای فلزات سنگین قرار می‌گیرند وزن تر و خشک گیاهان کاهش می‌یابد (پیروز، ۹۱). کاربرد این کودها و پودر یونجه علاوه بر رشد بهتر گیاه از طریق بهبود حاصلخیزی خاک باعث تثبیت کروم در خاک از طریق اثر رقابتی در جذب توسط گیاه شده و بدین طریق وزن خشک ریشه و اندام هوایی در این تیمارها افرایش می‌یابد.

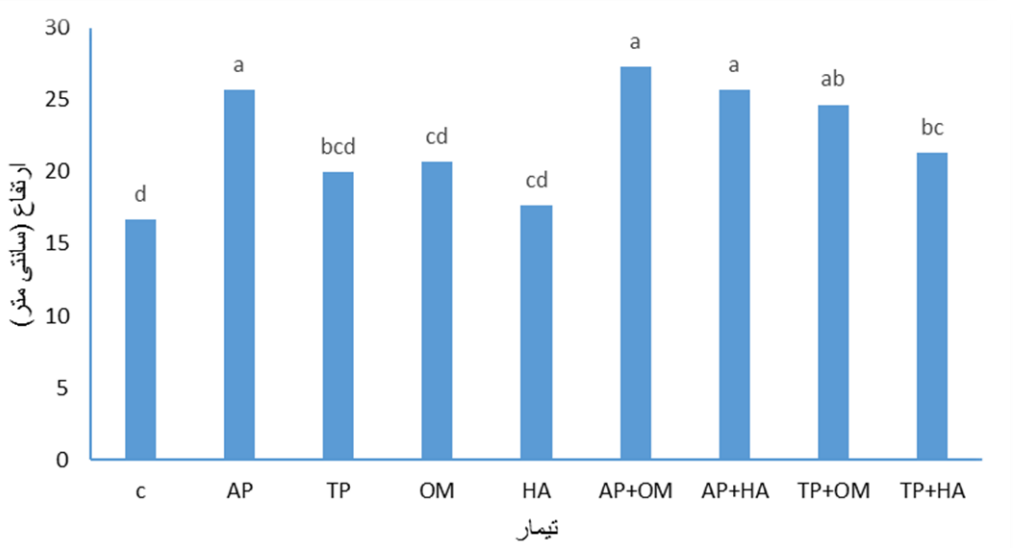
۴-۵- ارتفاع

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد بین تیمارها از نظر صفت ارتفاع گیاه اختلاف معنی‌داری در تربچه و فلفل به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد وجود داشت (جدول پیوست ۱و ۲).



شکل۴-۹ اثر تیمارها بر ارتفاع گیاه تربچه

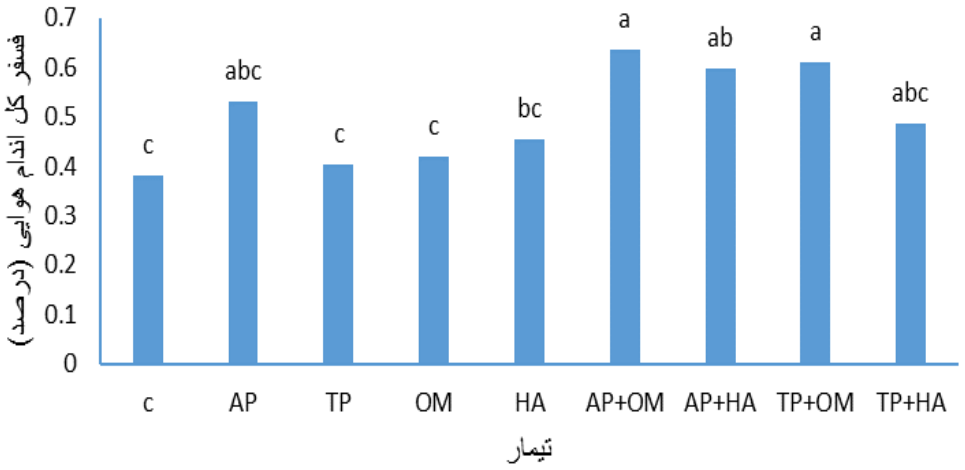
در بین تیمارهایی که دی آمونیوم فسفات استفاده شده بود بیش‌ترین افزایش ارتفاع گیاه تربچه مربوط به تیمار AP+HA به میزان ۱۴/۴۷ درصد نسبت به تیمار C بود (شکل ۴-۹). تیمار AP+OM باعث کاهش ارتفاع گیاه تربچه به میزان ۲۱/۷ درصد نسبت به تیمار C گردید (شکل ۴-۹). افزودن پودر یونجه احتمالاً به دلیل افزایش شدید فعالیت میکروبی در خاک سبب رقابت با ریشه گیاهان در جذب عناصر غذایی گردیده در نتیجه رشد گیاهان در تیمارهای حاوی پودر یونجه کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ارتفاع گیاه فلفل مربوط به تیمار AP+OM نسبت به دیگر تیمارها سطح بالاتری را دارد. تیمار AP+OM نسبت به تیمار C ارتفاع گیاه فلفل را به میزان ۶۳/۹۴ درصد افزایش داد (شکل ۴-۱۰).



شکل۴-۱۰ اثر تیمارها بر ارتفاع گیاه فلفل

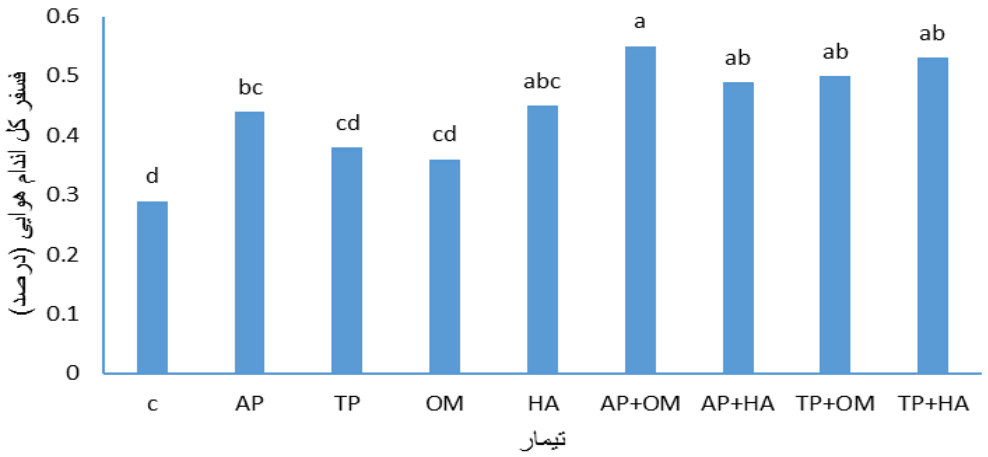
۴-۶- فسفر کل اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد بین تیمارها از نظر مقدار فسفر کل اندام هوایی در گیاه تربچه و فلفل اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود داشت (جدول پیوست ۱ و ۲). همه تیمارها نسبت به شاهد میزان بالاتری از مقدار فسفر کل را در گیاه تربچه نشان دادند که بیش‌ترین مقدار مربوط به تیمارهای AP+OM و TP+OM بود (شکل ۴-۱۱). تیمارهای که از کودهای فسفره در ترکیب با (اسید هومیک و پودر یونجه) استفاده شد نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان دادند. تیمارهایی که به تنهایی استفاده شد نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند. بیش‌ترین مقدار افزایش فسفر کل در اندام هوایی مربوط به تیمار AP+OM به میزان ۶۵/۷۸ درصد و کمترین مقدار افزایش تیمار TP به میزان ۵/۲۶ درصد در مقایسه با تیمار C در گیاه تربچه بود (شکل ۴-۱۱).



شکل۴-۱۱ تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت فسفر کل اندام‌های هوایی گیاه تربچه

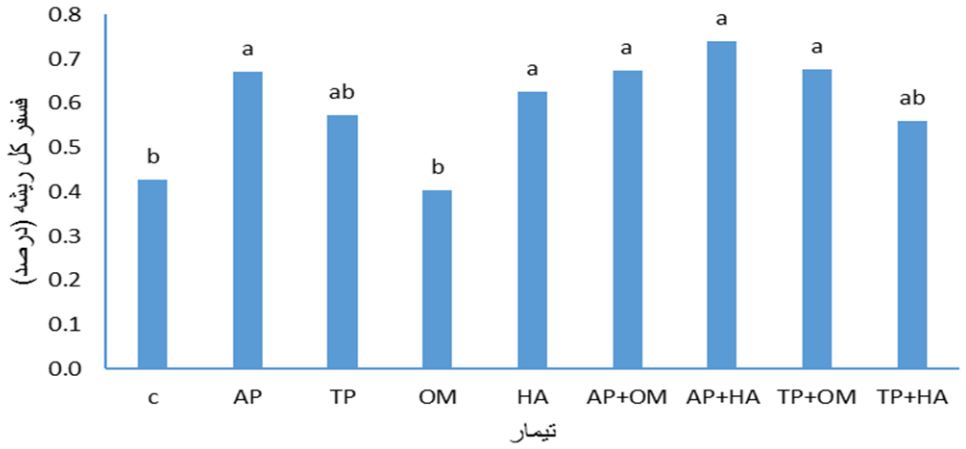
در کشت فلفل همه تیمارها نسبت به شاهد میزان بالاتری از مقدار فسفر کل اندام هوایی را نشان دادند که بیش‌ترین مقدار مربوط به تیمارهای AP+OM بود. تیمارهایی که از کودهای فسفره در ترکیب با اسید هومیک و یا پودر یونجه استفاده شد نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان دادند (شکل ۴-۱۲). برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که افزودن ماده آلی به خاک باعث افزایش مقدار شکل‌های فراهم تر فسفر در خاک می‌شود (میناکسی، ۲۰۱۰). در گیاه فلفل بیش‌ترین مقدار افزایش فسفر کل در اندام هوایی مربوط به تیمار AP+OM به میزان ۸۹/۶۵ درصد و کمترین مقدار افزایش تیمار OM به میزان ۲۴/۱۳ درصد در مقایسه با تیمار C بود (شکل ۴-۱۲).



