بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی
گروه خاک و آب

عنوان پایان نامه ارشد

تأثیر شوری و عناصر سنگین بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و ویژگی‌های کمی و کیفی در گیاه اسفناج

دانشجو

محدثه غفاری

اساتید راهنما

دکترهادی قربانی

دکتر مصطفی حیدری

استاد مشاور

مهندس مهدی غفاری

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

زمستان ۱۳۹۳

تقدیم به

«زیباترین نقش های عالم هستی»

پدر بزرگوارم؛

که وجودش سرچشمه لطف است و اسوه تلاش و فداکاری

مادر عزیز و دلسوزم؛

که مظهر مهر و شکیبایی است،

خواهر و برادران مهربان

و

همه کسانی که دوستشان دارم

سپاسگزاری

سپاس بیکران ایزد منان را که در پرتو لایزالش توفیق آموختن میسر نمود تا منت پذیر آستان کبریایی اش باشم. امروز که به توفیق ایزد مهربان، راهی دیگر از زندگی را با موفقیت سپری کردم، پیشانی شکر بر سجده گاه عبودیت می سایم و بر خود واجب می دانم که از منت گذاران این راه قدردانی نمایم و با شهادت قلم چند سطری را به پاس زحمات بی دریغشان بنگارم. در همین راستا بر اساس روایت مشهور لم یشکر مخلوق لم یشکر الخالق، تحت سزاوار است نهایت سپاس قلبی خود را تقدیم حضور اساتید راهنمای گرامیم جناب آقای دکتر هادی قربانی و جناب آقای دکتر مصطفی حیدری گردانم که زحمات بی شائبه ای متحمل گشته اند و در تمامی این مدت با بردباری مرا راهنمایی فرمودند و بی شک انجام مراحل مختلف این پایان نامه بدون حمایت و پشتیبانی ایشان امکان پذیر نبود. از استاد مشاورم جناب آقای مهندس مهدی غفاری به دلیل مشاوره های بی منت و راهنمایی های ارزشمندشان سپاسگزارم. از داوران محترم جناب آقای دکتر شاهین شاهسونی و جناب آقای دکتر علی عباسپور و نیز نماینده محترم تحصیلات تکمیلی آقای دکتر مهدی دلقندی به خاطر نظرات ارزنده و اصلاحات بجا و دلسوزانه شان ممنون و سپاسگزارم.

در این تلاش کوچک با تمام عشق و اشتیاق از پدر و مادر عزیزم نخستین آموزگاران زندگیم بوسه بر دستان مردانه پدر و چشمان دعاگوی مادرم می-زنم، آنان که امروز من آرزوی دیروزشان بود و از خداوند منان می خواهم عمری بیفزاید تا گوشه ای از زحماتشان را جبران کنم، و دوستان همیشگی ام خواهر و برادرانم آن ها که، همواره حامی و مشوقم بوده اند و پیمودن روزهای سخت و آسان زندگی ام بدون دعای خیر و برکت وجودشان غیر ممکن بود. همچنین دوستان و همکلاسی های بسیار خوبم که جای جای این پایان نامه نشانی از حضور پاک و صمیمی آنهاست قدردانی میکنم.

سرو وجودشان، همیشه سرسبز و استوار باد.

محدثه غفاری

تعهد نامه

اینجانب **محدثه غفاری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **علوم خاک** دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه **تأثیر شوری و عناصر سنگین بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و ویژگی‌های کمی و کیفی در گیاه اسفناج** تحت راهنمائی **دکتر هادی قربانی و دکتر مصطفی حیدری** 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 توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه 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 صنعتی 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 .

چکیده

به منظور بررسی اثرات عناصر سنگین سرب و کادمیم در غلظت‌های مختلف شوری بر خصوصیات شیمیایی خاک و چگونگی رشد در گیاه اسفناج، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود در سال ۱۳۹۲ انجام گردید. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح عنصر سنگین: صفر (شاهد یا عدم استفاده از عنصر سنگین)، سرب به میزان ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از منبع نیترات سرب، کادمیم به میزان۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از منبع نیترات کادمیم و ترکیب سرب و کادمیم هرکدام به میزان ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به عنوان فاکتور اول و سه سطح شوری شامل شاهد (صفر)، ۴ و ۸ دسی-زیمنس بر متر به عنوان فاکتور دوم لحاظ گردید. اعمال تنش شوری از مرحله دو برگی با استفاده از نمک NaCl بر گیاه اعمال گردید. نتایج نشان داد در مراحل ۴ و ۱۲ برگی تأثیر شوری و فلزات سنگین بر رنگدانه‌های کارتنوئید، فلاونوئید و آنتوسیانین معنی‌دار بود. بالاترین میزان آنتوسیانین را در مرحله اول نمونه‌برداری تیمار کادمیم به خود اختصاص داد. در مرحله ۱۲ برگی با افزایش سطوح شوری، میزان رنگیزه‌های کارتنوئید، فلاونوئید و آنتوسیانین در تیمار سرب کاهش و در کادمیم افزایش یافت. تجمع مقادیر کلروفیل a و b تحت تأثیر اثرات متقابل شوری و فلزات سنگین قرار گرفت. به طوری‌که با افزایش سطوح شوری، بیشترین میزان کلروفیل a و b در تیمار کادمیم حاصل شد. بیشترین میزان کربوهیدرات محلول در مرحله اول نمونه‌برداری مربوط به تیمار ترکیب سرب و کادمیم در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. در مرحله دوم مشاهده شده که افزایش شوری میزان کربوهیدرات محلول را افزایش داد به طوری که بالاترین میزان کربوهیدرات محلول را تیمارهای ترکیب سرب و کادمیم در سطح شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و سرب و کادمیم در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر دارا بودند. در هر دو مرحله نمونه‌برداری افزایش سطوح شوری به طور معنی‌داری منجر به افزایش میزان Na در اندام هوایی اسفناج گردید. افزایش شوری سبب افزایش غلظت Na در ریشه اسفناج نیز شد. اثر شوری میزان اسیدیته خاک را در مقایسه با تیمار شاهد (شوری صفر) به طور معنی‌داری افزایش داد. هدایت الکتریکی خاک تحت تأثیر اثرات متقابل شوری و فلزات سنگین قرار گرفت.

کلمات کلیدی: اسفناج، سرب، شوری، کادمیم

مقالات مستخرج از پایان نامه

تاثیر سطوح مختلف شوری و عناصرسنگین سرب و کادمیم بر رشد رنگدانه‌های فتوسنتزی و مقادیر سدیم و پتاسیم در اسفناج. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. دانشگاه صنعتی اصفهان. سال ۱۳۹۳.

تاثیر شوری و فلزات سنگین بر رشد، برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و عناصر معدنی اسفناج. اولین کنگره بین المللی و سیزدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات و سومین همایش علوم و تکنولوژی بذر. ۴-۶ شهریور ماه ۱۳۹۳.

تاثیر سرب و کادمیم و سطوح مختلف شوری بر رنگدانه‌های فتوسنتزی اسفناج. دومین همایش ملی گیاهان دارویی و کشاورزی پایدار. ۱ شهریور ۱۳۹۳.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم: کلیات و مرور منابع ۵

۲-۱- گیاهان هالوفیت ۶

۲-۲- اسفناج ۶

۲-۲-۱- شناسنامه ۶

۲-۲-۲- شرح گیاه ۷

۲-۲-۳- ترکیبات موثر در اسفناج ۸

۲-۲-۴- نیاز اکولوژیکی ۸

۲-۲-۵- آماده‌سازی خاک ۸

۲-۲-۶- تاریخ و فواصل کاشت ۹

۲-۲-۷- ارقام اسفناج ۹

۲-۲-۸- کاشت ۱۰

۲-۲-۹- داشت ۱۱

۲-۲-۱۰- برداشت ۱۱

۲-۲-۱۱- خواص دارویی ۱۲

۲-۲-۱۲- مضرات ۱۳

۲-۳- شوری ۱۳

۲-۴- عناصر سنگین ۲۰

۲-۴-۱- معرفی عناصر سنگین ۲۰

۲-۴-۲- تنش عناصر سنگین..... ۲۱
۲-۴-۳- کادمیم..... ۲۲
۲-۴-۴- سرب..... ۲۶
۲-۵- عناصر سنگین و شوری..... ۲۹
فصل سوم: مواد و روش‌ها..... ۳۷
۳-۱- زمان ومشخصات محل اجرای آزمایش..... ۳۸
۳-۲- ویژگی‌های آب و هوایی..... ۳۸
۳-۳- مشخصات طرح آزمایشی..... ۳۸
۳-۴- آماده‌سازی خاک و روش‌های آزمایشی..... ۳۹
۳-۵- اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات محلول برگ..... ۴۰
۳-۶- اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، b و کارتنوئید..... ۴۰
۳-۷- اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین و فلاونوئید..... ۴۱
۳-۸- اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم ریشه و اندام هوایی..... ۴۱
۳-۹- اندازه‌گیری میزان فسفر در ریشه و اندام هوایی..... ۴۲
۳-۱۰-اندازه‌گیری اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک..... ۴۳
۳-۱۱- اندازه‌گیری سایر پارامترها در خاک اولیه..... ۴۳
فصل چهارم: نتایج و بحث..... ۴۵
۴-۱- نتایج تأثیر شوری و فلزات سنگین بر گیاه اسفناج در مراحل ۴ و ۱۲ برگی..... ۴۶
۴-۱-۱- وزن تر و خشک..... ۴۶
۴-۱-۲- رنگیزه‌های فتوسنتزی..... ۴۸
۴-۱-۲-۱-کارتنوئید..... ۴۸
۴-۱-۲-۲- آنتوسیانین..... ۵۱

۴-۱-۲-۳- فلاونوئید ۵۳
۴-۱-۲-۴- کلروفیل a و b ۵۴
۴-۱-۳- عناصر معدنی ۵۶
۴-۱-۳-۱- عناصر معدنی اندام هوایی ۵۶
۴-۱-۳-۱-۱- سدیم ۵۷
۴-۱-۳-۱-۲- پتاسیم ۵۸
۴-۱-۳-۱-۳- فسفر ۵۹
۴-۱-۳-۲- عناصر معدنی ریشه ۵۹
۴-۱-۳-۲-۱- سدیم ۶۰
۴-۱-۳-۲-۲- پتاسیم ۶۰
۴-۱-۳-۲-۳- فسفر ۶۰
۴-۱-۴- کربوهیدرات محلول ۶۱
۴-۲- اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک ۶۳
۴-۲-۱- اسیدیته خاک ۶۴
۴-۲-۲- هدایت الکتریکی خاک ۶۴
۴-۳- نتیجه‌گیری ۶۶
پیشنهادات ۶۷
منابع ۶۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۴-۱). تأثیر فلزات سنگین بر وزن تر و خشک اندام هوایی اسفناج در مرحله ۴ برگی..... ۴۷

شکل (۴-۲). تأثیر سطوح شوری بر وزن تر اندام هوایی اسفناج در مرحله ۱۲ برگی..... ۴۷

شکل (۴-۳). تأثیر سطوح شوری بر میزان کارتنوئید برگ در مرحله ۴ برگی..... ۴۹

شکل (۴-۴). تأثیر فلزات سنگین بر میزان کارتنوئید برگ در مرحله ۴ برگی..... ۵۰

شکل (۴-۵). اثر متقابل سطوح شوری و فلزات سنگین بر میزان کارتنوئید برگ در مرحله ۱۲ برگی..... ۵۱

شکل (۴-۶). تأثیر فلزات سنگین بر میزان آنتوسیانین برگ در مرحله ۴ برگی..... ۵۲

شکل (۴-۷). اثر متقابل سطوح شوری و فلزات سنگین بر میزان آنتوسیانین برگ در مرحله ۱۲ برگی..... ۵۳

شکل (۴-۸). اثر متقابل سطوح شوری و فلزات سنگین بر میزان فلانوئید برگ در مرحله ۱۲برگی.. ۵۴

شکل (۴-۹). تأثیر سطوح مختلف شوری بر میزان سدیم اندام هوایی در مراحل ۴ و ۱۲برگی ۵۸

شکل (۴-۱۰). تأثیر فلزات سنگین بر روی پتاسیم اندام هوایی در مرحله ۱۲ برگی..... ۵۹

شکل (۴-۱۱). تأثیر سطوح شوری بر میزان سدیم ریشه..... ۶۰

شکل (۴-۱۲). اثر متقابل سطوح مختلف شوری و فلزات سنگین بر میزان کربوهیدرات محلول برگ در مرحله ۴ برگی..... ۶۲

شکل (۴-۱۳). اثر متقابل سطوح مختلف شوری و فلزات سنگین بر میزان کربوهیدرات محلول برگ در مرحله ۱۲ برگی..... ۶۳

شکل (۴-۱۴). تأثیر سطوح مختلف شوری بر میزان اسیدیته خاک..... ۶۴

شکل (۴-۱۵). اثر متقابل سطوح مختلف شوری و فلزات سنگین بر میزان هدایت الکتریکی خاک... ۶۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (۲-۱). مشخصات اسفناج..... ۶

جدول (۳-۱). نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش..... ۴۳

جدول (۴-۱). نتایج تجزیه واریانس وزن تر و خشک اندام هوایی اسفناج در مراحل ۴ و ۱۲ برگی..... ۴۶

جدول (۴-۲). نتایج تجزیه واریانس میزان کاروتنوئید، آنتوسیانین و فلاونوئید برگ اسفناج در مراحل ۴ و ۱۲ برگی..... ۴۸

جدول (۴-۳). نتایج تجزیه واریانس میزان کلروفیل a وb برگ اسفناج در مراحل ۴ و ۱۲برگی..... ۵۴

جدول (۴-۴). اثرات متقابل سطوح شوری و عناصر سنگین بر میزان کلروفیل a و b در مراحل ۴ و ۱۲ برگی..... ۵۶

جدول (۴-۵). نتایج تجزیه واریانس میزان عناصر معدنی اندام هوایی اسفناج در مراحل ۴ و ۱۲برگی.... ۵۷

جدول (۴-۶). نتایج تجزیه واریانس میزان عناصر معدنی ریشه اسفناج..... ۵۹

جدول (۴-۷). نتایج تجزیه واریانس کربوهیدرات محلول برگ اسفناج در مراحل ۴ و ۱۲ برگی..... ۶۱

جدول (۴-۸). نتایج تجزیه واریانس اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک..... ۶۳

فصل اول

مقدمه

امروزه خاک، این منبع با ارزش زیستی که حیات انسان‌ها بدان وابسته است از طرق مختلف در معرض آلودگی قرار دارد. شوری و آلودگی خاک با فلزات سنگین، دو مشکل اساسی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان هستند (هلال و همکاران، ۱۹۹۵). حدود ۶ درصد از زمین‌های جهان و حدود ۲۳ درصد از اراضی تحت کشت با مشکل شوری مواجه هستند (فائو، ۲۰۰۵). شوری با تأثیر گذاشتن بر روی بیشتر فعالیت‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی، رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار داده و منجر به کاهش تولید محصولات کشاورزی می‌شود (بایبوردی و همکاران، ۱۳۸۹). آلودگی آب و خاک به فلزات سنگین، نیز ضمن کاهش عملکرد و کیفیت محصول، پایداری تولید کشاورزی و سلامت افراد جامعه را با خطر مواجه می‌کند (ثواقبی و ملکوتی، ۱۳۷۹). در میان فلزات سنگین کادمیم و سرب دارای اهمیت ویژه‌ای است، زیرا به راحتی جذب ریشه گیاه شده و سمیت آن‌ها برای گیاهان تا ۲۰ برابر بیشتر از سایر فلزات سنگین است (ثواقبی و ملکوتی، ۱۳۷۹). کادمیم عنصری با وزن اتمی۱۱۲/۴، نقطه ذوب ۳۲۱ و نقطه جوش ۷۶۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این فلز از طریق حفاری، صنایع فلزی و شیمیایی، آبکاری و کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها وارد محیط زیست می‌شود. کادمیم ممکن است موجب ضایعات کلیوی، افزایش فشار خون، جهش‌زایی و سرطان‌زایی در انسان شود (ناظمی و خسروی، ۱۳۸۹). با وجود آن‌که pH مهم‌ترین عامل کنترل کننده غلظت کادمیم خاک محسوب شده و به نظر می‌رسد در خاک‌های آهکی و قلیایی، غلظت کادمیم محلول خاک ناچیز باشد، ولی نتایج بررسی‌های متعددی نشان داده که نقش شوری در افزایش حلالیت کادمیم، می‌تواند حتی مهم‌تر از pH باشد (بینگهام و همکاران، ۱۹۸۴؛ مک‌لاگلین و همکاران، ۱۹۹۴).

سرب فلزی سنگین خاکستری مایل به آبی رنگ، با عدد اتمی ۸۲ و نقطه ذوب ۳۲۷ درجه سانتی گراد است. این عنصر در گیاهان و خاک به مقدار بسیار کم یافت می‌شود. ولی در خاک‌های اسیدی حلالیت آن زیاد می‌شود و برای گیاهان سمی خواهد شد (آلدریچ و فنچ، ۲۰۰۰). سرب یکی از پردوام‌ترین فلزات است که می‌تواند ۵۰ تا ۱۵۰ سال در خاک باقی بماند. جذب سرب در گیاهان توسط pH، اندازه ذرات، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و همچنین تراوش ریشه و سایر پارامترهای

فیزیکی و شیمیایی تنظیم می‌گردد (کناسمولر و همکاران، ۱۹۹۸). در سال‌های اخیر توجه به فلزات سنگین در خاک‌ها به دلیل آثار نامطلوب آن‌ها بر فعالیت‌های متابولیکی و فیزیولوژیکی گیاهان و اثرات سوئی که بر کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی می‌گذارند، افزایش یافته است (مکلین و بلدسو، ۱۹۹۲). به علاوه آلودگی خاک توسط فلزات سنگین، خطرات جدی را برای سلامت انسان و سایر موجودات زنده به همراه دارد (هال، ۲۰۰۲؛ احمدی‌زاده، ۱۳۷۶).

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر شوری و عناصر سنگین بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و ویژگی‌های کمی و کیفی در گیاه اسفناج انجام شد.

فصل دوم

کلیات و مرور منابع

۲-۱- گیاهان هالوفیت

گیاهانی که یون‌های شوری‌زا را به آسانی در خود انباشته می‌کنند، هالوفیت[۱] نام دارند. هالوفیت‌ها در بین علوفه‌های مقاوم به شوری، گیاهان و بوته‌های کویری نواحی ساحلی و باتلاق‌های شور یافت می‌شوند. این گیاهان زمین‌ها را در برابر فرسایش محافظت کرده و دام‌ها و زندگی وحش را تغذیه می‌کنند. تعداد کمی از آن‌ها نیز جزء گونه‌های زراعی هستند. از جمله گیاهانی که به شوری مقاوم هستند می‌توان به چغندرقند، خرما، اسفناج و جو اشاره کرد (عصری، ۱۳۷۲).

هالوفیت‌های دارای برگ‌های آبدار برای رشد مطلوب به نمک احتیاج دارند و ممکن است یون سدیم و کلر در سلول‌های آن‌ها کار تنظیم اسمزی را انجام دهند (یازیسی و همکاران، ۲۰۰۷). تحمل به شوری در گیاهان متحمل به شوری نسبت به گیاهان حساس با افزایش غلظت نمک و اثرات اسمزی افزایش می‌یابد. گیاهان متحمل به شوری قادرند آب را از خاک‌های شور جذب کنند. گیاهان حساس در خاک‌های شور در غلظت‌های کم نمک نیز آسیب می‌بینند (بلای لاک، ۱۹۹۴).

۲-۲- اسفناج

۲-۲-۱- شناسنامه

جدول(۲-۱). مشخصات اسفناج

تیره	*Chenopodiaceae*(*Salsolaceae*)
نام لاتین	*Spinacia oleracea* L.
نام انگلیسی	Garden spinach – Common spinage
نام فارسی	اسفناج
نام عربی	اسبانج

[۱] Halophyte

اسفناج با نام علمی *Spinacia oleracea* L یکی از گیاهان دو لپه‌ای است و جزء سبزی‌های مهم خانواده چغندریان می‌باشد. اسفناج بومی مناطق مرکزی آسیا و به احتمال قوی ایران است که بیش از ۲۰۰۰ سال سابقه کشت دارد (عرفانی و همکاران، ۱۳۸۵). اسفناج از اوائل قرن اول میلادی کم کم به نقاط دیگر دنیا راه یافت. به طوری که در تاریخ مسطور است اسفناج در قرن هفتم در چین و در قرن دوازدهم در اسپانیا کشت شده است. کشت اسفناج در سال ۱۸۰۶ در آمریکا شروع شد (کاوازو و همکاران، ۲۰۰۳؛ کال و برگ، ۱۹۹۳). اسفناج از مهم‌ترین سبزی‌های برگی است که دارای ارزش غذایی مهمی بوده و برگ‌ها و ساقه‌ها ظریف آن به صورت تازه و یا فرآوری شده مصرف می‌شود (سالانخه و همکاران، ۱۹۹۱).