شکل۴-۱۲ تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت فسفر کل اندام‌های هوایی گیاه فلفل

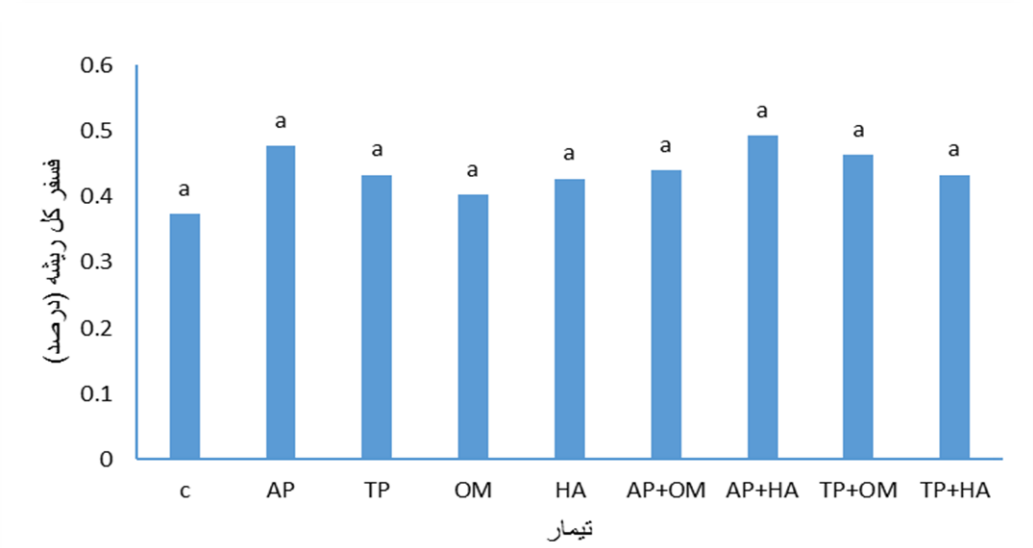
۴-۷- فسفر کل در ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد بین تیمارها از نظر مقدار فسفر کل ریشه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد در گیاه تربچه وجود داشت اما هیچ اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در گیاه فلفل مشاهده نشد (جدول پیوست ۱و ۲). همه تیمارها به جز تیمار OM نسبت به تیمار شاهد C میزان بالاتری از فسفر کل ریشه گیاه تربچه را نشان داد (شکل ۴-۱۳).



شکل ۴-۱۳ تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت فسفر کل ریشه گیاه تربچه

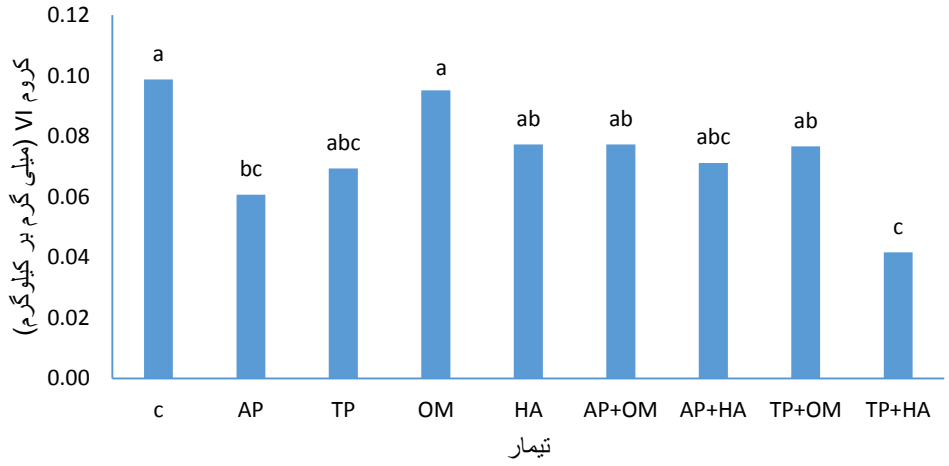
در تیمارهایی که از کودهای سوپر فسفات تریپل و دی آمونیوم فسفات به صورت ترکیب با اسید هومیک و پودر یونجه استفاده شد سطح بالاتری از فسفر کل ریشه را شامل شد (شکل ۴-۱۳). والن و چانگ (۲۰۰۲) در آزمایش‌های خود دریافتند که کاربرد درازمدت مواد آلی باعث می‌شود که فسفر با پیوندهای کم انرژی تر نگه‌داری شده و قابلیت استفاده آن افزایش پیدا کند.



شکل ۴-۱۴ تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت فسفر کل ریشه گیاه فلفل

۴-۸- غلظت کروم (VI) در گیاه تربچه

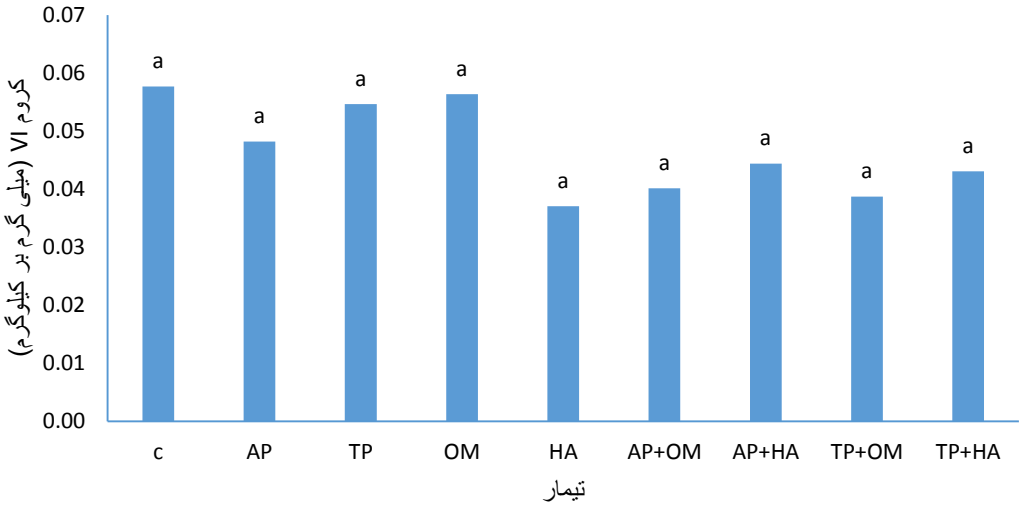
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد بین تیمارها از نظر غلظت کروم VI ریشه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد در گیاه تربچه وجود داشت (جدول پیوست ۳). بیش‌ترین مقدار کروم VI ریشه مربوط به تیمار C و کمترین میزان کروم VI ریشه مربوط به تیمار TP+HA بود (شکل ۴-۱۵).



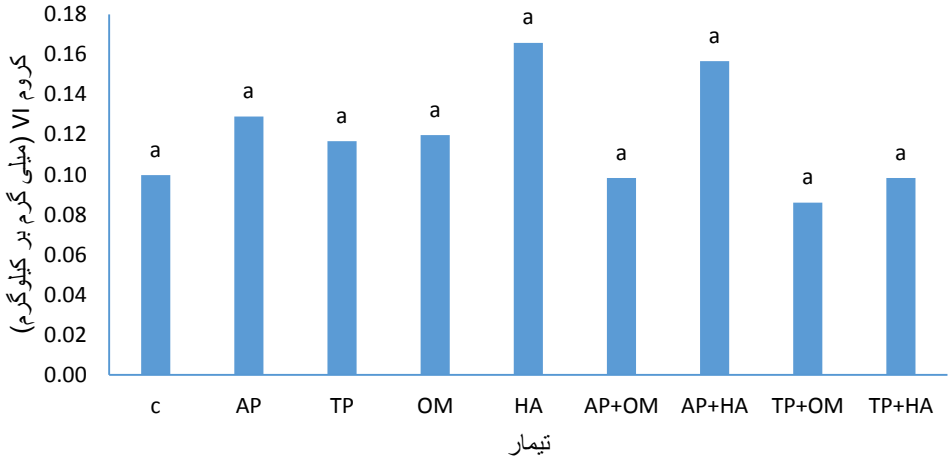
شکل۴-۱۵ تأثیر تیمارها بر غلظت کروم (VI) ریشه در گیاه تربچه

به طور کلی همه تیمارها غلظت کروم VI ریشه را نسبت به تیمار شاهد کاهش دادند اما تنها تیمارهای TP+HA و AP نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند. بیش‌ترین مقدار کاهش مربوط به تیمار TP+HA به میزان ۵۷/۸ درصد و کمترین مقدار کاهش مربوط به تیمار OM به میزان ۳/۱۷ درصد نسبت به تیمار شاهد بوده است. بیش‌ترین میزان انباشت کروم در ریشه گیاه تربچه در تیمار شاهد و پودر یونجه بود (شکل ۴-۱۵). در تیمار حاوی پودر یونجه تأثیر معنی‌داری بر کاهش انباشت کروم در ریشه تربچه نشان نداد اما تحقیقات زیادی نشان می‌دهد که افزودن ترکیبات آلی به خاک سبب کاهش جذب کروم توسط گیاهان می‌شود. به عنوان مثال چوپالا و همکاران (۲۰۱۳) از ترکیبات آلی نظیر زغال و کود مرغی جهت غیر متحرک کردن کروم در خاک و کاهش جذب آن توسط گیاه خردل هندی استفاده نمودند. آن‌ها دریافتند که زغال نسبت به کود مرغی تأثیر بیشتری در کاهش جذب کروم توسط گیاه داشت. لی و همکاران (۲۰۰۶) با افزودن ۱۵ درصد مواد آلی به صورت کود گاوی و کود خوکی دریافتند که کروم VI ظرفیتی قابل‌استخراج در اندام‌های هوایی گیاه گندم کاهش یافت. این محققان یک همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کروم قابل‌استخراج با کروم گیاه مشاهده

نمودند. به هر حال در تیمارهایی که از کود فسفره به صورت ترکیبی با ترکیبات آلی استفاده شد (AP+OM ، TP+OM ، TP+HA) کمترین میزان تجمع کروم را در ریشه گیاه تربچه نشان داد (شکل ۴-۱۵). به نظر می‌رسد که افزودن فسفر به خاک به دلیل رقابت با کروم, از جذب آن توسط ریشه گیاه می‌کاهد. کودهای فسفره به خصوص کود دی آمونیوم فسفات در تیمار AP باعث کاهش کروم VI در ریشه تربچه شد. چون کروم با فسفر اثر رقابتی دارد و مانع جذب کروم توسط ریشه می‌شود. لوپزباسیو و همکاران (۲۰۱۴) دریافتند در نهال *A.thaliana* جذب کروم VI توسط کاربرد فسفر کاهش می‌یابد که فسفر و مکمل‌های سولفات ممکن است در این استراتژی برای کاهش جذب کروم از خاک‌های آلوده مفید باشند و گزارش کردند که مواد مغذی و مواد معدنی از قبیل فسفات و سولفات و نیترات سمیت کروم VI را کاهش می‌دهند. قانعیان و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که فسفر ریزمغذی ضروری است و این توانایی را دارد که با کاهش جذب کروم و تغییر یون‌های فلزی دیگر سمیت کروم را در گیاه *C.vulgaris* کاهش دهد. افیونی و همکاران (۲۰۰۷) دلیل تجمع بیشتر فلزات سنگین در ریشه نسبت به اندام هوایی و دانه را به پویایی کم این فلزات در گیاه نسبت می‌دهند. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد در گیاه تربچه بین تیمارها از نظر کروم VI اندام هوایی گیاه و کروم VI محلول خاک اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول پیوست ۳). مقدار کروم VI اندام‌های هوایی در تیمار شاهد حدود ۰/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم گلدان بود (شکل ۴-۱۶). کاربرد تیمارهای مختلف غلظت کروم VI اندام‌های هوایی گیاه تربچه را کاهش داد اگر چه از نظر آماری معنی‌دار نبود. مقدار کروم VI محلول خاک در تیمار شاهد ۰/۱۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم گلدان بود (شکل ۴-۱۷). افزودن تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری بر غلظت کروم VI محلول خاک نداشت.



شکل ۰۴-۱۶تأثیر تیمارها بر غلظت کروم (VI) اندام‌های هوایی تربچه

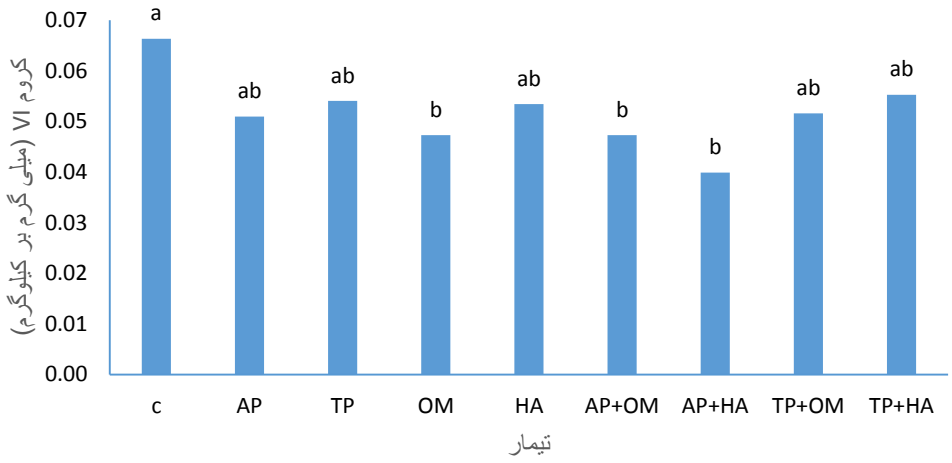


شکل۴-۱۷ تأثیر تیمارها بر غلظت کروم VI خاک در گیاه تربچه

۴-۹- غلظت کروم (VI) در گیاه فلفل

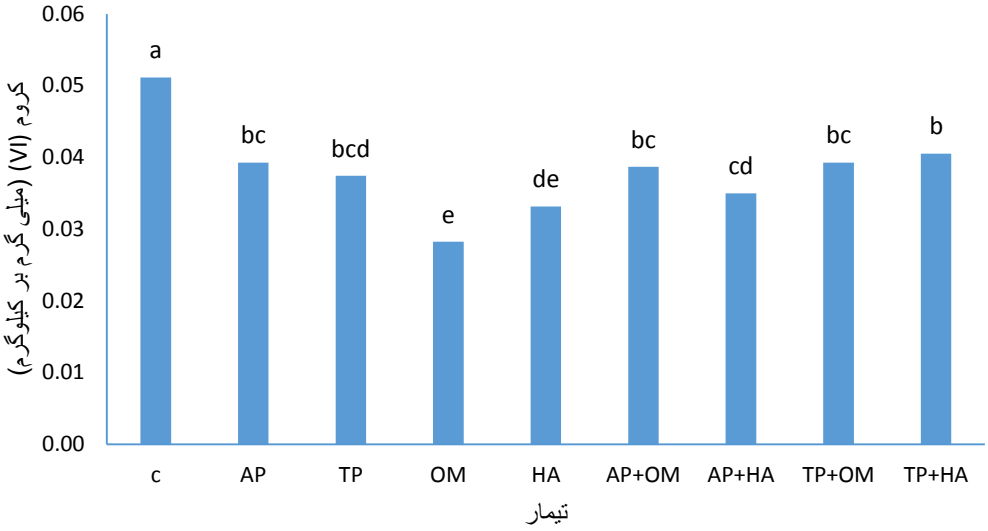
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد بین تیمارها از نظر غلظت کروم VI ریشه، اندام هوایی و خاک اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد در گیاه فلفل وجود داشت (جدول پیوست ۴). به طور کلی همه

تیمارها غلظت کروم VI ریشه را نسبت به تیمار شاهد کاهش دادند اما تنها تیمارهای AP+HA، AP+OMو OM نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند. بیش‌ترین مقدار کاهش مربوط به تیمار AP+HA به میزان ۳۹/۳۸ درصد و کمترین مقدار کاهش مربوط به تیمار TP+HA به میزان ۱۶/۵۹ درصد نسبت به تیمار شاهد بوده است (شکل ۴-۱۸). بیش‌ترین میزان انباشت کروم در ریشه گیاه فلفل در تیمار شاهد بود. کودهای فسفره به خصوص کود دی آمونیوم فسفات به صورت ترکیبی با ترکیبات آلی (اسید هومیک و پودر یونجه) باعث کاهش کروم VI ریشه در فلفل شد (شکل ۴-۱۸).