۲-۲-۲- شرح گیاه

اسفناج گیاهی است یک ساله و روز بلند که پس از سبز شدن تولید برگ‌های طوقه‌ای[۱] می‌کند به این ترتیب در یک سطح در اطراف ساقه کوتاهی به طول چند میلی‌متر نزدیک به سطح خاک قرار می‌گیرند. در طی رشد بعدی این ساقه طویل شده و از آن شاخه‌های جانبی دیگری از محل برگ‌های طوقه‌ای به ساقه اصلی منشعب می‌شوند. ممکن است از ساقه اصلی ساقه‌های فرعی درجه ۱ و ۲ همراه با شاخه‌های جانبی درجه ۱ و ۲ نیز به وجود آیند. اندازه گیاه می‌تواند بین ۱۰ تا ۸ سانتی‌متر متناوب باشد. ریشه اصلی گیاه عمیق است و می‌تواند تا عمق ۱۴۰ سانتی‌متری در خاک نفوذ کند از این نظر می‌توان این گیاه را در خاک‌های شور به خوبی کشت نمود. ریشه‌های فرعی این گیاه دوکی شکل و حداکثر تا ۶۰ سانتی‌متری خاک پراکنده‌اند، برگ‌ها در ارقام مختلف دارای فرم و رنگ متفاوتی هستند و به شکل‌های تخم مرغی، بیضوی و یا نیزه‌ای وجود دارند کناره برگ‌ها می‌تواند کاملاً صاف و یا دندانه‌دار باشد. پهنک برگ نیز صاف و یا دارای چین و چروک است. گل‌های نر و ماده می‌توانند روی یک یا دو پایه قرار گیرند (اسدی قارنه، ۱۳۸۷).

[۱] Rossete

۲-۲-۳- ترکیبات موثر در اسفناج

اسفناج بین ۴۲ نوع میوه و سبزی از نظر مقدار نسبی۱۰ نوع ویتامین در رتبه دوم اهمیت قرار دارد (سالانخه و همکاران، ۱۹۹۱) و یک منبع عالی از مواد معدنی و ویتامین‌های به ویژه ویتامین ث به شمار می‌رود. اسفناج غنی از کلسیم و آهن است که کلسیم آن به صورت اکسالات کلسیم بوده و غیرقابل دسترس می‌باشد (عرفانی و همکاران، ۱۳۸۵). همچنین اگزالیک اسید با منیزیم و آهن ترکیب شده و آن‌ها را غیر قابل دسترس می‌کند. برگ اسفناج دارای ۳/۲ درصد پروتئین می‌باشد و پروتئین برگ آن پایین آورنده کلسترول است (رابتکی و یاماکوجی، ۱۹۹۷). برگ اسفناج دارای ۰/۶ درصد چربی بوده و لینولنیک اسید و لینولئیک اسید از جمله مهم‌ترین اسیدهای چرب برگ این گیاه است (عرفانی و همکاران، ۱۳۸۵). مقدار فیبر موجود در برگ اسفناج ۰/۶۵ درصد گزارش شده است. اسفناج غنی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از جمله بتکاروتن و لوتئین است. این دو ترکیب خاصیت آنتی اکسیدانی داشته و ضد سرطان هستند (رابتکی و یاماکوجی، ۱۹۹۷).

۲-۲-۴- نیاز اکولوژیکی

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

۲-۲-۵- آماده سازی خاک

هر چند که می‌توان اسفناج را در کلیه زمین‌ها کشت نمود ولی خاک‌های خیلی سبک و خیلی سنگین برای رشد و نمو گیاه مناسب نیستند. بهترین خاک برای اسفناج حد واسط آن دو و اراضی نم‌دار و حاصلخیز است. این گیاه در مقابل زمین‌های آبگیر، خشک و PH خاک بسیار حساس است.

مناسب‌ترین PH برای این گیاه بین ۶ تا ۷ است. اسفناج در مقابل درجه اسیدی پایین‌تر به وضوح عکس العمل نشان داده و نتیجه خوبی نمی‌دهد. زمین‌های عمیق با بافت خوب و هوموس و رطوبت کافی برای اسفناج مناسب است.

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

۲-۲-۶- تاریخ و فواصل کاشت

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

۲-۲-۷- ارقام اسفناج

ارقام اسفناج را براساس خاردار یا بدون خار بودن بذر، صاف و ناصافی برگ‌ها و نیز براساس رنگ برگ‌ها به انواع بهاره، پاییزه و زمستانه طبقه‌بندی می‌کنند. در انتخاب ارقام نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرد: سرعت رشد (سریع بودن رشد و نمو)، تمایل کم به گل رفتن، یکسان و یک اندازه بودن برگ‌ها، تمایل کم به زرد شدن برگ‌ها، مقاومت در برابر آفات و امراض (مخصوصاً در مقابل سفیدک دروغین (*Pernospora farinosa*)) و مقاوم بودن در مقابل سرمای سخت زمستان.

در کشت گلخانه‌ای طی زمستان از ارقامی که دارای رشد سریع بوده و در مقابل شدت تابش و دمای کم حساسیتی نشان نمی‌دهند استفاده می‌شود. بذر اسفناج در موقع جوانه زدن در مقابل گرمای زیاد، کمبود آب و اکسیژن بسیار حساس است. کمبود اکسیژن معمولا در زمین‌های آبگیر و خاک‌های رسی بوجود می‌آید. جوانه زدن بذر در دمای پایینی صورت می‌گیرد حتی در صفر درجه سانتی‌گراد بنابراین برای سبز شدن یک دست بذر در مزارع باید در فصولی از سال که دمای هوا پایین و متوسط است بذر پاشی انجام شود (اسدی قارنه، ۱۳۸۷).

۲-۲-۸- کاشت

اسفناج را می‌توان به طور دست پاش، خطی و در سبزیکاری سطوح بزرگ با ماشین بذر پاشی کرد. استفاده از کودهای حیوانی در زمین‌هایی که از نظر مواد آلی ضعیف هستند توصیه می‌شود در هر صورت باید از کود حیوانی کاملا پوسیده استفاده شود. چنانچه بخواهیم از کود تازه استفاده کنیم باید آن را چند ماه قبل از کاشت به زمین داد زیرا ریشه اسفناج در مقابل پاره‌ای از بیماری‌های قارچی که باعث پوسیدگی ریشه می‌شوند حساس است کود شیمیایی را باید موقعی به زمین داد که در فاصله دوره رویش در دسترس گیاه قرار گیرد. با توجه به مقدار مواد غذایی موجود در خاک معمولاً حدود ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن،۶۰ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 و ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار K_2O توصیه می‌شود. اسفناج زمین‌های خنثی تا قلیایی را ترجیح می‌دهد. بنابراین می‌توان تا ۴ هفته قبل از کاشت به دادن کودهای آهکی مبادرت ورزید. کود پتاس را در بهار به شکل کلرید به زمین می‌دهند زیرا عرضه زیاد کلرید در خاک کاهش جذب ازت را به دنبال دارد و در شرایط معمول تولیدی باعث کاهش نیترات در گیاه می‌شود معمولاً در کشت بهاره کود شیمیایی را به یکباره، قبل از کاشت به زمین می‌دهند ولی برای انواع زمستانه یک سوم نیتروژن را توأم با تمامی کودهای فسفر و پتاس در اوایل زمستان هنگام کاشت به زمین می‌دهند و دو سوم باقیمانده را در دو مرحله دیگر به صورت کود سرک در اختیار گیاه قرار می‌دهند (اسدی قارنه، ۱۳۸۷).

۲-۲-۹- داشت

مبارزه با علف‌های هرز با فوکا، کولتیواتور و یا با استفاده از علف‌کش‌های شیمیایی صورت می-گیرد. اسفناج احتیاج به آب فراوان دارد و باید در طول دوره رشد در زمین‌های خشک اقدام به آبیاری نمود. آبیاری علاوه بر این که مقدار محصول را افزایش می‌دهد گل دادن قبل از موعد گیاه را نیز به تأخیر می‌اندازد. از بیماری‌های مهم اسفناج سفیدک دروغین (*Pernospora farinosa*) است. استفاده از ارقامی که مقاوم به این بیماری‌اند لازم و ضروری است. ترکیبات آلی فسفره برای مقابله با مگس چغندر (*Pagomia Hyoscyami*) که لاروهای آن در داخل برگ‌های اسفناج دالان‌های مینوز[۱] را می-سازند بسیار موثر است. شته آفیدو پروانه سفید کلم (*Pieries Brassica*) نیز از دیگر آفات این گیاه می‌باشد (اسدی قارنه، ۱۳۸۷).

۲-۲-۱۰- برداشت

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

[۱] Minose

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

۲-۲-۱۱- خواص دارویی

- برگ اسفناج منبع غنی ویتامین A، B_3، C و آهن و پتاسیم می‌باشد.
- بدن را قلیایی می‌کند.
- خنک کننده است و برای پایین آوردن تب مفید است.
- ورم روده کوچک را رفع می‌کند.
- برای ورم ریه مفید است.
- ملین است و یبوست را برطرف می‌کند.
- اسفناج به دلیل داشتن ماده‌ای به نام اسپیناسین هضم غذا را تسریع می‌کند. این ماده باعث تحریک معده و ازدیاد ترشحات آن می‌شود.
- خوردن اسفناج در رفع تشنگی موثر است.
- برای از بین بردن ورم و درد گلو مفید است.
- خوردن اسفناج از سرطان جلوگیری می‌کند مخصوصاً در افرادی که مصرف کننده الکل و سیگار هستند.
- اسفناج در پیشگیری سرطان روده بزرگ، معده، پروستات، حنجره و رحم مؤثر است.
- اسفناج کلسترول خون را پایین می‌آورد.
- بهترین دارو برای کسانی است که مبتلا به کم خونی هستند.
- اسفناج مانند جارو روده بزرگ را تمیز می‌کند.
- ترشحات لوزوالمعده را افزایش می‌دهد.
- اسفناح سبزی مفید برای تقویت اعصاب است.

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

۲-۲-۱۲- مضرات

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

۲-۳- شوری

شوری به عنوان یکی از عوامل محدودکننده رشد گیاه و تولیدات کشاورزی، به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌گردد که علت آن کاهش پتانسیل اسمزی، فراوانی یون‌های سمی و عدم تعادل تغذیه‌ای در این محیط‌ها می‌باشد (پساراکلی، ۱۹۹۹). اصلاح شوری گویای حضور بیش از حد یون‌های محلول در خاک و آب اعم از آب آبیاری، زهکشی و زیرزمینی است. ترکیبات معرف شوری آب و خاک غالباً شامل کاتیون‌های کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، سدیم (Na^{+}) و آنیون‌های کلر (Cl^{-})، سولفات $(SO_4)^{2-}$ و بی‌کربنات $(HCO_3)^{-}$ می‌باشند. پتاسیم (k^{+}) و نیترات $(NO_3)^{-}$ در درجه دوم اهمیت‌اند و به ندرت از عوامل مهم شوری محسوب می‌شوند (هاپکینز و همکاران، ۲۰۰۷).

جعفری و همکاران (۱۳۸۱) و جعفری (۱۳۷۹) اثرات سمی بعضی از این یون‌ها را بر شمرده‌اند:

سدیم: سدیم در کلیه بافت‌های گیاهی وجود دارد، ولی گاهی مقدار آن کمتر از ۰/۱ گرم در هر کیلو ماده خشک گیاهی است. اثرات سمی خاص یون سدیم، ممکن است ناشی از ترکیب سدیم جذب نشده با آنیون‌های موجود در محلول غذایی باشد. عوارض غلظت زیاد یون سدیم به صورت سوختگی-هایی در کناره یا قسمت‌های داخلی برگ دیده می‌شود. در حالی که در مورد کلر، سوختگی از نوک برگ شروع شده و به طرف پهنه برگ و گاهی کناره‌های برگ پیشرفت می‌کند. همچنین ممکن است

تجمع سدیم در یک گیاه همراه با کاهش کاتیون دیگری در آن گیاه باشد، تا حدی که تعادل کاتیونی گیاه برهم خورد.

کلرور: کاهش رشد محصول بر اثر افزایش غلظت کلرور سدیم در محلول خاک برای گیاهانی چون شبدر، یولاف، جو، یونجه و گندم گزارش شده است. در پاره‌ای موارد، تجمع کلر باعث افزایش قطر و شادابی برگ‌ها می‌شود، ولی در اکثر موارد، علائم تجمع کلر قابل رویت می‌باشد، که متداول‌ترین آن‌ها سوختگی سطح برگ‌ها و کلروزه شدن بافت‌های وسط برگ است که ممکن است به طرف حاشیه برگ گسترش یافته و سرانجام یک دوم تا دو سوم و در بعضی مواقع تمام سطح برگ را بپوشاند. در حالت شدید سوختگی، ممکن است برگ‌ها قطع شوند. شاخه‌های کوچک و توقف رشد ریشه و کاهش میزان محصول و اندازه میوه‌ها از علائم بارز می‌باشد(جعفری ۱۳۷۹).

اثرات شوری به هر ترتیبی که باشد، باعث پیدایش لکه‌های خالی در مزرعه، کم رشدی و کوتاهی گیاه، عدم یکنواختی در وضع ظاهری و ارتفاع بوته‌ها، رنگ سبز تیره مایل به آبی برگ‌ها، ضخیم شدن پوشش برگ‌ها و زردی و سوختگی برگ‌های جوان می‌شود. یک، چندین و یا تمام این علائم ممکن است یک جا در مزرعه‌ای دیده شود. این علائم همیشه نمی‌توانند با قاطعیت وضعیت شور بودن خاک را نشان دهند، چون به عنوان مثال، پیدایش لکه‌های خالی و غیر یکنواختی ارتفاع بوته‌ها، ممکن است در اثر مسطح نبودن زمین، آبیاری غیر یکنواخت و بدی پخش کود باشد (جعفری، ۱۳۷۹). تنش شوری تنها بر یک مرحله رشد گیاه تأثیر نمی‌گذارد، بلکه با توجه به شدت تنش، نوع تنش، میزان مقاومت گیاه، مراحل مختلف رشدی و نوع بافت و اندام گیاهی متفاوت می‌باشد (مس و هافمن، ۱۹۷۷).

پدیده شور شدن یکی از عوامل مؤثر در روند بیابان‌زایی است. شوری در اثر آبیاری نامناسب در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایجاد می‌شود. حتی آب‌های شیرین اندکی نمک‌های محلول سدیم، کلسیم و منیزیم دارند. موقعی که این آب در خاک‌های گرم و خشک که در آن‌ها زهکشی کم و تبخیر و تعرق بالاست استفاده می‌شود، آب تبخیر شده و نمک روی زمین باقی می‌ماند که معمولاً

کریستال‌هایی را تشکیل می‌دهد. این مشکل در اقلیم‌های مرطوب و نیمه مرطوب که بارندگی نمک های محلول را در خاک شستشو می‌دهد، وجود ندارد (جعفری و همکاران، ۱۳۸۱). قاسمی و همکاران (۱۹۹۵) شوری را به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم کردند. شوری اولیه در اثر بالا بودن نمک در سنگ مادری و یا وجود یک لایه کم عمق آب زیرزمینی شور می‌باشد و همچنین در مناطق خشک و نیمه خشک که میزان بارندگی کم‌تر از تبخیر و تعرق می‌باشد، موجب کاهش شستشوی نمک از سطح خاک و تجمع نمک می‌شود. شوری ثانویه در اثر آبیاری زمین‌های زراعی وعدم رعایت میزان آبشویی کافی، جنگل زدایی و طغیان رودخانه‌ها ایجاد می‌شود. حدود هزار میلیون هکتار از خشکی‌های کره زمین، تحت تنش شوری هستند. ۱۰ درصد از خشکی‌های زمین به طور طبیعی دارای شوری اولیه می‌باشد. ۱۰ تا۵۰ درصد از اراضی آبی، تولید خود را در اثر شوری از دست داده‌اند و هر ساله حدود ۵ میلیون هکتار از اراضی دنیا به دلیل شوری بهره‌وری خود را از دست می‌دهند (ینسن، ۲۰۰۶). در ایران نیز حدود ۱۶ تا ۲۳ میلیون هکتار از اراضی، شور می‌باشند. این مساحت شامل اراضی قابل کشت، بیابان‌ها، مرداب‌ها، دشت کویر و لوت می‌باشد. به تازگی مساحت این اراضی حدود ۲۵میلیون هکتار تخمین زده شده است و ادعا می شود ۵۰ درصد اراضی تحت آبیاری، شور شده و یا در معرض شور شدن هستند (کافی و همکاران، ۱۳۸۹).

عامل شوری از مهم‌ترین مؤلفه‌های تعیین کننده خصوصیات کیفی آب آبیاری به حساب می‌آید و رابطه تنگاتنگی بین شوری آب آبیاری و شوری اراضی تحت کشت از این آب‌ها برقرار است (عابدی و همکاران، ۱۳۸۱). در عین حال که آبیاری اراضی آبی در جهت تولید محصولات کشاورزی پیشرفت چشم‌گیری داشته است، لیکن آبیاری مفرط و بی‌رویه و تخلیه زه‌آب‌های کشاورزی که به طور گسترده در نواحی خشک و نیمه خشک روی می‌دهد، نه تنها موجبات شور شدن خاک‌ها را فراهم کرده است، بلکه نتیجه‌ای جز آلوده‌سازی آب‌های سطحی و زیرزمینی و سرانجام عقیم ساختن اکولوژیکی بخش وسیعی از سرزمین‌های مزبور نداشته است. از این گذشته، زه‌آب‌های شور عامل انتشار آلاینده‌های ناشی از نمک‌های محلول، کودهای شیمیایی، علف‌کش‌ها و سموم گیاهی بوده که دور نمای کیفیت و

کمیت این آب‌ها را به ویژه در ارتباط با منابع تجدید شونده مربوط بسیار نگران کننده کرده است (عابدی و همکاران، ۱۳۸۱).

در خاک‌های شور، عدم تعادل تغذیه‌ای از مهم‌ترین دلایل کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌باشد. به طور مثال، بالا بودن قدرت یونی محیط‌های شور، عامل مهمی برای کاهش فعالیت فسفر در خاک است (آواد و همکاران، ۱۹۹۰). به عقیده پاپادوپولوس و رندینگ (۱۹۸۳) در خاک‌های شور، به علت رقابت آنیون‌های Cl^- و $H_2PO_4^-$ برای جذب توسط گیاه، جذب فسفر و تجمع آن در اندام هوایی سیب زمینی کاهش می‌یابد. در شرایط تنش شوری، گونه‌هایی که توانایی بیشتری در محدود کردن تجمع نمک‌ها در اندام‌های هوایی داشته باشند، مقاومت بیشتری نیز نسبت به شوری خواهند داشت (آنتکلیف و همکاران، ۱۹۸۳). برخی محققین بر این باورند که در مطالعات مربوط به شوری-عناصر غذایی که بر روی گیاهان غیر شور پسند (مانند گیاهان زراعی و علوفه ای) انجام می‌شود، بهتر است که از ترکیبی از نمک‌ها به عنوان عامل شوری استفاده شود، درحالی که در درصد بالایی از مطالعاتی که دراین زمینه انجام می‌گیرد، از نمک کلرید سدیم به عنوان تنها عامل شوری استفاده می‌شود که باعث محدود شدن گستره تعمیم‌پذیری نتایج و ارتباط آن‌ها به شرایط مزرعه می‌گردد (بویراحمدی و همکاران، ۱۳۹۰).

تحقیقات و مطالعات زیادی از جهات مختلف، بر روی پدیده شور شدن انجام شده و نیز در حال انجام است. به دنبال مطالعاتی که بر روی شوری صورت گرفته است، برخی محققین معتقدند که آبیاری در مناطق خشک و نیمه خشک سبب بالا آمدن سطح آب زیرزمینی، افزایش غلظت نمک و تغییر بافت خاک شده و عواملی مانند فواصل بین آبیاری، آبیاری سطحی، روش نادرست آبیاری، کیفیت نامناسب آب آبیاری و آبیاری در فصول خشک و گرم و روش‌های نادرست زهکشی سبب افزایش شوری خاک شده است (بالبا، ۱۹۹۵). مهم‌ترین تأثیر شوری، اختلال در رشد گیاهان می‌باشد. عبود (۱۹۷۸) گزارش نموده که شوری در ذرت، سرعت رشد گیاه را کاهش داده و ظهور گل‌های نر و ماده را به تأخیر می‌اندازد. همچنین کافی و استوارت (۱۳۷۷) دریافتند، شوری باعث کاهش سطح

فتوسنتزکننده ذرت و در نتیجه کاهش عملکرد گردید. یکی دیگر از اثرات مضر افزایش شوری، تسریع در پیری برگ می‌باشد. پیری برگ در نتیجه کاهش محتوی کلروفیل، تحت تأثیر تنش شوری است و یا به عبارت دیگر تنش شوری غلظت کلروفیل را کاهش می‌دهد (کایا و همکاران، ۲۰۰۲). کاهش غلظت کلروفیل از عوامل مهم تأثیرگذار در میزان ظرفیت فتوسنتزی گیاه به شمار می‌رود. افزایش درجه شوری موجب کارایی ضعیف برگ‌ها در انجام فتوسنتز و تشدید صدمات تنش گردیده است. لذا کاهش پارامترهای رویشی را می‌توان به کاهش میزان مواد فتوسنتزی برای تأمین رشد سبزینه‌ای نسبت داد (قاسم و همکاران، ۲۰۰۳). البته لازم به ذکر است که در برخی از مطالعات عکس نتایج فوق صادق بوده است به طوری که کافی و همکاران (۱۳۸۹) اظهار داشتند، افزایش میزان کلرید سدیم موجب افزایش غلظت کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها در نخود شد.

جعفری و همکاران (۱۳۸۱) طی مطالعه‌ای نقش کیفیت آب آبیاری را در بیابانی شدن اراضی کشاورزی بررسی کردند، نتایج بدست آمده حاکی از آن بود که بعد از یک دوره کشت، میزان شوری، املاح محلول خاک و نسبت جذب سدیم افزایش یافت.

همچنین در پژوهشی که بنادر و نادری (۱۳۸۸) درباره اثر شوری آب آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیکی نیشکر انجام دادند، در اثر افزایش شوری آب آبیاری، تعداد پنجه، شاخص سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، طول و تعداد ریشه کاهش معنی‌داری را در سطوح مختلف شوری نشان دادند.

پوراسماعیلی و همکاران (۱۳۸۴) نیز تأثیر شوری را روی جوانه‌زنی، وزن تر و خشک بررسی کردند، نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش شوری درصد جوانه‌زنی بذرهای گیاه کاهش یافت و در تیمار ۵۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم تقریباً بازداشته شد. در این مطالعه کاهش وزن تر و خشک از شوری ۲۰۰ میلی‌مولار به بعد اتفاق افتاد. نتایج این بررسی‌ها آشکار کرد که شوری به طور معنی‌داری محتوای سدیم، پتاسیم و کلر گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. محتوای سدیم و کلر در بخش هوایی و ریشه در غلظت‌های مختلف شوری در مقایسه با شاهد افزایش یافت و این افزایش در بخش هوایی در

مقایسه با ریشه، بیشتر بود. فرهنگیان کاشانی (۱۳۸۸) اثر تنش شوری را بر میزان کلروفیل در اسپرس و یونجه مورد آزمایش قرار داد. نتایج بدست آمده نشان داد، غلظت‌های بالای تنش، سبب کاهش معنی‌دار کلروفیل در گونه‌ها شد.

براساس مطالعات کینگستون و مهون (۱۹۹۰) جذب املاح سبب سوختگی برگ‌ها، تحت تأثیر قرار گرفتن جذب آب و راست یا لوله شدن برگ‌ها، محدود شدن رشد و در موارد شدیدتر از بین رفتن گیاه می‌شود.

بیجه و موسوی (۱۳۹۰) اثر پتانسیل‌های مختلف اسمزی شوری، بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های اسفناج را بررسی کردند. نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین و کمترین درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ساقچه و ریشه چه، همچنین وزن تر و خشک گیاهچه مربوط به تیمار با سطح شوری صفر (شاهد) و شوری ۱۵۰میلی‌مولار، به عنوان بالاترین غلظت شوری نمک کلرید سدیم بود که بیانگر حساسیت بالای اسفناج به شوری بود. در مطالعه دیگری اعلام شد، شوری خاک باعث کاهش جوانه-زنی، توسعه سلولی برگ‌ها و رشد برگ‌ها می‌شود، همچنین در اثر شوری سطح برگ و ماده خشک تجمعی، سرعت جذب خالص CO_2 و رشد نسبی گیاه نیز کم می‌شود (برناردو و همکاران، ۲۰۰۰). آزمایشات انجام شده بر روی گندم نیز نشان داد که اعمال شوری موجب کاهش وزن خشک، تعداد پنجه، درصد جوانه‌زنی بذر، تعداد برگ، سطح برگ و عملکرد دانه و کاه در گندم شد (حیدری و همکاران، ۲۰۰۷؛ ابوکاظم و همکاران، ۱۹۹۵). رشید و همکاران (۱۹۹۹) در مطالعات خود در تحمل به شوری ارقام مختلف گندم به این نتیجه رسیدند که افزایش معنی‌دار سدیم در برگ‌های جوان با افزایش سطوح شوری مشاهده شد.

زیادی املاح مختلف در خاک یا آب آبیاری، گیاه را با تنش شوری مواجه می‌سازد. گیاه با قرار گرفتن در محیط شور با منفی شدن پتانسیل اسمزی محلول خاک و انباشتگی یون‌های سمی نظیر سدیم و کلر صدمه می‌بیند (عبدل‌زاده و همکاران، ۱۳۸۵). فرانکوئیس (۱۹۹۴) به این نتیجه رسید، با افزایش شوری عملکرد گیاهان به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در گزارش دیگری اعلام شد، با

افزایش شوری، عملکرد ماده خشک، نسبت وزن خشک ریشه به ساقه برگ، ارتفاع بوته و مقدار تعرق کاهش می‌یابد. همچنین آن‌ها اظهار داشتند، شوری موجب کاهش جذب فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، به وسیله ریشه و نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، و منیزیم در اندام‌های هوایی می‌شود، به علاوه شوری سبب افزایش جذب سدیم و کلر به وسیله ریشه و ساقه می‌شود (ایلاهی و همکاران، ۱۹۹۴). بن‌لوچ و همکاران (۱۹۹۴) نیز گزارش نمودند که افزایش یون سدیم در محیط ریشه سبب کاهش میزان جذب یون پتاسیم و پایین آمدن نسبت پتاسیم به سدیم گردید. همچنین با افزایش شوری محیط میزان تبادل دی اکسید کربن کاهش می‌یابد. تحت شرایط شوری، فتوسنتز نسبت به مصرف آسمیلات‌ها در طول رشد کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد و بنابراین قندها و بقیه محصولات متابولیکی انباشته می‌شوند، هر چند که اهمیت نسبی آن‌ها در تنظیم اسمزی بستگی به گونه، بافت و میزان شوری دارد (بایبوردی و همکاران، ۱۳۸۹).

در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، شوری عامل مؤثری در جذب این عناصر توسط گیاه می‌باشد. عموماً افزایش شوری خاک منجر به افزایش چشم‌گیر جذب فلزات سنگین و برخی متابولیت‌ها در گیاهان می‌گردد. همچنین شوری عاملی مهم در انتقال فلزات از ریشه به شاخساره می‌باشد (گاداپاتی و مگفی، ۲۰۰۶). قلاب و عثمان (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای دریافتند که غلظت کلراید عاملی مهم در تعیین زیست فراهمی کادمیم در خاک است و افزایش سطح شوری منجر به کاهش معنی‌دار ماده خشک گیاه و افزایش معنی‌دار غلظت کادمیم در اندام‌های هوایی شد. محققین اظهار داشتند، شوری تأثیر مثبتی بر جذب کادمیم توسط گیاه داشت و این امر احتمالاً به دلیل زیست فراهمی فلزات در خاک ناشی از کاهش جذب کادمیم توسط ذرات خاک است، در حالی که در مورد سرب تأثیر آشکاری از حضور نمک بر انباشت سرب در بافت‌های گیاهی مشاهده نشد. زیرا سرب بر خلاف کادمیم که در خاک و در گیاه متحرک است، در pH های نرمال در خاک نامحلول بوده و همچنین انتقال سرب از ریشه به اندام‌های هوایی به دلیل پیوند آن به سطح ریشه و دیواره سلولی محدود است (مانوسکی و کالوجراکیس، ۲۰۰۹). همچنین دلیل این امر را می‌توان به انتقال کم سرب از ریشه به

شاخساره نسبت داد. گیاهان سرب را در ریشه خود می‌اندوزند و مقادیر اندکی از آن را به شاخسارها و قسمت‌های هوایی خود انتقال می‌دهند (ملون و همکاران، ۱۹۷۴).

۲-۴- عناصر سنگین

۲-۴-۱- معرفی عناصر سنگین

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

براساس تقسیم بندی نایبر و ریچاردسون[۱] (۱۹۸۰) عناصر سنگین به تعدادی از فلزات و یون‌های آن‌ها اطلاق می‌شود که عدد اتمی آن‌ها بیشتر از ۲۰ باشد. از جمله عناصر سنگین می‌توان به کادمیم، روی، سرب، مس، نیکل، جیوه و کروم اشاره کرد. در بین فلزات سنگین سرب، کادمیم و جیوه از مهم-ترین آلوده‌کننده‌ها هستند که در اثر فعالیت‌های مدرن انسانی تولید می‌شوند (یانگ و همکاران، ۱۹۹۶). به صورت کاملاً تئوری هر ۱۰۰۰ کیلوگرم خاک معمولی حاوی ۲۰۰ گرم کروم، ۸۰ گرم نیکل، ۱۶ گرم سرب، ۰/۵ گرم جیوه و ۰/۲گرم کادمیم می‌باشد. حتی محصولات زراعی تولیدی در مناطق کاملاً پاک از نظر آلودگی، عاری از فلزات سنگین نیستند (کافی و مهدوی دامغانی، ۱۳۸۱). فلزات سنگین به طور طبیعی در خاک به عنوان عناصر کمیاب یافت می‌شوند که محدود به معدنی شدن معمول آن‌ها می‌باشد و به آسانی قابل استفاده نمی‌باشند. اشکال قابل استفاده بیولوژیکی در

[۱] Niebore and Richardson

نتیجه فعالیت‌های انسان است. وجود آن‌ها در هوا، خاک و آب حتی در مقادیر ناچیز می‌تواند موجب بروز مشکلات جدی در جانداران گردد. تجمع زیستی فلزات سنگین در زنجیره غذایی می‌تواند بسیار خطرناک باشد (جعفری، ۱۳۸۲).

۲-۴-۲- تنش عناصر سنگین

فلزات سنگین از مهم‌ترین آلاینده‌های محیط زیست می‌باشند و خطری جدی برای موجودات زنده محسوب می‌شوند (بودی و همکاران، ۱۹۹۵). این فلزات در غلظت‌های زیاد بر رشد، نمو و عملکرد گیاه اثر می‌گذارند (مادهاوا راو و اسرستی، ۲۰۰۰) و مانع فعالیت بسیاری از واکنش‌های آنزیمی و متابولیکی در گیاهان می‌شوند (بایکو و همکاران، ۲۰۰۶).

بروز تنش ناشی از عناصر سنگین علائم و خسارات متعدد در گیاهان را در پی دارد. از جمله این که، این عناصر قادر به جلوگیری از طویل شدن ریشه‌ها، کاهش فتوسنتز، کاهش فعالیت‌های آنزیمی و نیز وارد شدن آسیب اکسیداتیو به غشاها می‌باشد (شاه و کلیزیگ، ۱۹۹۹). این اثرات ممکن است موجب حساسیت بیشتر گیاهان به سایر تنش‌ها گردند، که بیشتر در ارتباط با تأثیر فلزات سنگین بر فرآیندهای فیزیولوژیک تأثیرگذار در تنظیم آب گیاه می‌باشد. برای مثال تنش فلزات سنگین از طریق کاهش ظرفیت جذب آب در سیستم ریشه‌ای و احتمالاً بلوکه شدن روزنه‌های آبی و نیز کاهش کارایی مصرف آب، می‌تواند موجب بروز تنش خشکی در گیاه گردد (ریسر و امرسون، ۲۰۰۷).

ژانگ و تیرمن (۱۹۹۹) بیان کردند، جیوه می‌تواند از طریق ترکیب با پروتئین‌های کانالی مربوط به ورود آب، موجب تحریک بسته شدن روزنه‌ها و انسداد فیزیکی جریان آب و نیز اختلال در فعالیت میتوکندری و تحریک آسیب اکسیداتیو در گیاهان گردد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد تجمع جیوه می‌تواند سمی باشد و سطوح سمی آن می‌تواند آسیب‌های واضح و ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی در گیاهان را موجب گردد (ژو و همکاران، ۲۰۰۷). از آنجایی که فلزات سنگین از قبیل مس و روی اجزاء تشکیل‌دهنده‌ی بسیاری از آنزیم‌ها و پروتئین‌های دیگر هستند برای رشد و نمو طبیعی گیاه ضروری

هستند. با این حال، افزایش غلظت هر دو فلز ضروری و فلزات سنگین غیرضروری موجود در خاک می‌تواند به مسمومیت منجر شود و موجب مهار رشد در اکثر گیاهان شود (هال، ۲۰۰۲). سمی بودن این عناصر (مس و روی) ممکن است ناشی از اتصال فلزات گروه‌های سولفیدی در پروتئین‌ها باشد که منجر به ممانعت از فعالیت یا اختلال در ساختار، یا جابجایی یک عنصر اساسی شود و به اثرات کمبود منجر شود (واناسچ و کلیجستر، ۱۹۹۰). ازدیاد روی در گیاه می‌تواند موجب افزایش کمبود مس و منگنز در اندام هوایی گردد (فونتس و کوکس، ۱۹۹۸). از دیگر علایم سمیت روی در گیاهان، برگ-های قرمز متمایل به بنفش می‌باشد که به کمبود فسفر نسبت داده می‌شود (لی و همکاران، ۱۹۹۶). گزارش شده است که سمیت گیاه توسط کروم می‌تواند موجب کاهش رشد، زردی برگ‌های جوان، کاهش محتوای رنگیزه‌ای، تغییر عملکرد آنزیمی، آسیب به سلول‌های ریشه و تغییر شکل فراساختار کلروپلاست و غشاهای سلولی شود (شانکر و همکاران، ۲۰۰۵). برخی دیگر از فلزات سنگین مانند کادمیم از تشکیل کلروفیل از طریق تداخل با تولید پروتوکلروفیلید جلوگیری می‌کنند (پراساد و همکاران، ۲۰۰۴).

۲-۴-۳- کادمیم

کادمیم یک عنصر غیر ضروری و سمی بوده که در غلظت‌های پایین در طبیعت وجود دارد و نیم عمر بیولوژیکی آن ۳۰ سال است (واگنر، ۱۹۹۳). کادمیم برای انسان سمی است و در کلیه‌ها انباشته شده و وظایف آن‌ها را مختل می‌کند (سازمان بهداشت جهانی، ۱۹۹۲). اولین بار در سال ۱۹۶۳ تعدادی از محققان آلودگی‌های کودهای شیمیایی به برخی فلزات سنگین به خصوص کادمیم را به عنوان عامل خطرناکی برای سلامتی انسان و محیط زیست، گزارش کردند (لین و اسکور، ۱۹۷۷). کادمیم معمولاً به طور طبیعی در آب‌های سطحی و زیرزمینی وجود دارد. این عنصر ممکن است به صورت یون هیدراته یا ترکیبات پیچیده معدنی مانند کربنات، هیدروکسید، کلرید یا سولفات و همچنین ترکیبات آلی همراه با اسید هومیک یافت شود. کادمیم از طریق فرسایش خاک و سنگ

بستر، رسوبات آلوده اتمسفری ناشی از کارخانجات صنعتی، پساب مناطق آلوده و استفاده از لجن و کود در کشاورزی وارد اکوسیستم‌های آبی می‌شود. بیشتر کادمیم ورودی به آب‌های شیرین ممکن است به سرعت جذب مواد معلق شده و در اکوسیستم‌های آبی منتشر شوند. رسوبات دریاچه‌ها و رودخانه‌ها حاوی ۰/۲ و در آب‌های شیرین کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر کادمیم است (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۱). ورود کادمیم به زنجیره غذایی و مصرف آن به وسیله انسان و دام، مضر است (نرول و همکاران، ۲۰۰۰). مقدار قابل توجهی کادمیم به صورت ناخالصی در کودهای شیمیایی فسفره وجود داشته که منشأ اصلی آن از سنگ معدن است (بغوری، ۱۳۷۰). امروزه به دلیل رشد سریع جمعیت و در نتیجه تولید هر چه بیشتر مواد زائد آلی از یک سو (الکساندر، ۱۹۹۰) و افزایش تقاضای محصولات کشاورزی از سوی دیگر، مصرف کودهای آلی نظیر کمپوست و لجن فاضلاب به دلیل غنی بودن آن‌ها از بعضی عناصر مورد توجه قرار گرفته است (استوور و همکاران، ۱۹۷۶). از طرفی کود لجن فاضلاب معمولاً دارای غلظت قابل توجهی از عناصر سنگین مانند سرب و کادمیم است. خدیوی و همکاران (۱۳۸۶) رابطه مثبت بین افزایش میزان کادمیم لجن فاضلاب و غلظت کادمیم جذب شده درگندم را گزارش کردند. براساس گزارش سازمان محیط زیست آمریکا، مصرف لجن فاضلاب باعث افزایش غلظت سرب، جیوه، نیکل، سلنیم و کادمیم تا ۱۰۰ برابر غلظت پایه این عناصر در خاک می‌شود (چانگ و همکاران، ۱۹۸۲).

براساس نظریه بمب زمان[۱] این نگرانی وجود دارد که کادمیم موجود در خاک‌هایی که با لجن فاضلاب، کودهای فسفاته حاوی کادمیم و سایر ترکیبات حاوی کادمیم تیمار شده‌اند، با گذشت زمان متحرک شده و قابلیت دسترسی آن‌ها برای گیاه افزایش یابد (آندرسن و همکاران، ۲۰۰۲؛ مک گراث و همکاران، ۱۹۹۵). کادمیم در بین فلزات سنگین میل ترکیبی کمی برای اتصال به فازهای تثبیت کننده خاک، نظیر اکسیدها و کلات‌ها دارد. بنابراین قابلیت جذب این عنصر توسط گیاه و انتقال آن به شاخساره گیاه زیاد است (کاباتا-پندیاس و همکاران، ۱۹۹۲). کادمیم همچنین توانایی بالایی برای

[۱] Time bomb effect

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

میزان تجمع کادمیم در کاهو، اسفناج، کرفس، کلم، گوجه فرنگی، شلغم و سیب زمینی زیاد بوده و در گیاهانی مثل لوبیا، ذرت و نخود کمتر است (الووی، ۱۹۹۵). از علائم سمیت کادمیم در گیاهان، ایجاد حالت کلروزه و نکروزه در برگ، تغییر رنگ برگ از سبز به قهوه‌ای، افت عملکرد و تغییر در سطح سایر عناصر ریز مغذی در گیاه می‌باشد (لایگریفول و همکاران، ۱۹۹۸). اثرات دیگر سمیت کادمیم، تنش‌های اکسیداتیو است که باعث آسیب به سلول در نتیجه تولید مواد اکسیدکننده نظیر سوپراکساید، هیدروژن پراکساید و رادیکال‌های هیدروکسیل می‌باشد (ژآاو و همکاران، ۲۰۰۵). علائم عمومی ناشی از جذب مقادیر اضافی کادمیم در گیاه، کاهش رشد ریشه و چوب پنبه‌ای شدن ساختمان آن، تداخل با جذب و انتقال عناصر غذایی، کاهش میزان کلروفیل و اختلال در فعالیت آنزیم‌های درگیر در فتوسنتز می‌باشد (کوله لی و همکاران، ۲۰۰۴). کادمیم با عناصر پر مصرف نظیر فسفر، کلسیم و منیزیم و عناصر کم مصرف مثل آهن، منگنز، مس و روی جهت انتقال از طریق پروتئین‌های ناقل موجود در غشای سلولی، رقابت می‌کند (شارما و آگراوال، ۲۰۰۶). به طور کلی قابلیت دسترسی کادمیم خاک برای گیاه تحت تأثیر مقدار و منشأ کادمیم، pH، مقدار ماده آلی، مقدار و نوع رس، رقابت سایر عناصر به ویژه روی، ظرفیت تبادل کاتیونی و شوری می‌باشد (لی و همکاران، ۱۹۹۴؛ بینگهام و همکاران، ۱۹۸۴). قابلیت دسترسی فلزات سنگین با pH خاک رابطه معکوس دارد

(واثقی و همکاران، ۱۳۸۲). اسمیت (۱۹۹۴) گزارش کرد که رسوب عناصر به صورت هیدروکسیدها و کربنات‌های نامحلول و کمپلکس‌های آلی، با افزایش pH خاک افزایش می‌یابد. بنابراین قابلیت دسترسی فلزات سنگین خاک برای گیاهان در pH کم نسبت به pH زیاد بیشتر است. کاهش pH، کمبود هوموس و میزان رس موجود در خاک، قدرت تحرک و توانایی گیاه را برای جذب فلزات سنگین افزایش می‌دهند. در مطالعات متعدد دیگری اعلام شد، هر چند که pH نقش تعیین کننده‌ای در غلظت کادمیم خاک دارد ولی نقش شوری در افزایش حلالیت کادمیم، می‌تواند حتی مهم‌تر از pH باشد (مک‌لاگلین و همکاران، ۱۹۹۴؛ بینگهام و همکاران، ۱۹۸۴).