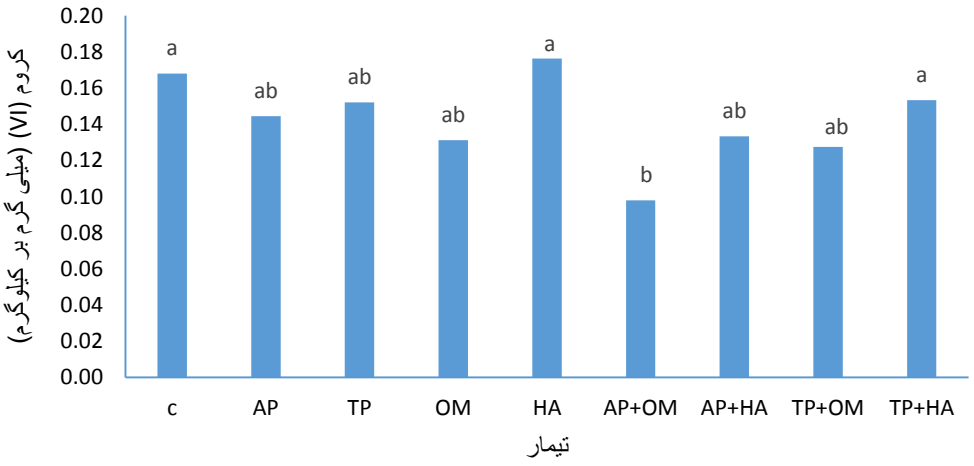
شکل۴-۱۸ تأثیر تیمارها بر غلظت کروم VI ریشه فلفل

مقدار کروم VI اندام‌های هوایی در تیمار شاهد حدود ۰/۰۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم گلدان بود. غلظت کروم اندام‌های هوایی در همه تیمارها نسبت به شاهد کمتر بود که تیمار OM بیش‌ترین مقدار کاهش را به میزان ۴۵/۰۹ درصد نسبت به شاهد نشان داد (شکل ۴-۱۹). تیمارهایی که در این آزمایش استفاده شد باعث کاهش قابل‌توجهی در مقدار کروم VI در اندام هوایی نسبت به شاهد گردد و از تجمع کروم در اندام‌های گیاه فلفل جلوگیری کرد (شکل ۴-۱۹).



شکل۴-۱۹ تأثیر تیمارها بر غلظت کروم VI اندام هوایی فلفل

در همه تیمارهایی که از کودهای فسفر و ترکیبات آلی (به جز تیمار HA) استفاده شد غلظت کروم VI محلول خاک نسبت به تیمار C پایین تر بود. تیمار AP+OM غلظت کروم VI محلول خاک را نسبت به شاهد به میزان ۴۱/۶۶ درصد کاهش داد. اما دیگر تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۴-۲۰).

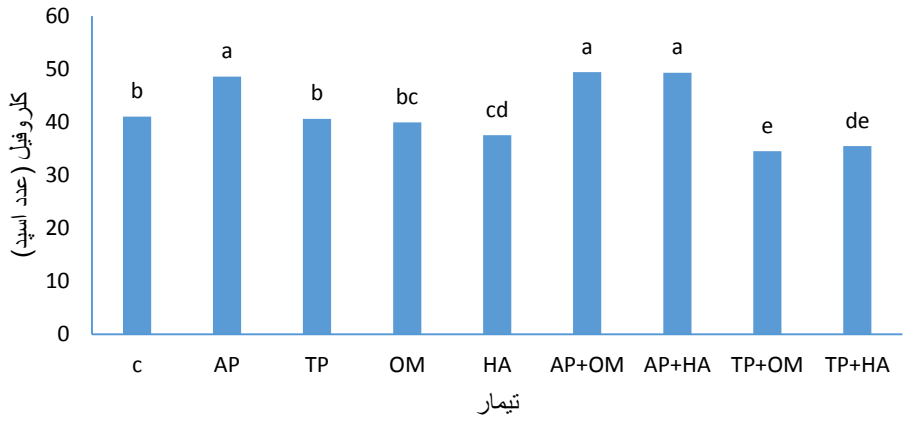


شکل۴-۲۰ تأثیر تیمارها بر غلظت کروم VI خاک فلفل

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در تیمارهایی که به صورت ترکیبی از کود فسفر با ترکیبات آلی (پودر یونجه و اسید هومیک) استفاده شد نقش موثرتری نسبت به دیگر تیمارها در کاهش تجمع کروم در اندام‌های گیاه داشت. روابط ناهمسازی یا آنتاگونیسم و یا هم افزایی عناصر با یکدیگر نقش مهمی در جذب آن‌ها بازی می‌کند. برخی از کاتیون‌ها می‌توانند توسط بار منفی سلول‌ها که ناشی از حامل‌های آنیونی یا پمپ‌های هیدروژنی هستند، جذب شوند. در تیمارهایی که مقدار کروم جذب‌شده کمتری را نشان داد احتمالا به دلیل حضور فسفر در خاک باشد که با کروم رابطه‌ی ناهمسازی یا آنتاگونیسم دارد و برای جذب با یکدیگر رقابت دارند. لوپزباسیو و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقات خود دریافتند که در سطح بالای کروم (۱۴۰ میلی مولار کروم VI), افزودن فسفر سبب کاهش اثرات سمیت کروم در گیاه آرابیدوپسیس شد که رشد و عملکرد گیاه همانند تیمار بدون کروم بود. آن‌ها با افزودن سولفات به محیط کشت تأثیر کمتری نسبت به فسفر در کاهش سمیت کروم مشاهده نمودند. این محققان پیشنهاد نمودند به منظور کاهش اثرات سمیت کروم می‌توان از کودهای فسفره با حلالیت بالا استفاده نمود چون کروم با فسفر اثر رقابتی دارد فسفر مانع جذب کروم در ریشه و اندام هوایی می‌شود و باعث تثبیت کروم در خاک می‌شود. مقدار کروم در اندام هوایی نسبت به ریشه فلفل مقدار کمتری را نشان داد که احتمالاً به دلیل تحرک کم کروم و پویایی پایین عنصر کروم در گیاه فلفل بود. مطالعات مختلف نشان داده است افزودن ترکیبات آلی نظیر کود سبز, ضایعات آلی, زغال و بیوچار سبب کاهش قابلیت دسترسی کروم VI در خاک می‌گردد (بولان و تیاگاراجان,۲۰۰۱).

۴-۱۰- کلروفیل (اسپد)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد بین تیمارها از نظر صفت کلروفیل اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود داشت اما بین تیمارها در گیاه فلفل اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول پیوست ۱ و ۲).

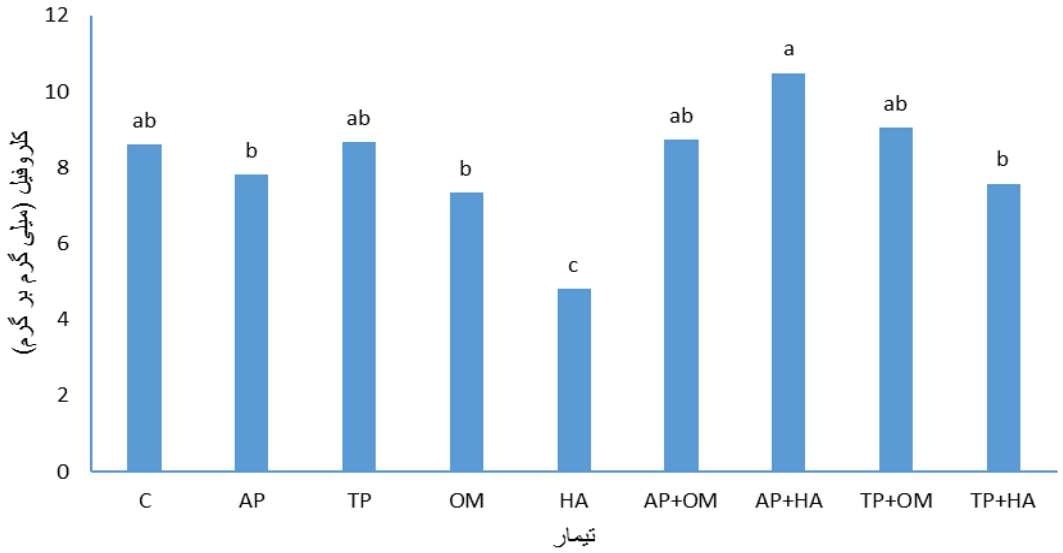


شکل۴-۲۱ اثر تیمارها بر روی کلروفیل تربچه

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین میزان کلروفیل مربوط به تیمارهای حاوی دی آمونیوم فسفات و کمترین میزان مربوط به تیمار سوپر فسفات تریپل + پودر یونجه بود (شکل ۴-۲۱). کاربرد دی آمونیوم فسفات + پودر یونجه باعث افزایش کلروفیل به میزان ۲۰/۵۶ درصد نسبت به شاهد گردید (شکل ۴-۲۱). کاربرد تیمار پودر یونجه به تنهایی اختلاف معنی‌داری از نظر کلروفیل برگ نسبت به شاهد نداشت اما همان طور که مشهود است کاربرد ترکیبی پودر یونجه + سوپر فسفات تریپل باعث کاهش معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۱$) به میزان ۱۶/۰۹ درصد نسبت به شاهد گردید. همچنین نتایج نشان داد در بین تیمارهایی که سوپر فسفات تریپل به‌کاررفته بود کاربرد سوپر فسفات تریپل به تنهایی تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نشان نداد (شکل ۴-۲۱). اما بکار بردن آن همراه با پودر یونجه یا اسید هومیک به طور معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۱$) کلروفیل برگ را نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۴-۲۱). به نظر می‌رسد با توجه به وجود نیتروژن در کلروفیل, تیمارهایی که حاوی آمونیوم بوده‌اند نیتروژن مورد نیاز گیاه را تأمین نموده در نتیجه سبب تولید بیشتر کلروفیل شده‌اند اما در تیمارهای بدون آمونیوم مقدار تولید کلروفیل کاهش یافته است.