معمولاً کادمیم در جذب و انتقال عناصری مانند: کلسیم، منیزیم، فسفر، پتاسیم و همچنین آب در گیاه دخالت دارد. کادمیم بر فرآیندهای اصلی گیاهان نظیر فتوسنتز، تکثیر سلولی و جذب آب توسط ریشه‌های گیاهان اثر می‌گذارد (داس و همکاران، ۲۰۰۰). نتایج نشان می‌دهد که آلودگی شدید خاک با کادمیم، سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی در گیاه اسفناج می‌شود. از آنجا که کادمیم به عنوان عنصر سمی برای گیاه در نظر گرفته می‌شود، کاهش رشد گیاه در نتیجه سمیت کادمیم دور از انتظار نیست. سمیت کادمیم ناشی از اختلالاتی است که کادمیم در فعالیت آنزیم‌ها ایجاد می‌کند. عناصر سنگین و به ویژه کادمیم با تأثیر بر میزان فتوسنتز و کاهش میزان کلروفیل در گیاه باعث کاهش عملکرد گیاه شده و اثرات منفی و مخرب را در گیاه به جای می‌گذارند (رضاخانی و همکاران، ۱۳۹۱). در پژوهش رجایی (۱۳۸۵) گزارش کرد که کادمیم، وزن‌تر و خشک اسفناج را کاهش داد. دهیری و همکاران (۲۰۰۷) نیز ذکر کردند که کاربرد کادمیم باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی اسفناج شد. تالاتام و پریدا (۲۰۰۹) کاهش وزن تر و خشک گیاه اسفناج را با افزایش غلظت کادمیم گزارش کردند که می‌تواند بدلیل اثرات منفی کادمیم بر روی مکانیسم تولید انرژی در میتوکندری و کلروپلاست باشد. کاهش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a و b و رنگدانه‌های فرعی مانند کاروتنوئیدها در اثر اعمال فلزات سنگین مانند مس، روی و سرب در بسیاری از گونه‌های گیاهی گزارش شده است (واناسچ و کلیجستر، ۱۹۹۰). جایگزین شدن یون منیزیم مرکزی کلروفیل به وسیله

فلزات سنگین صدمه دیگری است که باعث جلوگیری از به دام انداختن نور فتوسنتزی و در نتیجه از بین رفتن کلروفیل و کاهش فعالیت فتوسنتزی می‌شود (پرساد و استرازالکا، ۱۹۹۹). بیکر و پروکتور (۱۹۹۰) نشان دادند که مقدار کلروفیل تابعی از غلظت کادمیم در بافت‌های گیاهی می‌باشد، لذا از غلظت کلروفیل به عنوان شاخصی جهت تعیین حد بحرانی کادمیم در گیاهان استفاده می‌گردد. انباشته شدن کادمیم در بسیاری از گیاهان باعث کمبود آهن، منیزیم و کلسیم می‌شود و سنتز کلروفیل را متوقف می‌کند و سرعت رشد و فتوسنتر را به شدت کاهش می‌دهد (موبین و خان، ۲۰۰۷). این در حالی است که پزمیک و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند، در شرایط تنش فلزات سنگین فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها، ترکیب‌های فنلی و حتی کاروتنوئیدها فعال شده و از گیاه محافظت می‌کنند و مانع از تخریب کلروفیل می‌شوند. فعالیت چنین سیستم‌هایی در گیاه ضروری به نظر می-رسد، زیرا شرایط بهینه را جهت رشد گیاه فراهم می‌آورد. علاوه بر این نشان داده شده است که فلاونول‌ها در کنار توکوفرول‌ها، آسکوربیک اسید، گلوتاتیون و کاروتنوئیدها می‌توانند به خوبی نقش دفاع آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی را بازی کنند (جکولا و همکاران، ۲۰۰۲).

۲-۴-۴- سرب

سرب فلزی سنگین خاکستری مایل به آبی رنگ، با عدد اتمی ۸۲ و نقطه ذوب ۳۲۷ درجه سانتی‌گراد است. این عنصر در گیاهان و خاک به مقدار بسیار کم یافت می‌شود. ولی در خاک‌های اسیدی حلالیت آن زیاد می‌شود و برای گیاهان سمی خواهد شد (آلدریچ و فنچ، ۲۰۰۰). لذا باران‌های اسیدی به طور غیر مستقیم در افزایش مسمومیت گیاهان و جانوران نقش دارند. از بین تمام ترکیبات سرب، تنها تترا اتیل سرب که در بنزین به عنوان ماده بالا برنده درجه اکتان مصرف می‌شود. در دمای معمولی اتاق قابل تصعید است. لذا از سمی‌ترین ترکیبات سرب محسوب می‌شود. سرب از طریق پوست، دستگاه گوارش و تنفس جذب می‌شود (احمدی زاده، ۱۳۷۶). مهم‌ترین راه‌های ورود سرب به بدن تنفس و پس از آن گوارش می‌باشد. جذب شدن از طریق پوست بستگی به نوع ترکیب آن دارد.

ترکیبات معدنی سرب به کندی، در حالی که ترکیبات آلی سرب چون استات و اولئات سرب به خوبی از راه پوست جذب می‌شوند، تترا اتیل سرب نیز به صورت مایع یا بخار از راه پوست جذب بدن می-گردد (پژومند و شریعت، ۱۳۷۷).

شایع‌ترین علت مسمومیت با سرب، جذب ذرات سرب موجود در هوا از طریق مجاری تنفسی است به خصوص در صنایعی که گرد وغبار و بخارات و دود سرب تولید می‌شود. جذب سرب از طریق استنشاق در افراد بالغ حدود ۱۰ درصد و در اطفال حدود۴۰ درصد می‌باشد که حدود ۹۵ درصد آن جذب خون می‌شود و مابقی به دنبال هوای بازدم خارج شده یا قسمت فوقانی دستگاه تنفسی تجمع می‌یابد و مجدداً بلع می‌گردد (آمودیو-کوسیری و فیور، ۱۹۸۷).

در بین فلزات سنگین، سرب دارای اهمیت ویژه‌ای است زیرا به راحتی توسط سیستم ریشه‌ای گیاه جذب می‌شود و سمیت آن برای گیاه بین ۲ تا ۲۰ برابر سایر فلزات سنگین می‌باشد. سرب یکی از پردوام‌ترین فلزات است که می‌تواند ۵۰ تا ۱۵۰ سال در خاک باقی بماند (کناسمولر و همکاران، ۱۹۹۸). جذب سرب در گیاهان توسط pH، اندازه ذرات، ظریفیت تبادل کاتیونی خاک و همچنین تراوش ریشه و سایر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی تنظیم می‌گردد. سرب بعد از جذب توسط گیاه برای آن ایجاد مسمومیت می‌کند، سرب ایجاد گونه‌های فعال اکسیژن را در گیاه افزایش می‌دهد و منجر به ایجاد تنش اکسیدی در آن‌ها می‌شود، بنابراین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی خاصی در چنین گیاهانی دیده می‌شود (شارما و دوبی، ۲۰۰۵).

مکانیسم‌های اثر آلودگی سرب عبارتند از: ۱- واکنش با گروه تیول یا کاتیون ۲- تغییر در نفوذپذیری غشاء سلول ۳- جانشینی با عناصر ضروری مثل فسفات، نیترات، آرسنات، فلورات، بورات، برومات و تن‌گستات ۴- آسیب به تشکیلات فتوسنتزی که بیشترین اثر ناشی از فلزات سنگین مربوط به آن است (پندیاز و پندیاز، ۲۰۰۱).

آب‌ها به واسطه عبور در مسیر معادن سرب و نیز راه‌یابی فاضلاب کارخانجاتی چون صنایع باطری‌سازی، کریستال‌سازی، رنگ‌سازی و. . . آلوده می‌شوند. این آب‌ها موجب تجمع سرب در گیاهان

و جانوران می‌گردد. مطالعات بیانگر ارتباط مستقیم بین غلظت سرب موجود در آب‌ها و لجن و غلظت آن در بافت‌های آبزیان است و از طرف دیگر آبیاری مزارع و مراتع به وسیله این آب‌ها منجر به افزایش میزان سرب در بافت‌های گیاهی و به دنبال آن افزایش میزان سرب در شیر، گوشت دام‌ها و تخم مرغ می‌شود (اسماعیلی و بیداری، ۱۳۷۱). خاک‌های آلوده به سرب سبب کاهش شدید محصول شده و به این ترتیب موجب بروز مشکلات جدی در امر کشاورزی می‌شود.

بافت‌های گیاهی نقش مهمی درتعدیل سمیت فلزات سنگین از جمله سرب ایفاء می‌کنند. برگ-های گیاهان تفاوت گسترده‌ای در توانایی تجمع سرب بسته به سن برگ دارند. حداکثر محتوای سرب در برگ‌های پیر و حداقل آن در برگ‌های جوان دیده می‌شود (اسلام و همکاران، ۲۰۰۸). به علاوه غلظت بالای سرب سنتز کلروفیل را از طریق مختل کردن جذب دیگر یون‌های اساسی مانند: منیزیم و آهن به وسیله گیاهان متوقف می‌کنند (بروزینسکی، ۱۹۸۷). گیاهان توانایی زیادی در جذب سرب از طریق ریشه‌ها دارند در حالی که انتقال سرب به بخش‌های هوایی گیاهان بسیار محدود انجام می-شود (لان و مارتین، ۱۹۹۷). از جمله اثرات منفی سرب بر رشد گیاهان می‌توان به اثر آن در کاهش زیست‌توده[۱] بخش‌های ریشه‌ای، هوایی و کاهش عملکرد اشاره کرد. اثرات سمی سرب بر فتوسنتز گیاهان از روش‌های مختلفی اعمال می‌شود که از آن جمله می‌توان به کاهش بیوسنتز کلروفیل از طریق کاهش غلظت عناصر ضروری منیزیم و آهن در برگ‌ها، ایجاد کمپلکس با پروتئین‌های فتوسنتزی و افزایش فعالیت کلروفیلاز جهت تجزیه کلروفیل اشاره کرد (شارما و دوبی، ۲۰۰۵). گیاهان سرب بیشتری را در غلظت‌های بالای شوری نسبت به غلظت‌های کم آن اندوختند و علایم سمیت سرب تنها در تیمار شاهد غیر شور دیده شد (مانوسکی و کالوجراکیس، ۲۰۰۹).

---

[۱] Biomass

۲-۵- عناصر سنگین و شوری

همانطور که قبلاً نیز ذکر شد، کادمیم و سرب از جمله فلزات سنگینی هستند که عملکرد بیولوژیکی حیاتی ندارند و حتی در غلظت‌های کم برای موجودات زنده بسیار سمی هستند (کنسمولر و همکاران، ۱۹۹۸). سرب وکادمیم آلودگی‌های پر وسعت خاک در اکثر مناطق می‌باشند که از راه-هایی گوناگون از جمله نهشته‌های اتمسفری، دود اتومبیل‌ها، کاربرد پسماندهای صنعتی و لجن فاضلاب به خاک راه می‌یابند (تیلر، ۱۹۸۹). غلظت‌های بالای کادمیم در زنجیره غذایی برای انسان خطرناک است و باعث بیماری‌های کلیوی و کبدی، مشکلات استخوانی و بیماری‌های عصبی می‌شود. علاوه بر این توازن سایر عناصر معدنی مانند کلسیم و فسفر بدن در حضور مقادیر بالای کادمیم به هم می‌خورد (سازمان بهداشت جهانی، ۱۹۹۲).

طبق تحقیقات فیشر و همکاران (۱۹۹۸) و نیز کاراتاگلیس و همکاران (۱۹۹۱) اولین اثر کادمیم بر گیاه، کاهش فتوسنتز است. کاهش سنتز کلروفیل و فتوسنتز در اثر سمیت کادمیم، باعث کاهش زیست‌توده گیاه می‌شود (پادماجا و همکاران، ۱۹۹۰). حقیقی و همکاران (۱۳۸۷) تغییرات فعالیت فتوسنتزی و آنزیمی کاهو را تحت تأثیر سمیت کادمیم بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که کادمیم و افزایش غلظت آن با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های پراکسیداز و سوپراکسید دسموتاز، کاهش زیست توده و کاهش طول برگ همراه بود. اثرات سمی افزایش کادمیم با گذشت زمان بر روی فاکتورهای رشدی متفاوت بود، اما همه شاخص‌های رشدی اندازه‌گیری شده مانند کلروفیل، فتوسنتز و تعرق در اثر تنش کادمیم کاهش یافتند. همچنین با افزایش غلظت کادمیم، ضریب انتقال کادمیم به گیاه نیز افزایش یافت.

چوگ و ساوهنی (۱۹۹۹) بیان داشتند، گیاهانی که در محیط حاوی کادمیم بالا رشد می‌کنند، دارای کلروفیل کمتری بوده و برگ‌های این گیاهان برای دریافت نور قابلیت خود را از دست می‌دهند. همچنین، کادمیم باعث کاهش فتوسنتز از طریق اثر مخرب آن، بر روی واکنش‌های نیازمند به نور و

واکنش‌های بی‌نیاز از نور شده و باعث اختلال در فعالیت آنزیم‌های مؤثر در چرخه تثبیت گاز کربنیک در فتوسنتز می‌شود.

در پژوهشی که توسط بهتاش و همکاران (۱۳۸۹) درباره اثر روی و کادمیم بر روی برخی شاخص-های رشدی و نیز فتوسنتز و غلظت کادمیم در چغندر لبویی انجام شد، نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که مصرف کادمیم موجب افزایش معنی‌دار غلظت کادمیم در برگ و ریشه گیاه و کاهش معنی‌دار فتوسنتز خالص شد. مصرف روی نیز موجب افزایش غلظت کادمیم در برگ‌ها و ریشه چغندر لبویی گردید. بر طبق آزمایشات دیویس و کالتون-اسمیت (۱۹۸۰) حساس‌ترین گیاهان به سمیت کادمیم به ترتیب اسفناج > سویا > شاهی > کاهو > ذرت > هویج > شلغم > لوبیا > گندم > تربچه > گوجه فرنگی > کدو> کلم > برنج هستند.

به عقیده محققین، راه تولید محصولات سالم و عاری از آلاینده‌های مهمی نظیر نیترات (NO_3) و کادمیم (Cd) از مصرف بهینه کود می‌گذرد (ملکوتی، ۱۳۸۹). تحقیقات انجام شده ثابت نمود، رابطه بسیار معنی‌داری بین خاک سالم، گیاه سالم و انسان سالم وجود دارد و منشأ اکثر کمبودها و بیماری-های انسانی به سوء تغذیه ارتباط دارد (ملکوتی، ۱۳۸۹). نتایج تحقیقات نشان داد که با مصرف نامتعادل کودها به ویژه زیاده‌روی در مصرف کودهای نیتروژنی و فسفاتی در انواع سبزی و صیفی، علاوه بر افزایش تجمع نیترات و کادمیم در آن‌ها، از غلظت ویتامین C تا حد ۲۶ درصد کاسته می‌شود (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۷). نقش کودهای فسفره در آلودگی خاک‌های زراعی با کادمیم، در بسیاری از منابع ذکر گردیده است (ثوابقی و ملکوتی، ۱۳۷۹؛ مک‌لاگلین وهمکاران، ۱۹۹۴). در طی سه دهه گذشته، هیچ نظارتی بر ورود، توزیع و مصرف کودهای شیمیایی فسفره در ایران نبوده و همین امر موجب شده است، سالیانه مقادیر قابل توجهی فسفر و کادمیم وارد خاک‌های زراعی و باغی کشور شود (ملکوتی، ۱۳۸۹). براساس گزارش‌های آزمایشگاه‌ها از وضعیت آزمون خاک، تجمع بیش از حد فسفر در خاک‌های سطحی اراضی کشاورزی ایران رخ داده است (ملکوتی، ۱۳۸۹). به عقیده ثواقبی و ملکوتی (۱۳۷۹) از پیامدهای مصرف بی‌رویه کودهای فسفره، همچنین کمبود روی (یک عنصر

غذایی) و تجمع کادمیم (یک عنصر سنگین) در بافت‌های گیاهی است. از طرفی به دلیل رابطه آنتاگونیستی[1] بین روی و کادمیم، کمبود روی در این شرایط تشدید می‌شود. ضمن اینکه احتمال افزایش غلظت کادمیم در دانه گندم و کاهش کیفیت غذایی آن وجود دارد (ثواقبی و ملکوتی، ۱۳۷۹). کادمیم و روی از نظر شیمیایی بسیار مشابه‌اند. بنابراین کادمیم می‌تواند به جای روی در واکنش‌ها شرکت کند ولی برخلاف روی که یک عنصر مهم و حیاتی است، کادمیم به دلیل میل ترکیبی آن با گروه‌های تیول (SH-) آنزیم‌ها و دیگر پروتئین‌ها، برای گیاه سمی است (ثوابقی و ملکوتی، ۱۳۷۹).

عیسی‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای، توان بیش‌اندوزی اسفناج و پیازچه را به منظور استخراج گیاهی کادمیم از خاک‌های آلوده ارزیابی کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که با افزایش غلظت کادمیم در خاک، غلظت کادمیم تجمع یافته در گیاهان افزایش می‌یابد. همچنین، رابطه‌ای مثبت و غیر خطی بین مقدار کادمیم انباشته شده و مقدار کل کادمیم موجود در تیمارهای مختلف به دست آمد. با افزایش مقدار کادمیم موجود در خاک، مقدار افزایش غلظت کادمیم در ریشه اسفناج و غده پیازچه، به مراتب بیشتر از اندام‌های هوایی بود.

یکی از عواملی که بر میزان قابلیت جذب فلزات سنگین و به تبع آن تأثیر این عناصر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نقش دارد میزان شوری خاک می‌باشد. ملکوتی و همایی (۱۳۸۷) و ملکوتی و همکاران (۱۳۸۷) در مطالعات خود چندین علت برای افزایش تجمع کادمیم درمحصولات کشاورزی به ویژه دانه‌های گندم در خوزستان برشمردند که از جمله آن‌ها شوری نسبی بالای خاک (غلظت بالای کلر) است، که باعث افزایش تشکیل کمپلکس کلر-کادمیم در خاک می‌گردد. همچنین یکی دیگر از چند دلیل افزایش کادمیم این خاک‌ها، بالا بودن درصد کربنات کلسیم معادل در خاک‌های خوزستان بر شمرده شده که سبب کاهش شدید میزان فسفر قابل استفاده و به تبع آن افزایش مصرف کودهای فسفره حاوی کادمیم به منظور تأمین فسفر خاک، توسط کشاورزان گردیده است. الووی (۱۹۹۵) گزارش کرد که در غلظت‌های بالای یون کلرید، بسیاری از فلزات ممکن است به صورت

[1] Antagonist

کمپلکس‌های کلرید وجود داشته باشند که اغلب متحرک‌تر هستند. در خاک‌های شور به دلایل بسیاری از جمله تشکیل کمپلکس‌های کادمیم و کلر و نیز تبادل سدیم با کادمیم در محل‌های جذب سطحی ذرات جامد خاک، حلالیت کادمیم و قابلیت جذب آن به وسیله گیاه افزایش می‌یابد (بینگهام و همکاران، ۱۹۸۴). بنابراین خطر انباشته شدن کادمیم در گیاهانی که در خاک‌های شور کشت می-شوند، وجود دارد.

آلودگی سرب در خاک موجب کاهش فعالیت‌های فتوسنتزی می‌شود و اثرات مضری بر رشد و متابولیسم گیاه بر جای می‌گذارد (کوپیرا و جیوزی‌دزی، ۲۰۰۳). در گیاهان آثار سمیت با سرب معمولا در غلظت‌های بالاتر از ۳۰ میکروگرم بر گرم در برگ ظاهر می‌گردد و به کاهش سنتز کلروفیل و کاهش رشد رویشی منجر می‌شود (رولی و همکاران، ۲۰۰۴). تیمار سرب سبب تغییر در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و آسیب به ساختار ترکیبات آلی می‌شود (هیو و همکاران، ۲۰۰۷). مطالعات نشان داده است که سرب فرآیندهای متابولیکی مانند جذب نیتروژن، فتوسنتز، تنفس و جذب آب را مهار می‌کند (بوساما و همکاران، ۱۹۹۹؛ بروزینسکی، ۱۹۸۸). مسمومیت سرب در کلزا موجب کاهش رشد، زردی برگ‌های جوان، کاهش فتوسنتز و کاهش محتوای کربوهیدرات‌ها می‌گردد که شاید اصلی‌ترین دلیل این پدیده‌ها کاهش بیوسنتز کلروفیل به دلیل ممانعت در جذب منیزیم و آهن و جلوگیری از فعالیت آنزیم روبیسکو باشد (گاسپر و آنتون، ۲۰۰۲). نشان داده شده است که گیاهانی که در معرض یون‌های سرب قرار داشته‌اند کاهش مقدار فتوسنتز در نتیجه تغییر شکل کلروپلاست، جلوگیری از سنتز کلروفیل، ممانعت از انتقال الکترون، جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین به علاوه کمبود دی‌اکسیدکربن در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها را نشان می‌دهند (شارما و دوبی، ۲۰۰۵). سنگار و پاندی (۱۹۹۶) ادعا نمودند غلظت ۵۰ میلی‌مولار سرب درون برگ به اندازه‌ای کافی است که بتواند از سنتز کلروفیل جلوگیری کند.

اگر چه بیشتر گزارش‌ها حاکی از اثر مهاری سرب بر رشد گیاهان است، در عین حال گزارش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد سرب باعث تحریک رشد در گیاهان می‌شود. ایرانبخش و همکاران

(۱۳۸۹) گزارش کرده‌اند که غلظت‌های مختلف کلرید سرب سبب افزایش درصد جوانه‌زنی در گیاه سویا می‌شود به طوری که با بالاتر رفتن غلظت کلرید سرب، درصد جوانه‌زنی افزایش می‌یابد. در نتایج آن و همکاران (۲۰۰۴) مشخص شد که در غلظت‌های ۱۲۸۰-۶۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب در خاک درصد جوانه‌زنی ذرت خوشه‌ای به تدریج افزایش می‌یابد و در گندم نیز درصد جوانه‌زنی در حضور سرب افزایش نشان داد.

عقیلی و همکاران (۱۳۸۷) وضعیت فلزات سنگین سرب و کادمیم را در گلخانه‌های استان اصفهان بررسی کردند. برای انجام این پژوهش از خاک و محصولات ۲۵ واحد گلخانه در هشت منطقه استان اصفهان استفاده شد. نتایج تجزیه‌های آماری نشان داد که بین غلظت سرب وکادمیم در خاک، با غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. از طرف دیگر بین غلظت سرب و کادمیم در میوه نیز همبستگی معنی‌داری مشاهده شد. نتایج این پژوهش نشان داد مصرف بسیار زیاد کودهای دامی و به ویژه کودهای شیمیایی (با ناخالصی کادمیم و سرب) در گلخانه-های استان اصفهان سبب افزایش غلظت سرب و کادمیم خاک و گیاه شده است.

براساس مطالعات جمعی از محققین، کاربرد طولانی مدت پساب‌های شهری برای کشت سبزیجات و صیفی‌جات، باعث تجمع فلزات سنگین در خاک و انتقال آن‌ها به محصولات کشاورزی با غلظتی بیشتر از حد مجاز می‌گردد (ترابیان و مهجوری، ۱۳۸۱؛ ترابیان و بغوری، ۱۳۷۳). لذا مطالعاتی زیادی نیز در این زمینه بر روی فلزات سنگین از جمله کادمیم و سرب، صورت گرفته است. در پی یک آزمایش گزارش شد که در اثر مصرف طولانی مدت لجن فاضلاب، غلظت کادمیم، سرب، کروم، نیکل، مس، روی و جیوه در خاک افزایش یافت و این امر باعث افزایش غلظت این عناصر در دانه غلات شد (آندرسون و بینگفرس، ۱۹۸۵). در تحقیقی که به مدت ۴ سال بر روی میزان فلزات سنگین در سبزیجات برگی جنوب تهران انجام شد، میزان غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاه از میزان مجاز بیشتر بود (ترابیان و مهجوری، ۲۰۰۲).

در مطالعاتی که توسط ناظمی وخسروی (۱۳۸۹) درباره بررسی وضعیت فلزات سنگین در خاک، آب و گیاه اراضی سبزیکاری شاهرود انجام شد، میانگین غلظت سرب و کادمیم در خاک مزارع سبزیجات و نهرهای انتقال آب به مزارع، به طور معنی‌داری در مقایسه با مقادیر استاندارد بیشتر بود. نتایج این تحقیق بیانگر آلودگی آب، خاک وگیاه به فلزات سنگین در اثر مصرف کودهای شیمیایی، دفع غیر بهداشتی فاضلاب و احتراق سوخت‌های فسیلی بود.

براساس مطالعات انجام شده توسط مستشاری (۱۳۸۰) به علت استفاده از فاضلاب‌های صنعتی در اراضی زراعی قزوین، غلظت فلزاتی چون سرب، مس، کادمیم و روی چندین برابر حد مجاز افزایش یافت. تحقیقات برخی محققین در زمینه آلودگی اراضی زراعی کشور، بیانگر این موضوع است که مقدار کادمیم وسرب در بخشی از اراضی آلوده استان‌های گیلان، زنجان، اصفهان و چهارمحال بختیاری به ترتیب برابر ۱/۹ تا ۱۸/۰۵ و ۸۹/۴ تا ۲۶۱۰/۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است (شریعت و فرشی، ۱۳۸۱؛ جعفرزاده حقیقی، ۱۳۷۵؛ ترابیان و بغوری، ۱۳۷۳).

حمزه‌نژاد و همکاران (۱۳۹۰) جذب و اندوزش همزمان سدیم و سرب یا کادمیم توسط سه گیاه-شورپسند در دو خاک آهکی شور-سدیمی و غیرشور- سدیمی را بررسی کردند، نتایج تحقیق بیانگر این موضوع بود که این گیاهان شورپسند توانایی اصلاح خاک‌های آلوده به سرب و کادمیم را دارند. این محققین بیان داشتند که با شناسایی و استفاده از گیاهان شورپسند می‌توان برای پالایش همزمان سرب و کادمیم در خاک‌های شور-سدیمی حتی در غلظت‌های بالای کادمیم و سرب استفاده کرد.

کشاورزی و همکاران (۱۳۸۶) جذب سطحی آلاینده‌های فلزی سرب، کادمیم و مس را در دو خاک شور وغیر شور بررسی کردند. خاک شور دارای تکامل کمتر و دارای کانی غالب ایلایت و خاک غیر شور تکامل بیشتر و دارای کانی غالب اسمکتایت بود. نتایج نشان داد که در هر دو خاک، جذب سطحی سرب بیشتر از دو عنصر مس و کادمیم بود. جذب سطحی کادمیم در هر دو خاک از میزان ماده آلی تبعیت کرد. خاک شور به دلیل داشتن سدیم زیاد، جذب سطحی مس بیشتری نسبت به خاک غیرشور داشت. نتایج آزمایش‌های برخی محققان مانند اسملدرس و همکاران (۱۹۹۸) و وگلر-

بیتون و همکاران (۲۰۰۰) نشان می‌دهد، شوری و یا یون کلرید نقش موثری در افزایش حلالیت کادمیم خاک و جذب آن به وسیله گیاه دارد. نورول و همکاران (۲۰۰۰) افزایش جذب کادمیم در شرایط شور در بسیاری از غلات را گزارش کردند.

بنی‌هاشمی و همکاران (۱۳۹۰) تاثیر تنش‌های شوری و کادمیم را بر غلظت کادمیم در گیاه آفتابگردان بررسی کردند. نتایج نشان داد که کادمیم بیش‌تر در ریشه آفتابگردان تجمع یافت. ولی با افزایش شوری خاک، سبب افزایش بیش‌اندوزی کادمیم در اندام هوایی و هم در ریشه آفتابگردان گردید. افزایش غلظت کادمیم در اندام هوایی و ریشه در بیشترین سطح شوری در خاک (۷ دسی-زیمنس بر متر) نسبت به تیمار شاهد (۳ دسی‌زیمنس بر متر) به ترتیب ۸۸ و ۳۹ درصد بود. این محققین این نتیجه را تأکیدی بر پالایش سبز کادمیم در خاک‌های شور و از طرفی زنگ خطری برای استفاده خوراکی این گیاه در چنین شرایطی دانستند.

به طور کلی می‌توان گفت که عوامل متعددی همچون مقدار و منشأ فلز سنگین، pH، مقدار ماده آلی، مقدار و نوع رس، رقابت سایر عناصر، ظرفیت تبادل کاتیونی و شوری بر قابلیت دسترسی فلزات سنگین خاک برای گیاه مؤثر می‌باشد و این امر طبیعتاً بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نیز تأثیرگذار است (لی و همکاران، ۱۹۹۴؛ بینگهام و همکاران، ۱۹۸۴).

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱- زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش

آزمایش در سال ۱۳۹۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود، واقع در شهر بسطام (کیلومتر ۸ جاده شاهرود – آزادشهر) اجرا شد. شهرستان شاهرود در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۶۶ متر است. شهر بسطام از لحاظ موقعیت جغرافیایی در طول شمالی ۵۴ درجه و ۵۸ دقیقه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه و میانگین ارتفاع آن ۱۴۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد.

۳-۲- ویژگی‌های آب و هوایی

بسطام دارای اقلیم سرد و خشک است و دارای زمستانی سرد می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه در این منطقه بین ۱۵۰ تا ۱۶۰ میلی‌متر است و رطوبت نسبی ۶۳ درصد می‌باشد و بارندگی عمدتاً در فصل پاییز و زمستان رخ می‌دهد. براساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی حداقل و حداکثر دمای منطقه به ترتیب ۶/۹- و۴۰ درجه سانتی‌گراد است. تعداد ساعات آفتابی ۲۹۴۷/۵ می‌باشد.

۳-۳- مشخصات طرح آزمایشی

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه آموزشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح عنصر سنگین: صفر (شاهد یا عدم استفاده از عنصر سنگین)، سرب به میزان ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (نیترات سرب)، کادمیم به میزان۲۰ میلی‌گرم در کیلو گرم خاک (نیترات کادمیم) و ترکیب سرب و کادمیم هر کدام به میزان ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به عنوان فاکتور اول و سه سطح شوری (NaCl) شامل شاهد (صفر) ،۴ و۸ دسی‌زیمنس بر متر به عنوان فاکتور دوم لحاظ گردید.

۳-۴- آماده‌سازی خاک و روش‌های آزمایشی

برای اجرای این طرح از خاک سطح ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر مزرعه دانشکده کشاورزی شاهرود استفاده شد. پس از خشک شدن خاک در هوا و عبور از غربال دو میلی‌متری، یک نمونه برای تجزیه فیزیکی و شیمیایی برداشته شد (نتایج برخی ویژگی‌های این خاک در جدول (۳-۱) آورده شده است). سپس میزان عناصر سنگین به صورت محلول پاشی قبل از کاشت به خاک اضافه گردید.

گلدان‌های مورد استفاده هشت کیلوگرمی و از جنس پلاستیک به قطر ۲۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰/۵ سانتی‌متر بود. در هر گلدان تعداد پانزده بذر اسفناج رقم ویروفلی ۲ در اواخر شهریور ماه کاشته شد. شش روز بعد از کاشت، جوانه‌های گیاه سر از خاک در آورده و در سطح خاک پدیدار شدند. به منظور حصول اطمینان از استقرار کامل جوانه‌ها و رشد آن‌ها، در طول ده روز اول رشد گیاهان، تیمارهای شوری اعمال نگردید و از آب آبیاری برای آبیاری استفاده شد. زیرا در اوایل دوره رشد، مواجه شدن با تنش اسمزی بالا به ویژه در سطوح بالای شوری باعث آسیب به گیاهچه‌ها و عدم رشد آن‌ها می‌شد. برای آبیاری گیاهان با آب شور، محلول‌های مختلف با سطوح شوری مورد نظر در آزمایشگاه تهیه شد. بعد از استقرار گیاهان، سطوح مختلف شوری از مرحله دو برگی با استفاده از نمک NaCl بر گیاه اعمال گردید. گیاهان طی دو مرحله (۴ و ۱۲ برگی) از سطح خاک برداشت شدند و اندام هوایی توزین و وزن تر آن‌ها تعیین گردید. نیمی از اندام هوایی در داخل فریزر قرار گرفت و مابقی به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک وسپس توزین گردید.

برای خارج کردن ریشه‌ها از خاک، خاک درون گلدان‌ها به آرامی در داخل تشت پلاستیکی ریخته شد و ریشه‌ها موجود در آن‌ها با دقت زیاد و به طور کامل از خاک جدا گردید. بعد از جداسازی ریشه-ها از خاک نمونه‌های گیاه به دقت با آب مقطر شسته و تمیز شدند و به منظور تعیین میزان عناصر معدنی ریشه در زمان برداشت، بطور کامل خشک گردید.

۳-۵- اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات محلول برگ

برای اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات محلول در مراحل ۴ و ۱۲ برگی اسفناج، از روش اشلیگل (۱۹۸۶)[۱] استفاده شد. ۰/۱ گرم از بافت تازه برگ در داخل لوله‌های آزمایش استریل شده با اتوکلاو قرار داده شد. سپس به هر کدام ۱۰ میلی‌لیتر الکل اتانول اضافه گردید و لوله‌های آزمایش به مدت یک ساعت در حمام بن ماری در دمای ۹۰-۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. ۱ میلی‌لیتر از محلول سبز رنگ به دست آمده را با ۱ میلی‌لیتر فنل ۰/۵ درصد، ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک (۹۸-۹۵درصد) ترکیب کرده و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل jenway 6305 در طول موج ۴۸۳ نانومتر میزان کربوهیدرات محلول قرائت گردید.

۳-۶- اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، b و کارتنوئید

میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئید در مراحل ۴ و ۱۲ برگی اسفناج، با استفاده از روش آرنون[۲] (۱۹۶۷) تعیین گردید. ۰/۱ گرم از بافت تازه برگ در هاون چینی حاوی ۷ میلی‌لیتر محلول استون ۸۰٪ ساییده شد. و در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۴۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. میزان کلروفیل a در طول موج ۶۶۳ نانومتر، کلروفیل b در طول موج ۶۴۷ نانومتر و کارتنوئید در طول موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل jenway 6305 قرائت شد. در نهایت با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئید بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر نمونه بدست آمد.

$$\text{Chlorophyll a} = (12.3 * A_{663} - 0.86 * A_{647}) /100W*a \quad (۱-۳)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 * A_{647} - 3.6 * A_{663}) /100W*a \quad (۲-۳)$$

$$\text{Carotenoides} = 100(A_{470}) - 3.27(\text{chl. a}) - 104(\text{chl. b})/227 \quad (۳-۳)$$

---

[۱] Sheligl

[۲] Arnon

a= طول مسیر عبور نور

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

W= وزن تر نمونه بر حسب گرم

۳-۷- اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین و فلاونوئید

به منظور تعیین میزان آنتوسیانین و فلاونوئید در مراحل ۴ و ۱۲ برگی اسفناج، از روش کریزک و همکاران[۱] (۱۹۹۸) استفاده گردید. ۰/۱ گرم از بافت تازه برگ در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر متانول (۱۹۸ میلی‌لیتر متانول +۲ میلی‌لیتر اسید کلریک؛ ۲۴ ساعت قبل از آزمایش در تاریکی قرار گرفته بود) ساییده شد و در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۴۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. مقدار آنتوسیانین با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۵۰ نانومتر قرائت گردید.

جهت برآورد میزان فلاونوئید، ۰/۱ گرم از بافت تازه برگ در هاون چینی حاوی ۱۰ میلی‌لیتر اتانول اسیدی (۱۹۸ میلی‌لیتر الکل اتانول+۲ میلی‌لیتر اسید سیتریک) ساییده شد و به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۴۰۰۰ قرار گرفت. در مرحله بعد عصاره حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در داخل حمام بن ماری قرار داده شد و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۳۰۰ نانومتر میزان فلاونوئید قرائت گردید.

۳-۸- اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم ریشه و اندام هوایی

به منظور اندازه‌گیری میزان سدیم و پتاسیم، ریشه و اندام هوایی گیاه در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس نمونه‌های خشک شده با استفاده از آسیاب پودر گردید. یک گرم از بافت خشک را در داخل بوته چینی ریخته و در داخل کوره در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۵ ساعت قرار داده شد تا بسوزد. بعد از خارج کردن نمونه‌ها از کوره به هر کدام از آن‌ها

[۱] Krizek et al

۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریک دو نرمال اضافه کرده و در مرحله بعد به حمام بن ماری به مدت ۱۵-۱۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد انتقال یافت. در ادامه محتوی داخل بوته چینی با استفاده از کاغذ صافی و قیف صاف گردید و عصاره حاصله را به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رساندیم. سپس نمونه‌ها با دستگاه فلیم فتومتر مدل Jenway (PFP7) قرائت شد. میزان سدیم و پتاسیم بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک به دست آمد (امامی، ۱۳۷۵).

۳-۹- اندازه‌گیری میزان فسفر در ریشه و اندام هوایی

به منظور اندازه‌گیری میزان فسفر ریشه و اندام هوایی با استفاده از روش چاپمن و پرات[۱] (۱۹۶۱)، اندام هوایی گیاه در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس نمونه‌های خشک شده با استفاده از آسیاب پودر گردید. یک گرم از بافت خشک را در داخل بوته چینی ریخته و در داخل کوره در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت قرار داده شد تا بسوزد. بعد از خارج کردن نمونه‌ها از کوره به هر کدام از آن‌ها ۱۰میلی‌لیتر اسید کلریک دو نرمال اضافه کرده و در مرحله بعد به حمام بن‌ماری به مدت ۱۵-۱۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد انتقال یافت. در ادامه محتوی داخل بوته چینی با استفاده از کاغذ صافی و قیف صاف گردید و عصاره حاصله را به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رساندیم. در ادامه ۵ میلی‌لیتر از عصاره بدست آمده را با ۵ میلی‌لیتر از محلول آمونیوم هپتا مولیبدات وانادات ترکیب کرده و به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده سپس نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت شد. سپس عدد قرائت شده توسط منحنی استاندارد فسفر به میلی‌گرم بر گرم وزن خشک تبدیل و در نهایت مقدار فسفر گیاه محاسبه شد.

[۱] Chapman and Pratt

۳-۱۰-اندازه‌گیری اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک

اسیدیته خاک از سوسپانسیون ۲/۵: ۱ و توسط دستگاه pH متر، هدایت الکتریکی از سوسپانسیون ۲/۵: ۱ و توسط دستگاه EC سنج اندازه‌گیری شد.

۳-۱۱- اندازه‌گیری سایر پارامترها در خاک اولیه

اندازه‌گیری بافت خاک (جی و بادر، ۱۹۸۶)، ظرفیت تبادل کاتیونی (ردوز، ۱۹۸۲)، فسفر قابل جذب (اولسن و همکاران، ۱۹۵۴)، پتاسیم قابل جذب خاک توسط دستگاه فلیم فتومتری مدل Jenway (PFP7) (پیج و همکاران،۱۹۸۲)، کربن آلی و نیتروژن کل توسط دستگاه آنالیز عنصری و وزن مخصوص ظاهری به روش‌های مرسوم اندازه‌گیری شد.

در نهایت داده‌های بدست آمده از این آزمایشات با استفاده از نرم افزار آماری SAS و MSTATC تجزیه ومقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام گردید.