۴-۱۱- کلروفیل a، b و کل (تربچه)

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد بین تیمارها از نظر صفات گیاه اختلاف معنی‌داری در سطوح کلروفیل a در سطح ۱ درصد وجود داشت. اما بین تیمارها از نظر کلروفیل b و کل در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول پیوست ۱و۲).



شکل۴-۲۲ اثر تیمارها بر روی کلروفیل a گیاه تربچه

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کلروفیل a مربوط به تیمار AP+HA نسبت به دیگر تیمارها سطح بالاتری را دارد. همچنین تیمار HA سطح پایین تری از کلروفیل a نسبت به دیگر تیمارها را شامل می‌شود. در گیاه تربچه تیمارهایی که از کود دی آمونیوم فسفات استفاده شد سطح بالاتری از کلروفیل a را نسبت به دیگر تیمارها نشان داد (شکل ۴-۲۳). احتمالاً به دلیل مقدار نیتروژن موجود در کود دی آمونیوم فسفات بود. همچنین کاربرد ترکیبی اسید هومیک با کود دی آمونیوم فسفات تأثیری مثبت بر کلروفیل a گیاه داشت. به طور کلی در تیمارهایی که از کود دی آمونیوم فسفات به تنهایی و به صورت ترکیبی استفاده شد میزان کلروفیل a سطح بالاتری را نسبت به دیگر تیمارها نشان داد که احتمالاً به دلیل نیتروژن موجود در کود دی آمونیوم فسفات بود. زیرا نیتروژن با مقدار کلروفیل

برگ رابطه مستقیم دارد. با توجه به اهمیت وجود نیتروژن در ساختار مولکول کلروفیل و آنزیم ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز، برگ‌های با محتوای کلروفیل بیشتر، از غلظت نیتروژن بالاتری نیز برخوردارند هستند. پترسون و همکاران (۱۹۹۳) بیان کردند که یک رابطه نزدیک‌بین محتوای کلروفیل برگ و محتوای نیتروژن برگ گیاه ذرت وجود داشت که دلیل این رابطه را نقش عمده و مهم نیتروژن در ساختار مولکول کلروفیل دانستند. در تیمار HA و OM میزان کلروفیل a سطح پایین تری را نسبت به دیگر تیمارها را نشان داد (شکل ۴-۲۲). به نظر می‌رسد که مکانیسم عمل عناصر سنگین بر تراکم کلروفیل متفاوت هست، عناصر سنگین وارد کلروپلاست شده و در آن جا جمع شده و باعث خسارت به غشاهای کلروپلاست می‌شوند (کلیمنس و همکاران، ۲۰۰۲) .

۴-۱۲- همبستگی

۴-۱۲-۱- همبستگی در گیاه تربچه

در بین پارامترهای اندازه‌گیری شده، فسفر محلول خاک با کروم VI (خاک و ریشه)، همبستگی غیر همسو و معنی‌داری به ترتیب (r= -۰/۷۷) و (r = -۰/۶۸) در سطح احتمال ۵ درصد داشت (جدول پیوست ۵). همچنین EC خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری (r =۰/۷۱) با فسفر محلول خاک و همبستگی غیر همسو و معنی‌داری (r= -۰/۷۲) با کروم VI خاک در سطح ۵ درصد را نشان داد (جدول پیوست ۵). به عبارت دیگر, با افزایش فسفر محلول خاک, مقدار کروم VI ریشه و خاک کاهش یافت. کیان و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر کاربرد فسفر را بر سمیت کروم در گیاه کلرلا بررسی کردند آن‌ها دریافتند که کروم جذب‌شده توسط گیاه سبب کاهش رشد, تخریب کلروپلاست و در نتیجه کاهش کلروفیل برگ شد. اما اثرات سوء کروم ۲/۲ تا ۳/۷ برابر کاهش یافت زمانی که به بستر کشت, فسفر افزوده شد. به هر حال, همبستگی معنی‌داری بین سایر پارامترها مشاهده نشد. غلظت عناصر در گیاه تحت تأثیر غلظت عناصر در خاک است به گونه‌ای که انتظار می رود با افزایش غلظت عناصر در خاک، غلظت آن‌ها در گیاه افزایش یابد. اگر چنانچه این همبستگی مشاهده نشود بدین علت است که علاوه

بر غلظت عناصر در خاک خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و قابلیت دسترسی عناصر دیگر نیز بر غلظت عنصر در گیاه موثر هست.

۴-۱۲-۲- همبستگی در گیاه فلفل

در بین پارامترهای اندازه‌گیری شده, کروم VI ریشه همبستگی مثبت (r= ۰/۸۰) با pH خاک در سطح احتمال ۱ درصد و همبستگی منفی (r= ۰/۷۴) با فسفر محلول و همبستگی مثبت (r= ۰/۷۴) با کروم VI اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد. همچنین EC خاک همبستگی مثبت (همسو) با فسفر محلول و کروم VI خاک به ترتیب (r= ۰/۷۶) و (r= ۰/۷۰) و فسفر محلول خاک همبستگی منفی (r=۰/۷۵) با pH خاک معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشتند (جدول پیوست ۶). با افزایش فسفر محلول خاک, مقدار کروم VI ریشه و اندام هوایی کاهش می‌یابد. وجود همبستگی منفی بین این دو پارامتر در جدول پیوست ۶ موید این مطلب می باشد. لذا با توجه به عدم همبستگی معنی‌دار بین غلظت کروم خاک و غلظت کروم در بخش‌های مختلف گیاه فلفل چنین به نظر می‌رسد که پارامترهای دیگری نظیر تغییرات pH و مقدار مواد آلی نیز بر جذب کروم توسط گیاه اثر داشته است. در این آزمایش همچنین همبستگی معنی‌داری بین تجمع کروم در ریشه و pH خاک مشاهده شد، که تجمع کروم به طور قابل‌توجهی با کاهش pH خاک کاهش یافت. تحرک کروم VI به اکسیدهای آهن، منگنز و pH خاک وابسته می باشد و خصوصیات خاک مثل ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد رس نمی‌تواند تأثیر مهمی بر خصوصیات کروم VI در خاک داشته باشد. سدلاک و چان، (۱۹۹۷) بیان کردند که کروم VI توسط مواد آلی خاک از جمله هیومیک اسید، فولیک اسید و هومین و آهن (II)، به کروم III احیاء می‌شود.

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل، استفاده از آب آلوده به کروم سبب جذب کروم VI توسط ریشه و به مقدار کمتری در اندام هوایی شد. با توجه به اینکه حد سمیت کروم در آب، خاک و گیاه به ترتیب برابر با ۰/۱ میلی گرم در لیتر، ۵۰ و ۰/۵ میلی گرم در کیلو گرم بود می‌تواند برای انسان و موجودات زنده خطرناک باشد و سلامتی انسان را به خطر بیندازد. استفاده از تیمارهای دارای ترکیبات آلی و کودهای فسفره تأثیر معنی‌داری در کاهش کروم VI در گیاه تربچه و فلفل داشت. در این خصوص در تیمارهایی که از کودهای آلی (پودر یونجه) به تنهایی و به صورت ترکیب با کودهای فسفره به خصوص دی آمونیوم فسفات استفاده شد نسبت به تیمار شاهد از جذب کروم VI توسط فلفل کاست اما کارایی اسید هومیک همراه با دی آمونیوم فسفات در این خصوص بیشتر بود. فسفر یک عنصر ضروری برای گیاه و یک عنصر رقیب برای کروم جهت جذب توسط ریشه گیاه محسوب می‌شود. استفاده از کودهای فسفر و ترکیبات آلی سبب کاهش pH خاک می‌شود و باعث افزایش حلالیت فسفر شده و بدین طریق از جذب بیش از حد کروم VI توسط ریشه و اندام هوایی گیاه تربچه و فلفل خواهد کاست. همبستگی منفی و معنی داری بین فسفر محلول و کروم VI در اندام های گیاه تربچه و فلفل وجود داشت که با افزایش فسفر محلول خاک، مقدار کروم VI کاهش یافت. نتایج نشان داد مقدار تجمع کروم VI در ریشه گیاه تربچه و فلفل به ترتیب ۵۹/۱۱ و ۳۴/۲۱ درصد بیشتر از اندام‌های هوایی بود. احتمالاً دلیل تجمع بیشتر فلزات سنگین در ریشه نسبت به اندام هوایی را به پویایی کم عنصر کروم در گیاه تربچه و فلفل باشد. با توجه به وجود معدن کرومیت در منطقه مطالعاتی تحت کشت تربچه و فلفل چنین نتیجه‌ای می‌تواند هشداری سودمند در استفاده از گیاهان خوراکی رشد یافته در منطقه با آب آبیاری آلوده به کروم باشد.