جدول (۳-۱). نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش

پارامترهای اندازه‌گیری شده	مقدار	واحد
اسیدیته	۸/۲۱	-
قابلیت هدایت الکتریکی	۱/۶۱	دسی‌زیمنس بر متر
ظرفیت تبادلی خاک	۱۵/۵	سانتی‌مول (بار مثبت) بر کیلوگرم
وزن مخصوص ظاهری خاک	۱/۴۲	گرم بر سانتی‌متر مکعب
نیتروژن کل	۰/۰۷۸	درصد
پتاسیم قابل جذب	۷۱/۶۱	میلی‌گرم در کیلوگرم
فسفر قابل جذب	۱۲	میلی‌گرم در کیلوگرم
کربن آلی	۰/۶۹	درصد
رس	۳۱	درصد
سیلت	۴۹	درصد
شن	۲۰	درصد
بافت خاک	لوم رسی	-

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- نتایج تأثیر شوری و فلزات سنگین بر گیاه اسفناج در مراحل ۴ و ۱۲ برگی

۴-۱-۱- وزن تر و خشک

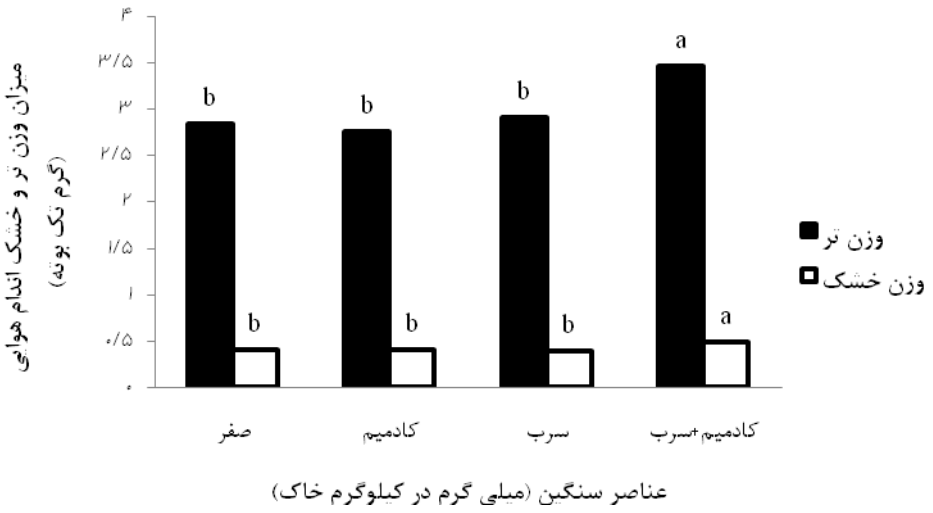
اثرات متقابل شوری و فلزات سنگین در هر دو مرحله نمونه‌برداری بر وزن تر و خشک اندام هوایی اسفناج معنی‌دار نشد. در مرحله ۴ برگی، اثر شوری بر وزن تر و خشک اسفناج معنی‌دار نشد در حالی که در مرحله ۱۲ برگی اثر شوری بر وزن تر اسفناج معنی‌دار گردید. فلزات سنگین اثر معنی‌داری بر وزن تر و وزن خشک اسفناج در مرحله ۴ برگی نشان داد (جدول۴-۱).

جدول (۴-۱). نتایج تجزیه واریانس وزن تر و خشک اندام هوایی اسفناج در مراحل ۴ و ۱۲ برگی

منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات			
		مرحله ۴ برگی		مرحله ۱۲ برگی	
		وزن تر	وزن خشک	وزن تر	وزن خشک
تکرار	۲	۰/۳۴^{ns}	۰/۰۰۵۷^{ns}	۸/۱۶۴*	۰/۱۱۹^{ns}
شوری(S)	۲	۰/۳۱^{ns}	۰/۰۰۶۸^{ns}	۹/۹۱۰*	۰/۲۰۶^{ns}
عناصر سنگین(H)	۳	۰/۹۱*	۰/۰۱۹*	۰/۳۷۶^{ns}	۰/۰۳۴^{ns}
S×H	۶	۰/۲۴^{ns}	۰/۰۰۵۱^{ns}	۳/۲۹۸^{ns}	۰/۰۹۱^{ns}
خطا	۲۲	۰/۴۴	۰/۰۰۴۷	۲/۲۱۲	۰/۰۸۶
ضریب تغییرات(CV)	-	۱۴/۸۱	۱۶/۴۹	۲۸/۱۶	۲۹/۲۷

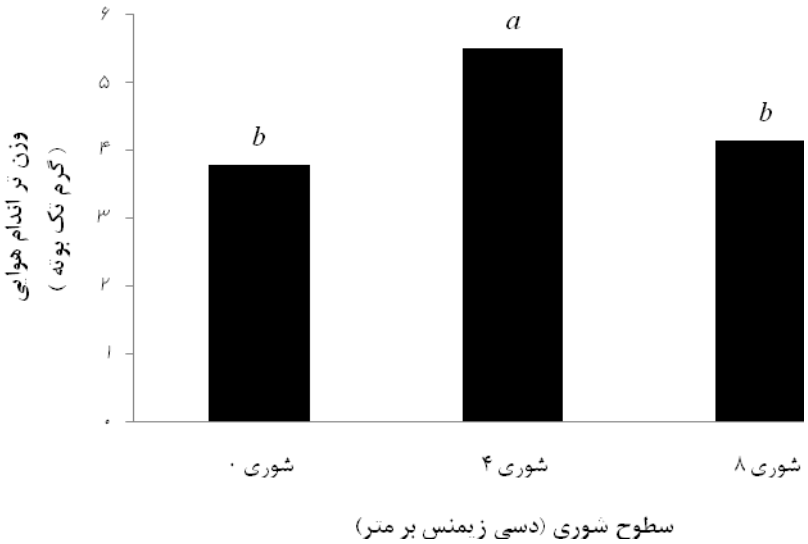
ns و *: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

در بین تیمارهای فلزات سنگین، ترکیب دو تیمار نیترات سرب و کادمیم وزن تر و وزن خشک اسفناج را به ترتیب ۲۱ و ۲۲ درصد در مقایسه با تیمار شاهد در مرحله ۴ برگی افزایش داد (شکل ۴-۱). در گزارشی اعلام شد، غلظت کادمیم خاک در سطح ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک اندام هوایی اسفناج را افزایش داد (رضاخانی و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین محققین دریافتند که به کارگیری غلظت‌های پایین کادمیم، سرب و نیکل با یکدیگر در محلول غذایی و یا به صورت اسپری روی برگ‌ها سنتز گیاه را تسهیل می‌کند (نیترای و همکاران، ۲۰۰۳).



شکل (۴-۱). تأثیر فلزات سنگین بر وزن تر و خشک اندام هوایی اسفناج در مرحله ۴ برگی

تیمارهای شوری سبب افزایش میزان وزن تر اندام هوایی اسفناج در مرحله ۱۲ برگی شد. به طوری که تیمار شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین میزان افزایش را داشته و وزن تر اندام هوایی را ۴۵ درصد درمقایسه با شاهد افزایش داد (شکل ۴-۲). طبق گزارشی مظلومی و رونقی (۱۳۹۱) اظهار داشتند، کاربرد سطوح کلرید سدیم بر وزن تر و وزن خشک ارقام اسفناج تأثیر منفی نداشت و حتی سبب افزایش آن نیز گردید.



شکل (۴-۲). تأثیر سطوح شوری بر وزن تر اندام هوایی اسفناج در مرحله ۱۲ برگی

۴-۱-۲- رنگیزه‌های فتوسنتزی

اثرات متقابل شوری و فلزات سنگین بر میزان کارتنوئید، آنتوسیانین و فلاونوئید در مرحله ۴ برگی اسفناج معنی‌دار نشد. در این مرحله اثر سطوح شوری بر میزان کارتنوئید در سطح احتمال ۵ درصد و اثر فلزات سنگین بر میزان کارتنوئید و آنتوسیانین در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴-۲). در مرحله ۱۲ برگی اسفناج، میزان رنگیزه‌های کمکی فتوسنتزی تحت تأثیر اثرات متقابل شوری و فلزات سنگین قرار گرفت (جدول ۴-۲).

جدول (۴-۲). نتایج تجزیه واریانس میزان کاروتنوئید، آنتوسیانین و فلاونوئید برگ اسفناج در مراحل ۴ و ۱۲ برگی

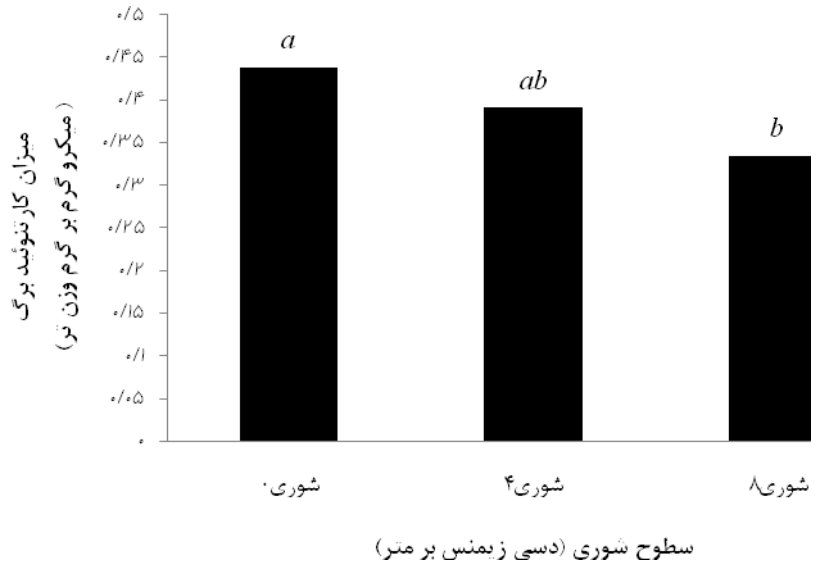
منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات					
		مرحله ۴ برگی			مرحله ۱۲ برگی		
		کارتنوئید	آنتوسیانین	فلاونوئید	کارتنوئید	آنتوسیانین	فلاونوئید
تکرار	۲	۰/۰۰۶۹^{ns}	۰/۱۰۹*	۰/۰۰۴۲^{ns}	۰/۰۰۲۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۷۸^{ns}	۰/۰۰۰۴^{ns}
شوری(S)	۲	۰/۰۳۲*	۰/۰۱۰۷ ^{ns}	۰/۰۰۱۸ ^{ns}	۰/۰۱۴۹**	۰/۰۰۰۰۸۹^{ns}	۰/۰۱۹۲**
عناصر سنگین(S)	۳	۰/۰۱۹*	۰/۰۴۹۶*	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۱۴۲**	۰/۰۰۰۱۷۰^{ns}	۰/۰۰۷۹*
S×H	۶	۰/۰۰۹۱^{ns}	۰/۰۱۳۸^{ns}	۰/۰۰۱۸^{ns}	۰/۰۱۷۹**	۰/۰۰۰۶۵**	۰/۰۰۵۹*
خطا	۲۲	۰/۰۰۵۹	۰/۰۱۲۴	۰/۰۰۴۹	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۲۰
ضریب تغییرات (CV)	–	۱۹/۴۰	۱۹/۱۲	۲۱/۵۶	۱۴/۱۵	۱۳/۹۵	۸/۸۳

ns، *****و ******: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

۴-۱-۲-۱-کارتنوئید

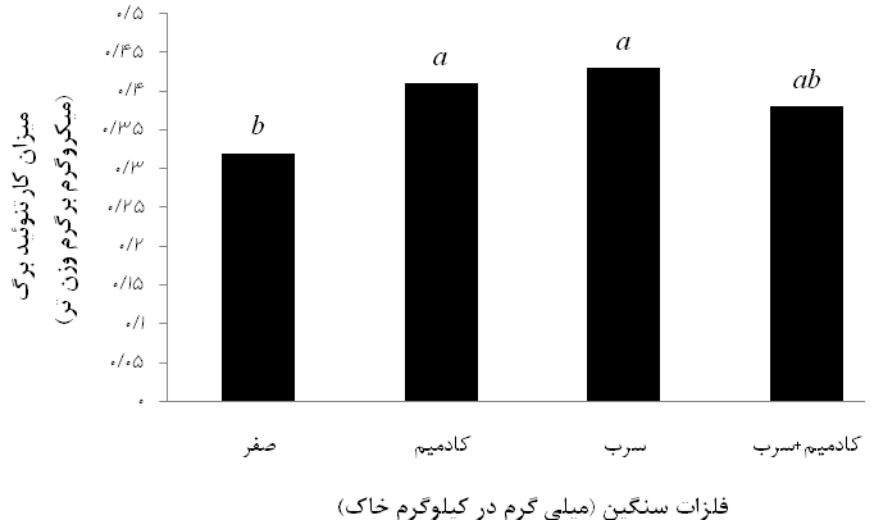
در مرحله ۴ برگی، شوری تاثیر معنی‌داری بر مقدار کارتنوئید برگ درسطح احتمال ۵ درصد نشان داد (جدول ۴-۲). افزایش شوری تأثیر منفی بر میزان کارتنوئید در برگ اسفناج داشت، به طوری که شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر مقدار کاروتنوئید را ۲۳ درصد در مقایسه با شاهد کاهش داد (شکل ۴-۳). احتمالاً کاهش میزان کاروتنوئیدها با افزایش سطوح شوری، ناشی از تنش اکسیداتیو ایجاد شده در اثر تنش شوری باشد. چرا که کاروتنوئیدها که یکی از رنگیزه‌های کلیدی و مهم سیستم آنتی اکسیدانی در گیاهان هستند، به تخریب اکسیداتیو حساس می‌باشند (پروچازکوا و همکاران، ۲۰۰۱؛

هیوکس،۱۹۹۸). کاهش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در اثر تنش شوری در نخود توسط محققین مختلف گزارش شده است (سوسی و همکاران، ۱۹۹۹).



شکل(۴-۳). تأثیر سطوح شوری بر میزان کارتنوئید برگ در مرحله ۴ برگی

تیمارهای فلزات سنگین تأثیر معنی‌داری بر روی مقدار کارتنوئید در مرحله ۴ برگی اسفناج داشت (جدول ۴-۲). کاروتنوئیدها در تیمارهای فلزات سنگین روند افزایشی داشتند، به طوری که تیمارهای کادمیم و سرب اختلاف معنی‌داری را در مقایسه با تیمار شاهد (بدون فلز سنگین) نشان دادند و به ترتیب منجر به افزایش ۲۸ و ۳۴ درصدی میزان کارتنوئید در برگ‌های اسفناج شدند (شکل ۴-۴). محققین گزارش کردند، در گیاهان کاشته شده در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین آنتوسیانین‌ها، کارتنوئیدها و ترکیبات فنلی فعال شده و از گیاه محافظت می‌کنند (پازمیک و همکاران، ۲۰۰۹). در گزارش دیگری اظهار شد، میزان کاروتنوئیدها در اندام هوایی گیاه خرفه که در محیط آلوده به فلز سنگین مس کشت شده بود، به طور قابل توجهی افزایش یافت (قربانلی و کیاپور، ۱۳۹۱).



شکل(۴-۴). تأثیر فلزات سنگین بر میزان کارتنوئید برگ در مرحله ۴ برگی

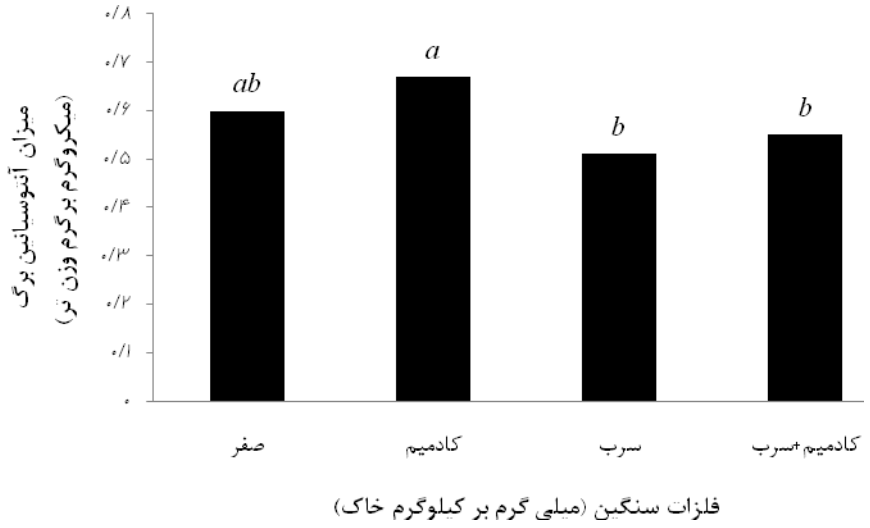
اثر متقابل سطوح شوری و فلزات سنگین در مرحله ۱۲ برگی اسفناج بر میزان کارتنوئید برگ معنی‌دار بود (جدول ۴-۲). با توجه به شکل (۴-۵) مشاهده می‌شود، افزایش سطوح شوری در تیمارهای فلزات سنگین اثرات متفاوتی بر میزان کارتنوئید برگ اسفناج داشته است. که این احتمالاً ناشی از تأثیر میزان شوری بر قابلیت حلالیت این عناصر در خاک است. لذا تغییر در قابلیت حلالیت این عناصر بر میزان جذب آن‌ها مؤثر بوده و از این طریق میزان کارتنوئید را تحت تأثیر قرار داده است. بر این اساس مشاهده می‌شود، افزایش سطوح شوری سبب افزایش معنی‌دار میزان کارتنوئید در تیمار فلز سنگین کادمیم شد. در حالی که افزایش شوری سبب کاهش میزان کارتنوئید در سرب گردید (شکل ۴-۵). نتایج بررسی‌های متعددی نشان داده که شوری نقش بسزایی در افزایش حلالیت کادمیم دارد (مک‌لاگلین و همکاران، ۱۹۹۴و بینگهام و همکاران، ۱۹۸۴). لازم به ذکر است، همان گونه که پیش تر اشاره شد، در شرایط تنش فلزات سنگین میزان کارتنوئیدها که نقش حفاظتی در گیاه دارند افزایش می‌یابد. کاروتنوئید این قابلیت را دارد که به طور برگشت پذیر با رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولید شده در شرایط تنش‌های محیطی واکنش دهد و از صدمات جبران ناپذیر آن‌ها جلوگیری کند (پازمیک و همکاران، ۲۰۰۹). احتمالاً افزایش جذب کادمیم به عنوان عامل ایجاد کننده تنش بر افزایش میزان کارتنوئید موثر بوده است.

شکل(۴-۵). اثر متقابل سطوح شوری و فلزات سنگین بر میزان کارتنوئید برگ در مرحله ۱۲ برگی

۴-۱-۲-۲- آنتوسیانین

شوری تأثیر معنی‌داری بر مقدار آنتوسیانین در هیچ یک از تیمارهای مورد مطالعه نداشت. اما تیمار فلزات سنگین اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر مقدار آنتوسیانین داشتند (جدول ۴-۲). تیمارهای فلزات سنگین از نظر میزان آنتوسیانین اختلاف معنی‌داری را در مقایسه با شاهد (بدون فلز سنگین) نشان ندادند. از این بین کادمیم در مقایسه با سرب و ترکیب سرب وکادمیم به طور معنی‌داری سبب افزایش میزان آنتوسیانین در اندام هوایی اسفناج شد (شکل ۴-۶). کادمیم سبب ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاه می‌شود (ژآاو و همکاران، ۲۰۰۵). آنتوسیانین‌ها می‌توانند به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های مهار کننده رادیکال‌های آزاد در گیاهان عمل کنند (چن و همکاران، ۲۰۰۶). افزایش میزان آنتوسیانین‌ها در تیمار کادمیم احتمالاً ناشی از جذب بالای این فلز سنگین در اسفناج باشد، چرا که در مطالعه‌ای که توسط عیسی زاده و همکاران (۱۳۸۹) انجام شد، گزارش کردند که اسفناج توانایی بسیار بالایی در جذب کادمیم از خاک‌های آلوده دارد. لذا حضور کادمیم در اندام هوایی اسفناج منجر به تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن و در نتیجه افزایش میزان آنتوسیانین شده است.