۵-۲- پیشنهادها

- ✓ این آزمایش در سطوح مختلف کروم در آب آبیاری بر روی گیاهان مختلف آن منطقه نیز انجام شود
- ✓ خصوصیات کمی و کیفی تربچه و فلفل در شرایط مزرعه و در شرایط آلودگی آب یا خاک به عنصر سنگین کروم بررسی گردد.
- ✓ از جاذب‌هایی که باعث تثبیت کروم در خاک شـــود و مانع جذب کروم در اندام‌های گیاه شود نیز استفاده گردد.
- ✓ از گیاهانی که جاذب هستند به عنوان گیاه پالایی استفاده شود.
- ✓ پیدا کردن راه حل برای کاهش یا مهار آلودگی آب‌های منطقه به کروم انجام گیرد.

منابع

منابع مورد استفاده

باریک‌بین، ب. ۱۳۹۱، **حذف کروم شش ظرفیتی از فاضلاب صنعتی با استفاده از پوست سبز بادام**، *اولین همایش بین‌المللی بحران‌های زیست‌محیطی ایران و راهکارهای بهبود آن*، جزیره کیش، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات اهواز.

پیروز، پ. ۱۳۹۱. **بررسی فیزیولوژیک گیاه آفتابگردان تحت تنش کروم: تأثیر بر رشد، تجمع و القای تنش اکسیداتیو در ریشه آفتابگردان (Helianthus annuus) زیست‌شناسی گیاهی**، سال چهارم، شماره یازدهم، صفحه ۷۳-۸۶

قانعیان م. جمشیدی ب.امرالهی م. دهواری م. تقوی م. ۱۳۹۲. **کاربرد فرایند جذب زیستی توسط پودر هسته آنار در خذف کروم شش ظرفیتی از محیط آبی**. کومش- جلد ۱۵، شماره ۲ (پیاپی ۵۰)

حاجی شریفی، ا. ۱۳۸۴ ،**اسرار گیاهان دارویی**، نسخه ۱، انتشارات حافظ نوین، ۴،

سالار دینی، علی اکبر، **حاصلخیزی خاک**. چاپ هشتم، ناشر؛ تهران، دانشگاه تهران، موسسه انتشارات و چاپ، ۱۳۸۷.

سبزواری، س ، خزاعی ، ح. و کافی ، م.، ۱۳۸۸. **اثر ا سید هیویک بر ر شد ریشه و بخش هوایی ارقام ســـایونز و ســـبلان گندم (Triticum aestivum. L)**. مجله آب و خاک (علوم و صـــنایع کشاورزی)،۲۳: ۹۴-۸۷.

سر د شتی، ع. و علیدو ست، م، ۱۳۸۶. **تعیین و شنا سایی ترکیبات هیومیک ا سید خاک‌های جنگلی شمال ایران. پانزدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد**، ص ۳۶۱.

سرد شتی، ع. و محمدیان مقدم، س. س ، ۱۳۸۶. **تعیین ظرفیت تبادلی کاتیونی هیومیک ا سید استخراج‌شده از خاک‌های جنگلی نهارخوران گرگان، نسبت به یون‌های Pb^{+2}، Cd^{+2}، Ni^{+2} به روش ناپیوسته ظرفی در محیط آبی**. نشر شیمی و مهندسی شیمی ایران، ۳: ۹.

کاظمی پ شت‌م ساری ح. پیرد شتی، ه. ا و بهمنیار، م. ع، ۱۳۸۶ . **مقای سه اثرات کودهای ف سفره**

معدنی و زیســتی بر ویژگی‌های زراعی دو رقم باقلا (*Vicia faba* L.). مجله علوم کشــاورزی و منابع طبیعی، شماره ۶، جلد ۱۴، ص ۲۱.

لطف الهی، م. ملکوتی، م. ج. خاوازی، ک و ب شارتی، ح. ۱۳۸۳. **ارزیابی رو شهای م صرف م ستقیم خاک ف سفات در افزایش عملکرد ذرت علوفه‌ای در کرج**. ص ۹۵-۸۹. مصــرف بهینه کود راهی برای پایداری در تولیدات کشــاورزی. ملکوتی م. ج و بلالی م. ر، چاپ اول، نشــر آموزش کشــاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

مظفریان، و. ۱۳۸۶، **فرهنگ‌نامه‌ای گیاهان ایران**، انتشارات فرهنگ معاصر.

ملکوتی، م. ج و همایی، م.۱۳۷۳. **حا صلخیزی خاک‌های مناطق خ شک (م شکلات و راه‌حل‌ها). چاپ اول، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس**، ۴۹۴ صفحه.

Abbaspour, A. M. Kalbasi, and H. Shariatmadari, 2004.“ **Effect of steel converter sludge as Iron fertilizer and soil amendment in somecalcareous soils**.” J. Plant Nutr. 27(2): 377-394.

Adebowale A. 2004. **Bioremediation of Arsenic, Chromium, Lead, and Mercury. U.S. Environmental** Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office Washington, DC. serial on line August; ECB/32/02 Add ;14 available from www.clu-in.org

Afif, E., A. Matar and J. Torrent. 1993. **Availability of phosphate applied to calcareous soils of west Asia and North Africa**. Soil Sci. Soc. Am. J. ۵۷: .۷۶۰-۷۵۶

Afyuni, M., Karami, M., and Schulin, R. 2007. “ **Effects of sewage sludge application on heavy metals status in soil and wheat**.”In: Biogeochemistry of trace elements: Environmental, Protection, Remediation and Human Health, China, 576.

Allison , L.E. 1965. Organic carbon, P 1372-1376. In: Black, C.A., Evans, D.D., White, L.J., Ensminger, L.E., Clark, F.E. (Eds.), **Methods of Soil Analysis**. American Society of Agronomy, Madison, WI. Analysis. Part 4. Phy sicalMethods. Soil Sci Soc Am Inc., USA.

Anderson RA . 1997. **Chromium as an essential nutrient for humans**. Regul Toxicol Pharmacol 26:S35–S41

Anderson, C., Stewart, R.B., and Moreno, F.N. 2003. **Gold phytomining. Novel Developments in a Plant-based Mining System**. Massey University publishing. Palmerston North, New Zealand.

Antoniadis, N., and B. J. Alloway. 2001. **Availability of Cd, Ni and Zn to rye grass in seawage sludge treated soil at different temperatures**. Water, Air and soil pollut. 132:201–204.

Argon. Mongr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. PP. 403-430.

Ashwini C, Poopal R, Laxman S. 2009. **Studies on biological reduction of chromate by Streptomyces griseus**. Journal of Hazardous Materials.; 169 :539–545.

B

arnhart, N. 1997.**Chromium and its soils in the proximity of the old tannery waste lagoon**. International Agrophysics 15: 121-124.

Bartlett , RJ, and Kimble JM, 1976.“ **Behavior of chromium in soils** ” . II. Hexavalent forms. J Environmental Qualit y 5(4): 383-386.

Becquer T, Quantin C, Sicot M, Boudot J-P .2003.**Chromium availability in ultramafic soils from New Caledonia**. Sci Total Environ 3001:367–373

Bigham , JM 1996.**Method of soil analysis. Part 3**. Chemical methods, American Society of Agronomy, Inc, Madison.

Bolan , NS. Thiagarajan ,S. 2001 .“ **Retention and plant availability of chromium in soils as affected by lime and organic matter amendments**.”Aust J Soil Res 39,1091–1104.

Brama M, Gnessi L, Basciani S, Cerulli N, and P. L, Spera. 2007. **Cadmium induces mitogenic signaling in breast cancer cell by an ER alpha-dependent mechanism**. Molcell Endocrinol. 47:204-12.

Bratakos MS, Lazos ES, Bratakos SM .2002.**Chromium content of selected Greek foods**. Sci Total Environ 290:47–58.

Browski D, Hubicki Z, Podkocielny P, et al. 2004. S**elective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion exchange method**, Chemosphere; 56: 91-106.

Chatterjee J, Chatterjee C .2000. **Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower**. Environ Pollut 109:69–74

Choppala,G.Bolan,N.Kunhikrishnan,A.Skinner,W.Seshadri,B.). 2013.“**Concomitant reduction and immobilization of chromium in relation to its bioavailability in soils**.”Environ Sci Pollut Res, DOI 10.1007/s11356-013-1653-6.

Clemens, M., Palmgren, G., and Kramer, U., 2002. **A long way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation**. Trends in Plant Science, 7: 309-315.

Courtney RG, Mullen GJ. 2008. **Soil quality and barley growth as influenced by the land application oftwo compost types**. Bioresource Technol. 99: 2913–2918.

Ebbs, S.D., Lasat, M., Brady, D.J., Cornish, J., Gordon, R. and Kochian, L.V. 1997. **Phytoremediation of cadmium and zinc from a contaminated soil. Journal of Environmental Quality**. 26: 1424-1430.

El-Baruni, B. and S. R. Olsen. ١٩٧٩. **Effect of manure on solubility of phosphorus in calcareous soils**. Soil Sci.٢٢٥-٢١٩ :١٢٨ .

Eriksson JE . 2001. **Concentrations of 61 trace elements in sewage sludge, farmyard manure, mineral fertilizers, precipitation and in oil and crops**. Swedish EPA Rep 5159, Stockholm

Fendorf S, La Force MJ, Li G . 2004. **Temporal changes in soil partitioning and bioaccessilbility of arsenic, chromium, and lead**. J Environ Qual 33:2049–2055

Gee , GW and Or D, 2002. **Particle-size analysis** Pp.255-295. In: Warren AD (ed). Methods of Soil.

Hafeza AI, Manharawy MS, Khedr MA. 2002. **RO membrane removal of unreacted chromium from spent tanning effluent**: A pilot-scale study. Desalination1; 44:237–242.

Hara , M. Ito, F. Asai T. and Kuboi, T. 2009.“ **Variation in Amylase Activities in Radish (Raphanus sativus) Cultivars**. ” Plant Foods Hum. Nutr. 64:188–192.

Henty J.R. 2000. **In An Overview of Phytoremadiation Lead and Mercury**. NNEMS Report. Washingtion, D.C:3-9.

Iskandar , I.K. 2001. “ **Environmental restoration of metals contaminated soils**.” lewis Publishers.

James , B. R. & R. J. Bartlet. 1996**. Hndbook of soil analysis. Soil science society of america**. 25:685-701.

James BR, Peture JC, Vitale RJ, Mussoline GR . 1997. **Oxidation-reduction chemistry of chromium: relevance to the regulation and remediation of chromate-contaminated soils**. J Soil Contam, Spec Issue 6:569–580

Kabata-pendias , A. and pendias H. 2001. **Trace metals in soils and plants**,3nd

edition,CRC Press Inc.,Boca Rot on,Florida,USA.

Kabata-pendias A. and Mukherjee A. B. 2007. **Trace Elements from Soil to Human. Berlin**: Springer-Verlag.

Kashem , M.A. and B.R. Sing. 2001. "**Metal availability in contaminated soils: I. Effects of flooding and organic matter on changes in Eh, pH, and solubility of Cd, Ni, and Zn**." Nutr. Cycling in Agroecosystems 61:247-255.

Keeling, A. A. McCallum, K. R. and Beckwith, C. P. 2003 "**Mature Green Waste Compost Enhances Growth and Nitrogen Uptake in Wheat (Triticum aestivum L.) and Oil Seed Rape (Brassica napus L.) through the Action of Water-Extractable Factors**," Bioresource Technology, Vol. 90, No. 2, , pp. 127-132.

Kirkham, M.B. 2006. **Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments. Geoderm**a. 137:19 32.

Klein CB . 1996. **Carcinogencity and genotoxicity of chromium**. In: Chang LW (ed) Toxicology of metals. CRC Lewis Publ, pp 205–219.

Lasat, M.M. 2002. **Phytoexteraction of toxic metals: A review of biological mechanisms**. Journal of Environmental Quality. 31: 109-120.

Lee ,D-Y.Shih,Y-Zheng, H-C. Chen,C-P. Juang, W-K. Lee,J-F. 2006. " **Using the Selective Ion Exchange Resin Extraction and XANES Methods to Evaluate the Effect of Compost Amendments on Soil ChromiumVI Phytotoxicity**." Plant and Soil, 281(1-2), 87-96.

Lichtenthder, H.K.1987. **Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes**.

Lo´pez-Bucio. J. Cervantes. C. Ortiz-Castro. R. . 2014 " **Phosphate relieves chromium toxicity inArabidopsis thaliana plants by interfering with chromate uptake**."Springer Science+Business Media New York: 363-270.

Mei, B., J.D. Puryear and R.J. Newton, 2002. **Assessment of Cr tolerance and accumulation in selected plant species**. Plant and Soil247:223-231.

Miller , R O. 1998 .**Nitric-perchloric acid wet digestion in an open vessel**. In: Kalra Y P, ed., Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Taylor & Francis, London. pp. 57-61.

Minaxi , S J . 2010."**Disease suppression and crop improvement in moong beans (Vigna radiata) through Pseudomonas and Burkholderia strains isolated from semi**

arid region of Rajasthan." BioControl. 55 (6): 799-810.

Mireles, A. . 2004 " **Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with waste water from Mexico city**." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B., 219-220: 187-190.

Morgado P, Pereira V, Pinto MS 2001. **Chromium in Portuguese soils surrounding electroplating facilities**. Environ Geochem Health 23:225 228

Mukherjee ,A. Zimmerman , A.R. 2013 ."**Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biocharsoil mixtures**." Geoderma 193–194:122–130 .

Najim TS, Yassin SA. 2009. **Removal of Cr (VI) from aqueous solution using modified pomegranate peel: Equilibrium and Kinetic Studies**. E-J Chem; 6: S129-S142.

Nanda-Kumar P.B.A., Dushenkov V., Motto, H., Raskin I. 1995: Phtoxtraction: **The use of plants to remove heavy metals soils. Environmental Science and Technology**. 29:1232-1238 .

Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS and Dean CA. 1954. **Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. Soil Science Society of America** 21: 144 - 149.

Olsen, S. R. and L. E. Sommers. 1982. phosphorus. In: A. L. Page (Ed.), **Methods of Soil Analysis**. Part 2. 2nd ed.

Padmavathiamma, P.K., Li, L.Y. 2007. **Phytoremediation technology: Hyeper-accumulation metals in plants**. Water air soil pollution journal. 184:105-126.

Page , A.L. Miller, R.H. and Keeney, D.R. 1982. **Methods of soil analysis**. Part 2. 2nd ed. ASA and SSSSA. Madison, WI.

Pajuelo, E., Rodrı´guez-Llorente, I.D., Dary, M., Palomares, A.J. 2007. **Toxic effects of arsenic on Sinorhizobiume *Medicago sativa* symbiotic interaction. Environmental Pollution**, 1-9.

Parameswari E, Lakshmanan A, Thilagavathi T. 2009. **Chromate Resistance and Reduction by Bacterial Isolates**. Australian Journal of Basic and Applied Sciences.; 3(2): 1363-1368.

Qian ,H. Sun ,z. Sun ,l. Jiang ,Y. 2013 ." **Phosphorus availability changes chromium toxicity in the freshwater alga Chlorella vulgaris**." Chemosphere, 93,(6), 885-891.

Qian H, Wu Y, Liu Y, Xu X, 2008. Kinetics of hexavalent chromium reduction by iron metal. Frontiers of Environmental Science and Engineering 2: 51–56.

Remoudaki E, Hatzikioseyian A, Kaltsa F, and Tsezos M, 2003. **The role of metal-organic complexes in the treatment of chromium containing effluents in biological reactors**.pp.711-718. In proceeding of 15th International Biohy drometallurgy Sy mposium (IBS 2003). September 14-19. Athens, Hellas.

Ribeiro AB, Mateus EP, Ottosen LM, et al. 2000. **Electrodialytic Removal of Cu, Cr, and As from Chromated Copper Arsenate-Treated Timber**. Waste EnvironmentalScence Technology; 34: 784–788.

Salt, D.E., M. Blaylock, P.B.A. Nanda Kumar, V. Dushenkov, B.D. Ensley, I. and I. Raskin, 1995. **Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants- biotechnology**. 13: 468-474.

Saputro S. Yoshimura K. Matsuoka S. Takehara K. 2014. **Speciation of dissolved chromium and the mechanisms controlling its concentration in natural water**. Chemical Geology: 33-41

Scheckel , K., and J. Ryan. 2003.“ **In vitro formation of pyromorphite via reaction of Pb source with soft-drink phosphoric acid.** Science of The Total Environment.” 302, 253-265.

Sedlak, D.L. and Chan, P.G., 1997.“ **Reduction of hexavalent chromium by ferrous iron”, Geochim. Cosmochim**., 61, 11, 2185 2192.

Seiler HG, Sigel H and Sigel A, 1988. **Handbook on Toxicit y of Inorganic Compounds**. Marcel Dekker, New York.

Selvi K, Pattabhi S, kadirvelu K. 2001. **Removal of Cr (VI) from aqueous solutions by adsorption onto activated carbon**. Bioresource Technology; 80: 87-89.

Shanker AK, Cervantes C, Loza-Tavera H, 2005. **Avudainayagam S Chromium toxicity in plants**. Environ Int 31:739–753

Sharma, D.C. and C.P. Sharma, 1996. **Chromium uptake and toxicity effects on growth and metabolic activities in wheat, Triricum aestivumL**. cv. UP (2003), Indian Journal of Experimental Biology34(7):689-691.