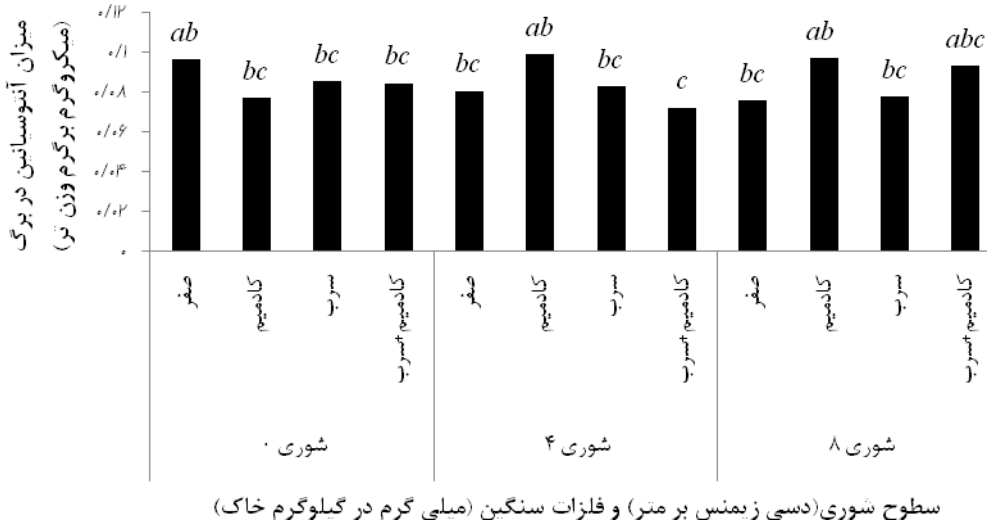
طی گزارشی قربانلی و کیاپور (۱۳۹۱) اعلام کردند، میزان آنتوسیانین‌ها در اندام هوایی گیاهی که در محیط آلوده به فلز سنگین کشت شده بود، به طور قابل توجهی افزایش یافت.



شکل(۴-۶). تاثیر فلزات سنگین بر میزان آنتوسیانین برگ در مرحله ۴ برگی

اثر متقابل سطوح شوری و فلزات سنگین در مرحله ۱۲ برگی اسفناج بر میزان آنتوسیانین برگ معنی-دار بود (جدول ۴-۲). میزان آنتوسیانین در هر یک از تیمارهای فلزات سنگین در سطوح مختلف شوری اختلاف معنی‌داری نشان نداد. در بین تیمارهای آزمایشی کادمیم در سطوح شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر و ترکیب سرب و کادمیم در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر بالاترین میزان آنتوسیانین را دارا بودند (شکل ۴-۷). در شرایط شوری خاک حلالیت کادمیم افزایش می‌یابد، این امر احتمالاً منجر به جذب بیشتر کادمیم شده و در نتیجه میزان آنتوسیانین که نقش حفاظتی در شرایط تنش را دارا می‌باشد، در این تیمار افزایش یافته است. نتایج آزمایش‌های برخی محققان مانند اسملدرس و همکاران (۱۹۹۸) و وگلر- بیتون و همکاران (۲۰۰۰) نشان می‌دهد؛ شوری و یا یون کلرید نقش موثری در افزایش حلالیت کادمیم خاک و جذب آن به وسیله گیاه دارد. بعلاوه pH خاک نیز بر روی جذب عناصر از خاک تأثیرگذار است. آلدریچ و فنچ (۲۰۰۰) اعلام کردند حلالیت سرب در خاک‌های اسیدی زیاد می‌شود و این امر بر میزان جذب این عنصر از خاک‌های آلوده نقش بسزایی

دارد. در این آزمایش pH خاک تحت تأثیر شوری افزایش یافته (شکل ۴-۱۴) و احتمالاً سبب کاهش جذب سرب و در نتیجه بر آثار فیزیولوژیک آن در گیاه تأثیر گذاشته است. مادهاوا راو و اسرستی (۲۰۰۰) گزارش کردند، فلزات سنگین در غلظت‌های زیاد بر رشد، نمو و عملکرد گیاه اثر می‌گذارد.

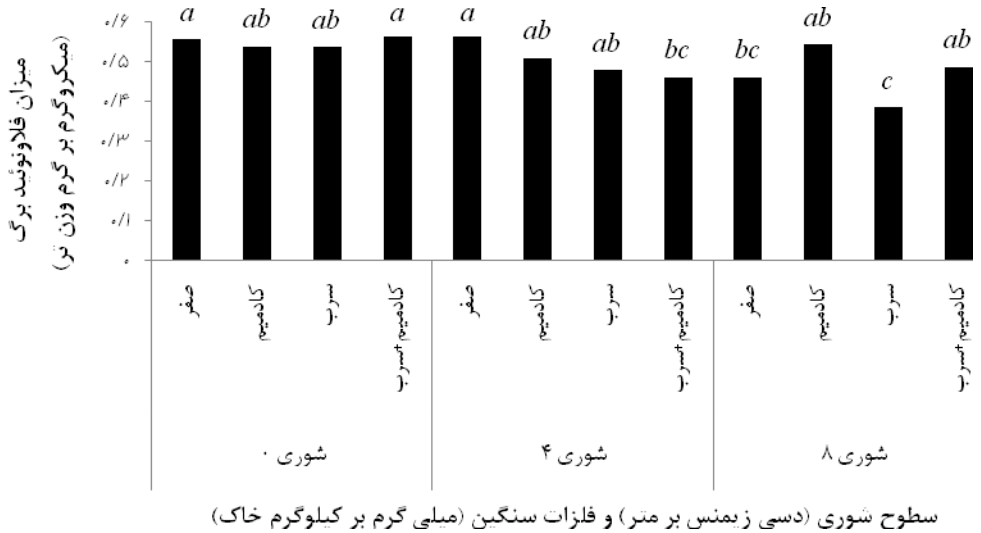


شکل (۴-۷). اثر متقابل سطوح شوری و فلزات سنگین بر میزان آنتوسیانین برگ در مرحله ۱۲برگی

۴-۱-۲-۳- فلاونوئید

اثر متقابل سطوح شوری و فلزات سنگین در مرحله ۱۲ برگی اسفناج بر میزان فلاونوئید برگ معنی‌دار بود (جدول ۴-۲). کمترین میزان فلاونوئید در تیمار سرب در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (شکل ۴-۸). احتمالاً میزان فلاونوئید نیز به میزان حلالیت عناصر سنگین در خاک تحت تأثیر شوری و pH خاک وابسته است. همانطور که قبلا اشاره شد، شوری سبب افزایش حلالیت کادمیم شده و همچنین میزان pH خاک را افزایش داد، این امر احتمالاً موجب کاهش جذب سرب شده است. با توجه به شکل (۴-۸) نیز مشاهده می‌شود، که تیمارهای کادمیم و ترکیب سرب و کادمیم در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر بالاترین میزان فلاونوئید را دارا بودند. بنی هاشم و همکاران (۱۳۹۰) اعلام کردند، افزایش شوری خاک سبب افزایش بیش اندوزی کادمیم در اندام‌های هوایی آفتابگردان شد و آن‌ها اظهار داشتند که بیشترین میزان تجمع کادمیم در اندام هوایی را در

سطح شوری خاک ۷ دسی‌زیمنس بر متر داشتند. طی گزارشی اظهار شده، در گیاهان کاشته شده در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها، ترکیب‌های فنلی و کاروتنوئیدها فعال شده و از گیاه محافظت می‌کنند. این رنگیزه‌ها در سمیت زدایی کلروفیل نقش دارند و باعث کاهش اثرات سمی رادیکال‌های آزاد می‌شوند (سانیتاتا دی تاپی و گابریلا، ۱۹۹۹).



شکل(۴-۸). اثر متقابل سطوح شوری و فلزات سنگین بر میزان فلانوئید برگ در مرحله ۱۲برگی

۴-۱-۲-۴- کلروفیل a و b

اثر متقابل سطوح مختلف شوری و فلزات سنگین بر مقدار کلروفیل a و b در هر دو مرحله نمونه برداری معنی‌دار شد (جدول ۴-۳).

جدول (۴-۳). نتایج تجزیه واریانس میزان کلروفیل a و b برگ اسفناج در مراحل ۴ و ۱۲ برگی

منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات			
		مرحله ۴ برگی		مرحله ۱۲ برگی	
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a	کلروفیل b
تکرار	۲	۰/۱۳۳^{ns}	۰/۰۳۳*	۰/۷۹۸^{ns}	۱/۲۶۸^{ns}
شوری(S)	۲	۰/۳۲۶*	۰/۰۴۷*	۳/۴۵۸**	۱/۱۷۴^{ns}
عناصر سنگین(S)	۳	۰/۲۳۶*	۰/۰۴۸**	۴/۲۱۸**	۱/۶۲۹*
S×H	۶	۰/۲۳۲*	۰/۰۳۴*	۸/۹۳۸**	۴/۵۸۵**
خطا	۲۲	۰/۰۸۰۷	۰/۰۰۹۸	۰/۵۰۵	۰/۴۶۶
ضریب تغییرات (CV)	–	۱۹/۹۰	۱۸/۱۳	۱۳/۳۹	۲۰/۶۹

ns، *و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

میزان کلروفیل a و b در دو مرحله نمونه‌برداری با افزایش سطح شوری در تیمار بدون فلز سنگین کاهش یافت (جدول ۴-۴). طی گزارشی اعلام شد، میزان کلروفیل تحت شرایط تنش شوری در نخود کاهش یافت (مودگال و همکاران، ۲۰۰۹). البته در مطالعه دیگری نیز عکس این نتیجه صادق بوده است (اشرف و مک نیلی، ۲۰۰۴). اثر فلزات سنگین بر میزان کلروفیل a و b در سطوح شوری متفاوت بود. در سطح شوری صفر، در مرحله ۴ و ۱۲ برگی اسفناج بیشترین میزان کلروفیل a و b مربوط به تیمار سرب بود (جدول ۴-۴). بیشتر گزارش‌ها حاکی از اثر مهار سرب بر تولید کلروفیل است در عین حال بررسی‌هایی نیز گزارش شده است که سرب موجب تحریک سنتز کلروفیل در گیاهان شده است. طی گزارشی اعلام شد، در تیمار گیاه باقلا با سرب در مقادیر پایین سرب محتوای کلروفیل افزایش یافت ولی غلظت‌های بالای آن سبب کاهش معنی‌دار کلروفیل گردید (کمل، ۲۰۰۸). همچنین گزارش شد، به کارگیری سرب و کادمیم در دو واریته گندم کلروفیل کل را افزایش داد (اونسل و همکاران، ۲۰۰۰). به علاوه محققین اظهار داشتند، افزایش محتوای کلروفیل در مرکز فتوسیستم II و همچنین کمپلکس پروتئین کلروفیل b/a جمع کننده نور فتوسیستم II را در غلظت پایین سرب مشاهده نمود (سروری و همکاران، ۲۰۰۲). با افزایش میزان شوری میزان کلروفیل در تیمار سرب کاهش و در تیمار کادمیم افزایش یافت به طوری که کادمیم در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر دارای بالاترین میزان کلروفیل a و b در میان تیمارهای آزمایشی بود. این نتیجه احتمالاً ناشی از جذب بالاتر کادمیم توسط گیاه در مقایسه با سرب در سطوح شوری بالاتر باشد. که منجر به افزایش کارتنوئید شده و از تخریب کلروفیل جلوگیری کرده است، که پیش‌تر به آن اشاره شد (شکل ۴-۵). در این مطالعه با افزایش میزان کارتنوئید میزان کلروفیل a و b افزایش یافت. آذری و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای که بر روی کلزا داشتند، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان کارتنوئید و کلروفیل a و b تحت شرایط تنش شوری مشاهده کردند. یکی از دلایل افزایش دور از انتظاری که در صفات کلروفیل a و b در اثر کادمیم مشاهده می‌گردد افزایش عامل محافظت کننده کاروتنوئید در این شرایط است. کاروتنوئید این قابلیت را دارد که به طور برگشت پذیر با رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولید شده در

شرایط تنش‌های محیطی واکنش دهد و از صدمات جبران ناپذیر آن‌ها جلوگیری کند. این رنگیزه‌ها در سمیت‌زدایی کلروفیل نقش دارند و باعث کاهش اثرات سمی رادیکال‌های آزاد می‌شوند (سینگ و میهر، ۱۹۹۸).

جدول (۴-۴). اثرات متقابل سطوح شوری و عناصر سنگین بر میزان کلروفیل a و b در مراحل ۴ و ۱۲ برگی

تیمارها		مرحله ۴ برگی		میکروگرم بر گرم وزن‌تر	مرحله ۱۲ برگی	
		کلروفیل a	کلروفیل b		کلروفیل a	کلروفیل b
شوری صفر	صفر	۱/۵۲۳abcde	۰/۵۷۳۳abcd		۶/۱۴۰bc	۳/۷۴۰bc
	کادمیم	۱/۱۵۷de	۰/۴۶۰۰cde		۳/۷۸۳de	۱/۹۹۷e
	سرب	۱/۸۶۷a	۰/۷۴۶۷a		۵/۹۸۷bc	۳/۸۴۰bc
	کادمیم+سرب	۱/۷۶۳abc	۰/۶۴۰۰abc		۳/۷۸۳de	۲/۴۱۷de
شوری ۴	صفر	۱/۰۵۳e	۰/۳۸۰۰e		۵/۸۳۷bc	۳/۵۳۳bcd
	کادمیم	۱/۳۸۷abcde	۰/۵۳۰۰bcde		۶/۶۷۲۰b	۴/۲۱۷b
	سرب	۱/۳۲۰bcde	۰/۵۱۰۰cde		۵/۰۴۰cd	۲/۸۸۷cde
	کادمیم+سرب	۱/۲۴۳cde	۰/۵۰۰۰cde		۶/۰۸۳bc	۳/۸۵۳bc
شوری ۸	صفر	۱/۰۸۷e	۰/۴۱۳۳de		۳/۸۷۷de	۲/۴۰۰de
	کادمیم	۱/۸۰۷ab	۰/۷۱۰۰ab		۸/۳۳۰a	۵/۵۲۷a
	سرب	۱/۶۶۳abcd	۰/۶۴۰۰abc		۳/۲۴۳e	۲/۱۰۷e
	کادمیم+سرب	۱/۲۶۰cde	۰/۴۶۰۰cde		۴/۸۵۳cd	۳/۰۷۰bcde

*اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون و برای هر تیمار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

۴-۱-۳- عناصر معدنی

۴-۱-۳-۱- عناصر معدنی اندام هوایی

اثرات متقابل شوری و فلزات سنگین بر میزان عناصر معدنی اندام هوایی اسفناج در هر دو مرحله نمونه‌برداری معنی‌دار نشد. سطوح شوری بر میزان سدیم اندام هوایی اسفناج در سطح احتمال ۱ درصد در هر دو مرحله نمونه‌برداری اثر معنی‌داری داشتند. عناصر سنگین در مرحله ۱۲ برگی اسفناج به طور معنی‌داری میزان پتاسیم اندام هوایی را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۴-۵).

جدول(۴-۵). نتایج تجزیه واریانس میزان عناصر معدنی اندام هوایی اسفناج در مراحل ۴ و ۱۲ برگی

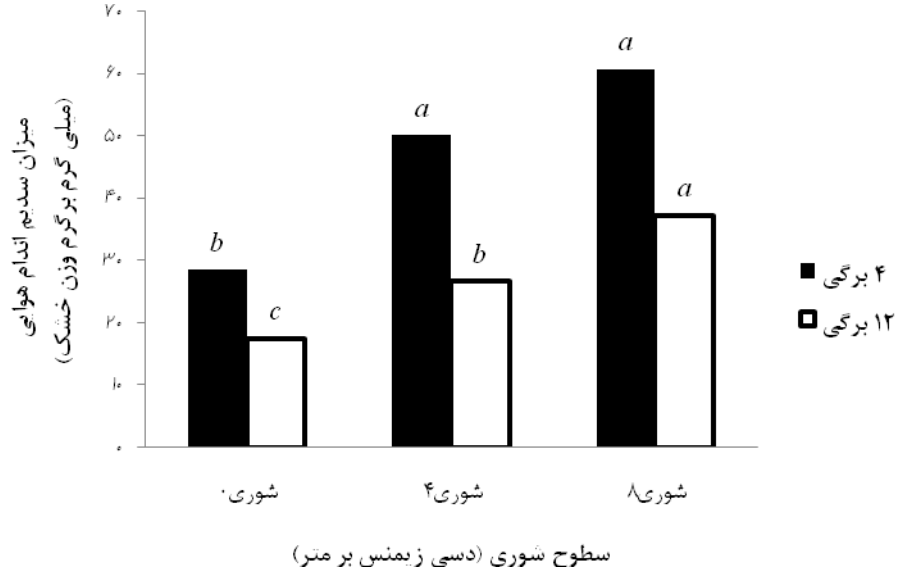
منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات					
		مرحله ۴ برگی			مرحله ۱۲ برگی		
		سدیم	پتاسیم	فسفر	سدیم	پتاسیم	فسفر
تکرار	۲	۱۶۷/۷ ns	۴۸/۶ ns	۰/۰۰۰۱۱ns	۱۲/۶۰ ns	۱۵۴/۸۹ns	۰/۰۰۰۱۳ns
شوری (S)	۲	۳۲۳۵/۳ **	۲۸۸۴/۲ ns	۰/۰۰۰۰۴۹ns	۱۱۷۷/۴۹**	۲۷۴/۴۰ ns	۰/۰۰۰۰۵۸ns
عناصر سنگین (H)	۳	۱۷۱/۴ ns	۳۸۸۸/۳ ns	۰/۰۰۰۰۳۹ns	۱۶/۶۰ ns	۱۴۸۸/۶۹*	۰/۰۰۰۰۴۷ns
S×H	۶	۲۷۹/۱ ns	۸۹۶۵/۵ ns	۰/۰۰۰۱۱ns	۱۶/۴۶ns	۵۷۷/۱۳ns	۰/۰۰۰۱۴ns
خطا	۲۲	۱۷۱/۲	۴۱۴۱/۹	۰/۰۰۰۰۸	۲۲/۶۸	۳۹۹/۵۰۱	۰/۰۰۰۰۹
ضریب تغییرات (CV)	–	۱۵/۴۹	۱۸/۱۲	۱۹/۷۸	۱۷/۴۹	۱۶/۲۵	۱۶/۷۸

ns، * و ** : به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

۴-۱-۳-۱-۱- سدیم

تأثیر شوری بر مقدار سدیم اندام هوایی اسفناج در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴-۵). افزایش سطوح شوری موجب افزایش سدیم در اندام هوایی اسفناج در هر دو مرحله ۴ و ۱۲ برگی گردید. به طوری که تیمار شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر در هر دو مرحله نمونه‌برداری بالاترین میزان سدیم اندام هوایی را دارا بود و به ترتیب در مراحل ۴ و ۱۲ برگی ۱۱۲/۶۵ و ۱۱۲/۶۹ درصد میزان سدیم را در مقایسه با شاهد (شوری صفر) افزایش داد (شکل ۴-۹). نجفی و میرمعصومی (۱۳۷۸) گزارش کردند، افزایش غلظت نمک باعث افزایش تجمع یون‌های سدیم و نیتروژن در برگ سویا گردید. همچنین در مطالعه دیگری اعلام شد، گیاهانی که در معرض شوری قرار می‌گیرند میزان

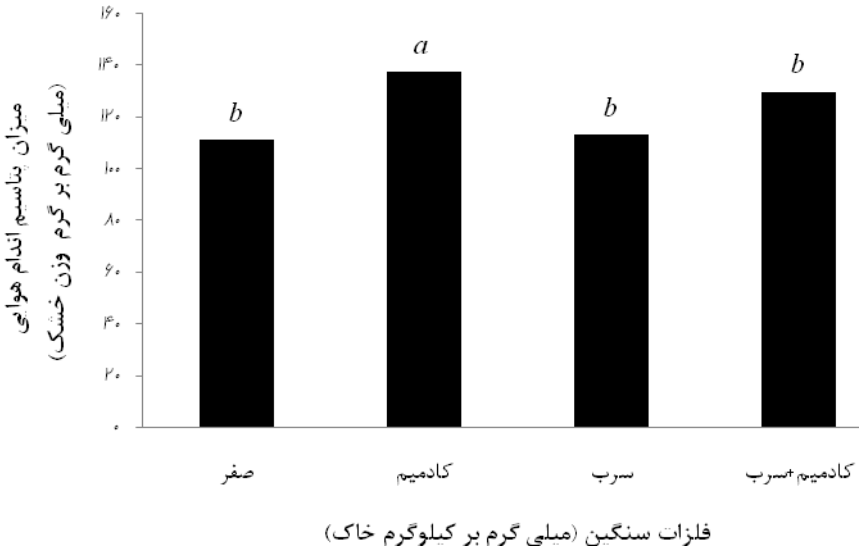
زیادی سدیم جذب می‌کنند که در نتیجه سبب کاهش جذب پتاسیم می‌گردد (هاسگاوا و همکاران، ۲۰۰۰).