Sharma, D.C. and C.P. Sharma, 1996. **Chromium uptake and toxicity effects on growth and metabolic activities in wheat, Triricum aestivumL**. cv. UP (2003), Indian Journal of Experimental Biology34(7):689-691.

Stepniewska , Z. Bucior, K., . 2001 " **Chromium contamination of soils, water, and plants in the vicinity of a tannery water lagoon.** " Environ. Geochem. Health, Vol. 23(3), pp.241-245.

Stepniewska , Z. Bucior, K., 2001." **Chromium contamination of soils, water, and plants in the vicinity of a tannery water lagoon**. " Environ. Geochem. Health, Vol. 23(3), pp.241-245.

Stevenson, F. J. 1992. **Humus chemistry. Genesis, composition and reactions**, 2nd, wiley, new york.

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

Tipping, E. 2004. **Cation binding by humic substances, Cambridge University Press, Cambridge**.

Toor, G. S. and G. S. Bahl. ۱۹۹۷. **Effect of solitary and integrated use of poultry manure and fertilizer phosphorus on the dynamics of P availability in different soils**. Biores. Technol.۶۲: .۲۸-۲۵

Tuprakay S, Liengcharernsit W ،2005. **Lifetime and regeneration of immobilizedtitania for photocatalytic removal of aqueous hexavalent chromium.** Journal of Hazardous Materials B.; 124 (1-3):53–8.

Whalen, , J.K. and C. Chang. 2002 ."**Phosphorus sorption capacities of calcareous soil receiving cattle manure application for 25 years**." Commun Soil Sci. and Plant Anal. 23:1011-1026.

Zayed AM, Lytle CM, Qian J-H, Terry N . 1998.**Chromium accumulation, translocation and chemical speciation in vegetable crops**. Planta 206:239–299.

Zayed AM, Terry N . 2003 .**Chromium in the environment: factors affecting biological remediation**. Plant Soil 249:139–156.

پیوست

جدول پیوست ۱- آنالیز واریانس صفات مورد بررسی در گیاه تربچه

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	کلروفیل (اسپد)	وزن خشک ریشه	فسفر کل ریشه	فسفر کل اندام هوایی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
تکرار	۲	۲/۶۹	۱۱/۸	۰/۰۱۱	۰/۰۲۳	۰/۰۰۲	۲/۷۶	۰/۴۲	۲/۷۶
تیمار	۸	۴/۴۲ *	۱۰۴/۴۹ **	۰/۰۵۱ ns	۰/۰۴ *	۰/۰۲۸ *	۷/۲۶ **	۲/۶۵ ns	۱۱/۶۵ns
خطا	۱۶	۱/۶۴	۲/۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۱۱	۰/۰۰۸	۱/۳۰	۱/۸۶	۴/۷۵
ضریب تغییرات	-				۱۷/۲۹	۱۸/۳۰	۱۴/۰۴	۱۸/۱۹	۱۳/۹۵

*،**وns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و۱ درصد و عدم معنی‌داری هست.

جدول پیوست۲- آنالیز واریانس صفات مورد بررسی در گیاه فلفل

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع	کلروفیل	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	فسفر کل ریشه	فسفر کل اندام هوایی
تکرار	۲	۸/۴۸۱	۹۳/۴۹	۰/۰۲۰	۱/۰۳۹	۰/۰۳۱	۰/۰۰۶
تیمار	۸	۴۳/۳۴ **	۸۷/۷۱ ns	۰/۰۴۵ *	۰/۷۳ *	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۲۳ **
خطا	۱۶	۵/۳۹	۶۴/۶۱	۰/۰۱۳	۰/۲۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴
ضریب تغییرات	-	۱۰/۴۷	۱۸/۴۵	۱۳/۸۲	۱۸/۳۴	۱۸/۱۰	۱۴/۷۸

*،**وns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و۱ درصد و عدم معنی‌داری هست.

جدول پیوست ۳- آنالیز واریانس(میانگین مربعات) صفات مورد بررسی در گیاه تربچه

منابع تغییر	درجه آزادی	EC	pH	فسفرمحلول خاک	کروم VI خاک	کروم VI ریشه	کروم VI اندام هوایی
تکرار	۲	۰/۱۶۴	۰/۰۲۴	۳/۲۷۴	۰/۰۰۰۲۷	۰/۰۰۰۵۱	۰/۰۰۰۴۳
تیمار	۸	۰/۳۳ *	۰/۰۹۲ *	۱۹/۸۴ **	۰/۰۰۰۵۶ns	۰/۰۰۰۵۷ *	۰/۰۰۰۱۸۶ns
خطا	۱۶	۰/۱۰۸	۰/۰۲۹	۳/۵۵	۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۱۶۹
ضریب تغییرات	-	۲۱/۵۷	۲/۲۱	۱۴/۶۸	۲۶/۰۸	۲۳/۸۲	۲۷/۸۵

*،**و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌داری هست.

جدول پیوست ۴- آنالیز واریانس(میانگین مربعات) صفات مورد بررسی در گیاه فلفل

منبع تغییر	درجه آزادی	EC	pH	فسفر محلول خاک	کروم *VI* خاک	کروم *VI* ریشه	کروم *VI* اندام هوایی
تکرار	۲	۰/۰۳۴	۰/۰۱۶	۲/۷۴۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱
تیمار	۸	۰/۲۰۱ **	۰/۱ *	۱۴/۴۹۴ *	۰/۰۰۲ *	۰/۰۰۰۰۱ *	۰/۰۰۰۰۱ *
خطا	۱۶	۰/۰۲	۰/۰۲۷	۳/۵۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
ضریب تغییرات	-	۶/۷۵	۲/۱۴	۱۳/۳۷	۱۳/۵۶	۱۲/۵۸	۱۵/۸۷

*،**و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌داری هست.

جدول پیوست ۵- ضرایب همبستگی پیرسون، گیاه تربچه

	EC	pH	فسفر محلول خاک	کروم VI خاک	کروم VI ریشه	کروم VI اندام هوایی
EC	۱					
Ph	۰/۲۳	۱				
فسفر محلول خاک	۰/۷۱*	۰/۱۱	۱			
کروم VI خاک	-۰/۷۲ *	-۰/۲۴	-۰/۷۷ *	۱		
کروم VI ریشه	-۰/۳۰	-۰/۱۶	-۰/۶۸*	۰/۳۵	۱	
کروم VI اندام هوایی	-۰/۲۹	۰/۲۸	-۰/۴۹	۰/۶۳	۰/۴۳	۱

*،**و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌داری هست.

جدول پیوست۶- ضرایب همبستگی پیرسون گیاه فلفل

	EC	pH	فسفر محلول	کروم VI خاک	کروم VI ریشه	کروم VI اندام هوایی
EC	۱					
pH	-۰/۶۵	۱				
فسفر محلول خاک	۰/۷۶ *	-۰/۷۵ *	۱			
کروم VI خاک	-۰/۷۰*	۰/۲۶	-۰/۵۵	۱		
کروم VI ریشه	-۰/۶۴	۰/۸۰**	-۰/۷۴ *	۰/۶۲	۱	
کروم VI اندام هوایی	-۰/۳۰	۰/۶۵	-۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۷۴*	۱

*،**و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌داری هست.

Abstract

Occurrence of chromium, particularly chromium VI in water and soil, has created serious problems on human life and the environment. Its stabilizing in contaminated environments by various methods has been the attention of many researchers. In this regard, in order to consider the effect of organic and phosphorus fertilizers on Stabilization of chromium under the pepper cultivation, an experiment was conducted at Faculty of Agriculture, Shahrood University in the greenhouse conditions as randomized complete block design with three replications. The treatments consisted of control(C), di ammonium phosphate(AP), triple super phosphate(TP), alfalfa powder(OM), humic acid(HA), di ammonium phosphate + alfalfa powder(AP+OM), alfalfa powder + triple superphosphate(TP+OM), humic acid + ammonium phosphate(HA+AP), triple superphosphate, humic acid(TP+HA). The results showed that the accumulation of chromium VI in root radish and pepper arrangement was 34.21 and 59.11 percents more than shoot. In general, all the treatments decreased the accumulation at chromium VI in the roots at radish and pepper plants and application of combined phosphate fertilizers and organic compounds were more effective when compared to the control. The lowest accumulation of chromium VI in roots were founded in the treatments TP + HA and AP + HA at the rate of 57.8 and 39.38 percents relative to the control in the shoots of radish and pepper, Respectively. alfalfa powder (OM) decreased the Concentration of chromium VI in shoots at pepper by 45.09 percent compared to the control. A negative correlation was observed between soluble phosphorus and chromium VI in the shoots of radish and pepper. It seems that application of phosphate fertilizers and organic compounds can decrease uptake of chromium VI by the plant.

Key words: Chromium VI, Alfalfa Powder, Humic Acid, Correlation

University of Shahrood

Faculty of agriculture

Department of Soil and Water

Effect of irrigation water contaminated with chromium on growth characteristics pepper and radish with the application of fertilizers phosphorus and organic

Ghasem Seydali

Supervisors:

Dr. A. Abbaspour

Dr. H.R. Asghari

Advisors:

Dr. A. Akhyany

september 2015