شکل(۴-۹). تأثیر سطوح مختلف شوری بر میزان سدیم اندام هوایی در مراحل ۴ و ۱۲برگی

۴-۱-۳-۱-۲- پتاسیم

اثر فلزات سنگین بر میزان پتاسیم اندام هوایی اسفناج معنی‌دار شد (جدول ۴-۵). در این مطالعه تیمار کادمیم میزان پتاسیم اندام هوایی اسفناج را در مقایسه با تیمار شاهد (بدون فلز سنگین) ۲۳/۷۶ درصد افزایش داد (شکل ۴-۱۰). تأثیر عناصر سنگین بر میزان جذب عناصر کم مصرف و پر مصرف بستگی به غلظت یون‌ها، pH و حضور کلات‌ها دارد (قاسمی و شهابی، ۱۳۸۹). بنابراین نتایج این گونه آزمایش‌ها بر عناصر غذایی ضد و نقیض بوده و به سختی قابل مقایسه است. نتایج سیکو و همکاران (۲۰۰۹) با نتایج این تحقیق مطابقت داشت، آن‌ها گزارش کردند، کادمیم محتوای پتاسیم را در بخش هوایی ذرت و جو افزایش داد. این در حالی است که در مطالعات دیگر اعلام شد، میزان عناصر پر مصرف و کم مصرف تحت تأثیر تنش فلز سنگین کادمیم کاهش یافت (جونر و لیوال، ۲۰۰۱ و ساندالیو و همکاران، ۲۰۰۱).



شکل(۴-۱۰). تأثیر فلزات سنگین بر روی پتاسیم اندام هوایی در مرحله ۱۲ برگی

۴-۱-۳-۱-۳- فسفر

اثر شوری و فلزات سنگین بر میزان فسفر در اندام هوایی اسفناج در مراحل ۴ و ۱۲ برگی معنی‌دار نشد (جدول ۴-۵).

۴-۱-۳-۲- عناصر معدنی ریشه

اثر متقابل شوری و فلزات سنگین بر میزان سدیم، پتاسیم و فسفر ریشه اسفناج معنی‌دار نشد. سطوح شوری تنها بر میزان سدیم ریشه اثر معنی‌داری نشان داد (جدول ۴-۶).

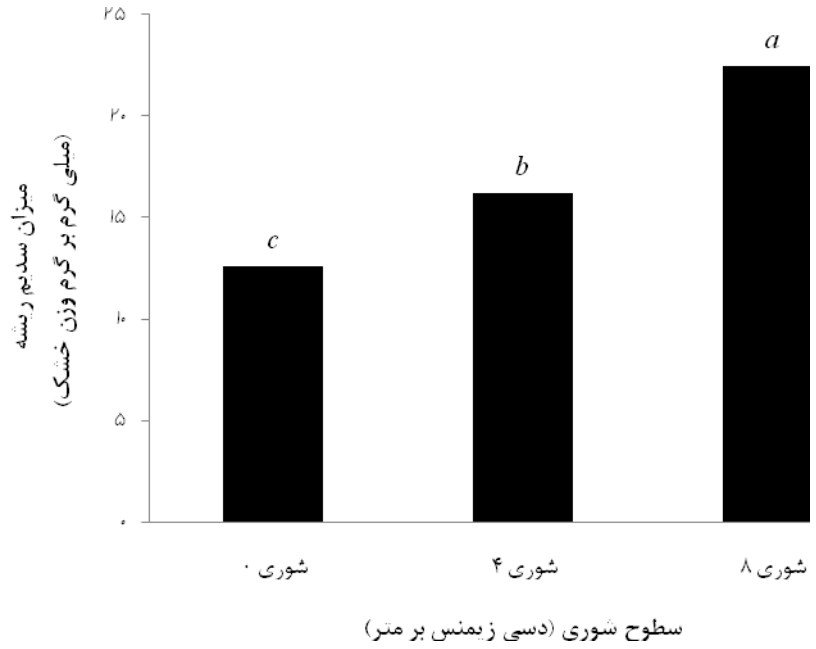
جدول(۴-۶). نتایج تجزیه واریانس میزان عناصر معدنی ریشه اسفناج

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		سدیم	پتاسیم	فسفر
تکرار	۲	۱۱/۵۲^{ns}	۳۰۰/۱۸۹^{ns}	۰/۰۰۰۳۶^{ns}
شوری (S)	۲	۳۰۰/۸۰**	۵۳/۴۷۵^{ns}	۰/۰۰۰۳۶^{ns}
عناصر سنگین (H)	۳	۲۶/۸۹^{ns}	۲۲۱/۱۱۶^{ns}	۰/۰۰۰۰۵^{ns}
S×H	۶	۲۵/۹۴^{ns}	۲۰۶/۴۲۸^{ns}	۰/۰۰۰۰۸^{ns}
خطا	۲۲	۱۳/۸۵	۱۴۰/۳۰۵	۰/۰۰۰۱۲
ضریب تغییرات (CV)	–	۲۱/۷۹	۲۹/۸۹	۲۶/۹۱

ns ، ****** : به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

۴-۱-۳-۲-۱-سدیم

اثر شوری بر میزان سدیم ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴-۶). افزایش سطوح شوری سبب افزایش میزان سدیم در ریشه اسفناج شد، به طوری که سطوح شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر میزان سدیم ریشه را به ترتیب ۲۸ و ۷۸ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (شوری صفر) افزایش داد (شکل ۴-۱۱). اشرف و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند، افزایش سطوح شوری سبب افزایش میزان سدیم در ریشه و اندام هوایی گیاه دارویی زنیان شد.



شکل (۴-۱۱). تأثیر سطوح شوری بر میزان سدیم ریشه

۴-۱-۳-۲-۲- پتاسیم

اثر تیمارهای شوری و فلزات سنگین بر میزان پتاسیم ریشه اسفناج معنی‌دار نشد (جدول ۴-۶).

۴-۱-۳-۲-۳- فسفر

اثر تیمارهای شوری و فلزات سنگین بر میزان فسفر ریشه اسفناج معنی‌دار نشد (جدول ۴-۶).

۴-۱-۴- کربوهیدرات محلول

اثرات متقابل شوری و فلزات سنگین در سطح احتمال ۵ درصد بر مقدار کربوهیدرات محلول اندام هوایی در مراحل ۴ و ۱۲ برگی معنی‌دار شد (جدول ۴-۷).

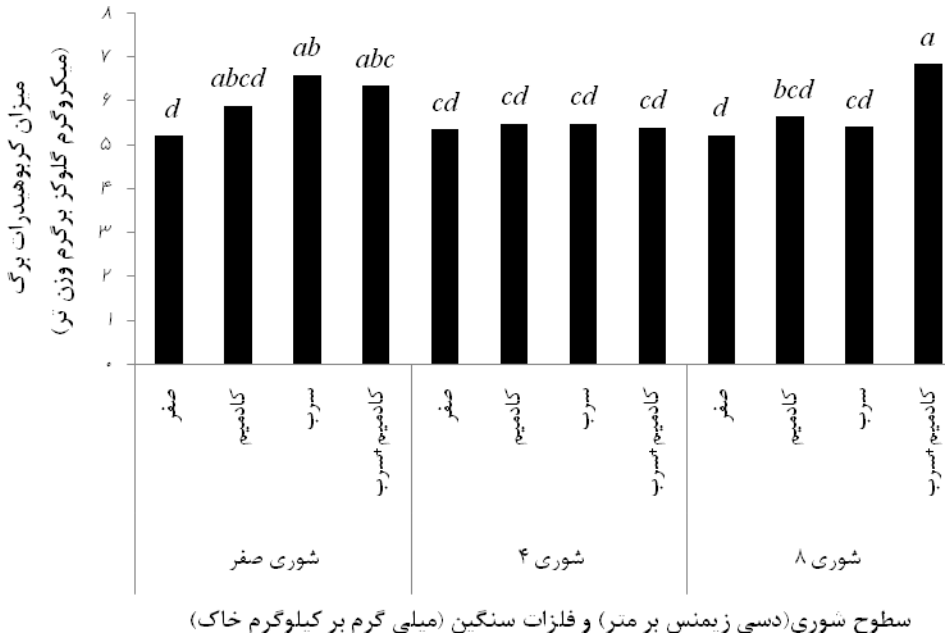
جدول(۴-۷). نتایج تجزیه واریانس کربوهیدرات محلول برگ اسفناج در مراحل ۴ و ۱۲ برگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		مرحله ۴ برگی	مرحله ۱۲ برگی
		کربوهیدرات محلول	
تکرار	۲	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۰۷۵۵^{ns}
شوری (S)	۲	۱/۲۴*	۶/۵۱**
عناصر سنگین (H)	۳	۱/۲۱*	۲/۶۰*
S×H	۶	۰/۶۸*	۸/۰۸*
خطا	۲۲	۰/۲۷	۰/۲۷
ضریب تغییرات (CV)	-	۹/۰۸	۷/۵۳

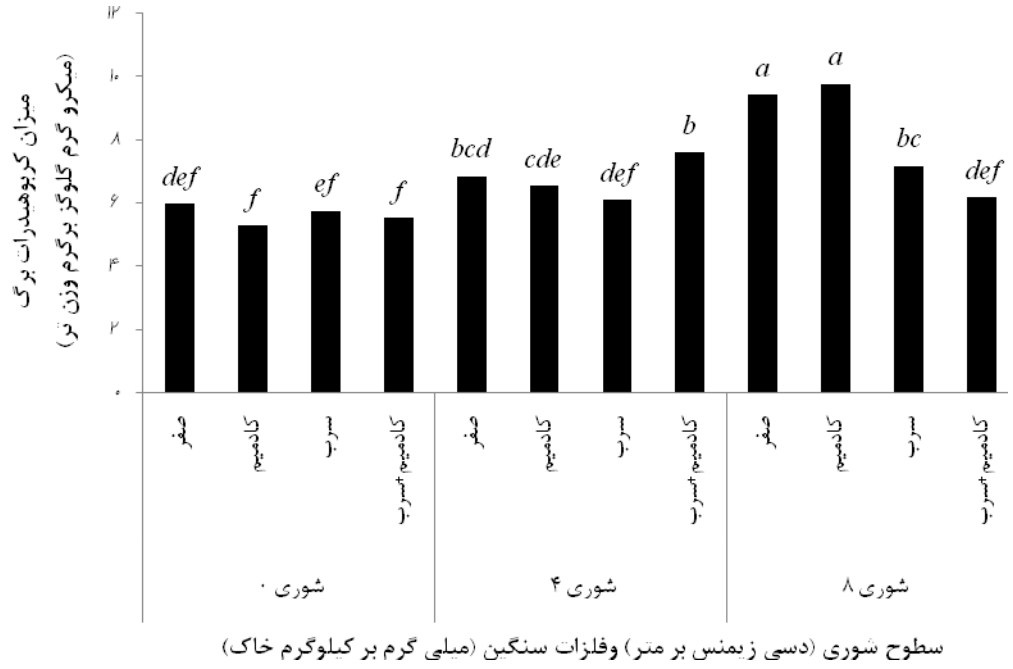
ns ، ***** و ****** : به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

در مرحله ۴ برگی اسفناج در سطح شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر، فلزات سنگین میزان کربوهیدرات‌های محلول را افزایش دادند، از این بین تیمارهای سرب و ترکیب سرب و کادمیم به طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار بدون فلز سنگین اختلاف نشان دادند. در سطح شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری در بین تیمارها مشاهده نشد. ترکیب کادمیم و سرب به طور معنی‌داری میزان کربوهیدرات‌های محلول را در بالاترین سطح شوری افزایش داد (شکل ۴-۱۲). در مرحله دوم نمونه‌برداری افزایش سطوح شوری موجب افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول در تیمارهای آزمایشی شد. به طوری که تیمارهای ترکیب کادمیم و سرب در سطح شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و سرب و کادمیم در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ اسفناج را ۲۷، ۲۰ و ۶۳ درصد در مقایسه با تیمار بدون فلز سنگین در سطح شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر افزایش دادند (شکل ۴-۱۳). افزایش قندهای محلول در شرایط تنش ناشی از شوری، خشکی، سرما و فلزات سنگین گزارش شده است (دابی، ۱۹۹۷). محققین اعلام کردند، وجود کلرید سدیم

موجب افزایش قندهای محلول در جو و گوجه فرنگی شد. این افزایش در مقدار گلوکز، فروکتوز و ساکارز در میوه گوجه فرنگی یک تعادل اسمزی را ایجاد کرد، چون شوری باعث افزایش فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سنتاز و به دنبال آن افزایش قند میوه و برگ گوجه فرنگی شد (چاوشی و همکاران، ۱۳۸۷). بسیاری از فلزات سنگین با تغییر در فعالیت پروتئین‌های کانالی انتقال آب و با بستن روزنه های برگ، جریان آب را در گیاه متوقف می‌سازند با کاهش انتقال آب به برگ‌ها و به دنبال تجمع فلزات سنگین در سلول‌ها، میزان قندهای محلول در گیاه افزایش می‌یابد (ژانگ و تیرمن، ۱۹۹۹). با افزایش غلظت کادمیم در محیط رشد، میزان قندهای محلول در اندام‌های هوایی به طور معنی‌دار افزایش یافت. به نظر می‌رسد کادمیم انتقال آب را در گیاه مورد مطالعه کاهش داده در نتیجه غلظت این عنصر در سلول‌ها افزایش یافته است و کاهش آب در سلول‌ها سبب افزایش غلظت قندهای محلول در اندام‌های هوایی و ریشه شده است تا از این طریق گیاه بتواند با حفظ شرایط اسمزی حداکثر توان خود را جهت حفظ مقادیر آبی گیاه انجام دهد (دابی و سینگ، ۲۰۰۱).



شکل(۴-۱۲). اثر متقابل سطوح مختلف شوری و فلزات سنگین بر میزان کربوهیدرات محلول برگ در مرحله ۴ برگی



شکل(۴-۱۳). اثر متقابل سطوح مختلف شوری و فلزات سنگین بر میزان کربوهیدرات محلول برگ در مرحله ۱۲ برگی

۴-۲- اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک

اثر متقابل شوری و فلزات سنگین بر اسیدیته خاک معنی‌دار نشد. سطوح شوری در سطح احتمال ۱ درصد میزان اسیدیته خاک را تحت تأثیر قرار داد. هدایت الکتریکی خاک تحت تأثیر اثر متقابل شوری و فلزات سنگین قرار گرفت (جدول ۴-۸).

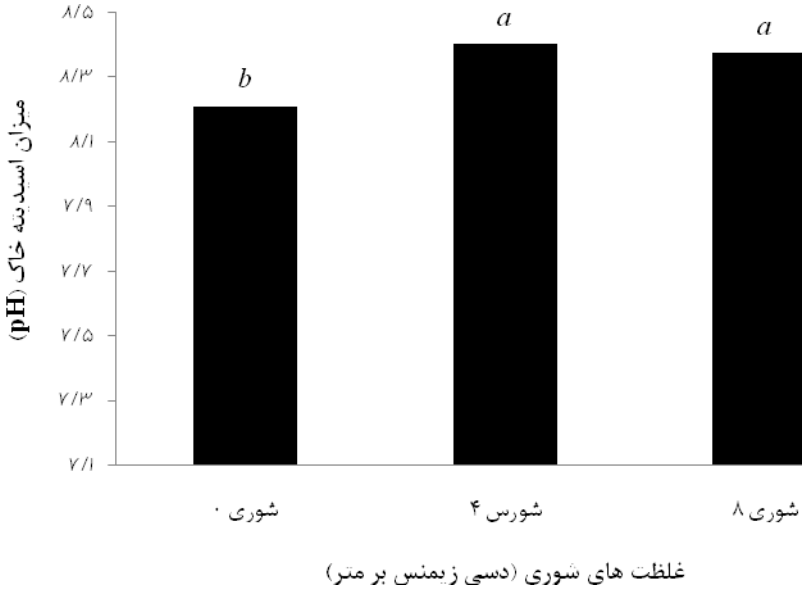
جدول(۴-۸). نتایج تجزیه واریانس اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات	
		اسیدیته خاک (pH)	هدایت الکتریکی (EC)
تکرار	۲	۰/۰۴۹^{ns}	۰/۰۵۳^{ns}
شوری (S)	۲	۰/۱۲۸**	۳۸/۳۰۷**
عناصر سنگین (H)	۳	۰/۰۲۱^{ns}	۲/۶۱۰**
S×H	۶	۰/۰۳۵^{ns}	۲/۱۴۳**
خطا	۲۲	۰/۰۱۸	۰/۱۹۳
ضریب تغییرات (CV)	-	۱/۵۸	۷/۱۲

ns و **** : به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

۴-۲-۱- اسیدیته خاک

اثر شوری بر میزان اسیدیته خاک معنی‌دار بود. تیمارهای شوری میزان اسیدیته خاک را در مقایسه با تیمار شاهد (شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر) به طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۴-۱۴). در گزارشی اعلام شد، افزایش شوری منجر به افزایش اسیدیته خاک گردید. در این مطالعه اظهار شد شوری ناشی از نمک‌های سدیمی همچون NaCl که قابلیت انحلال بالایی داشته و به شدت یونیزه می‌شود، مشروط به غلظت بالای این نمک‌ها می‌تواند اسیدیته خاک را تا بالای ۱۰ افزایش دهد (برزگر، ۱۳۸۳). این در حالی است که در مطالعات دیگری عکس این نتیجه صادق بوده است (فلاحتی مروست و همکاران، ۱۳۹۲؛ دهقانی و همکاران، ۱۳۸۶).

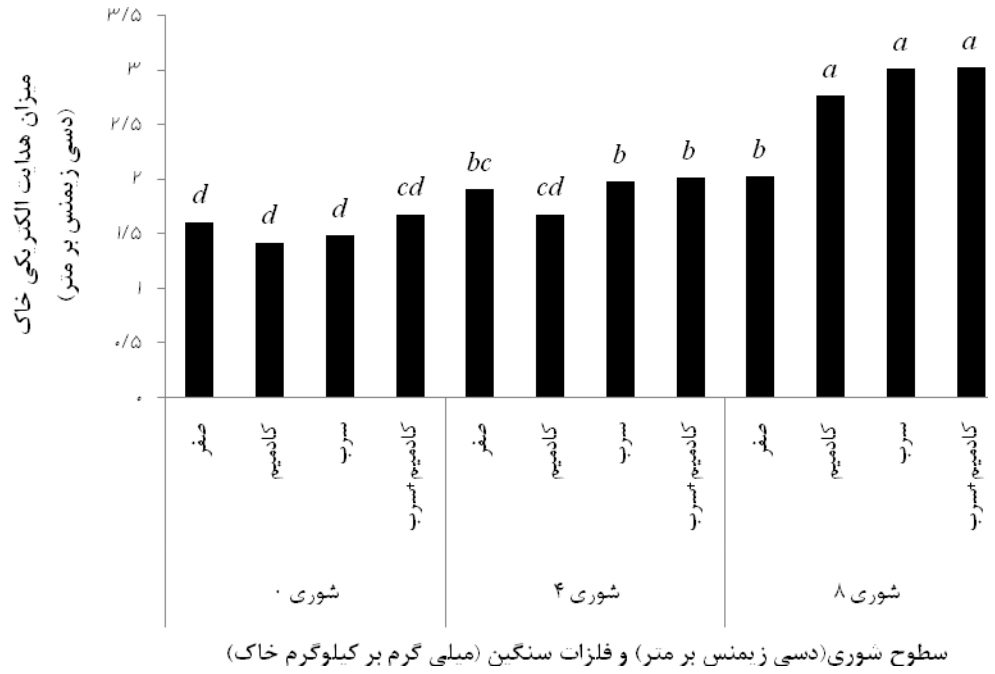


شکل(۴-۱۴). تأثیر سطوح مختلف شوری بر میزان اسیدیته خاک

۴-۲-۲- هدایت الکتریکی خاک

اثر متقابل شوری و فلزات سنگین بر هدایت الکتریکی خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴-۸). افزایش سطوح شوری سبب افزایش میزان هدایت الکتریکی خاک در تیمارهای فلزات سنگین شد. تیمارهای کادمیم، سرب و ترکیب سرب و کادمیم در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس

بر متر بالاترین میزان هدایت الکتریکی خاک را دارا بودند و به ترتیب میزان هدایت الکتریکی خاک را ۷۱، ۸۷ و ۸۸ درصد در مقایسه با تیمار بدون فلز سنگین در سطح شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر افزایش دادند (شکل ۴-۱۵). علت افزایش هدایت الکتریکی با افزایش سطوح شوری می‌تواند به دلیل افزایش نمک‌های افزوده شده به خاک باشد (عطائی، ۱۳۹۱؛ کرمی و همکاران،۱۳۸۷). محققین گزارش کردند، هدایت الکتریکی نسبتاً زیاد خاک به دلیل غلظت بالای عناصر کلسیم، منیزیم، سدیم و کلر در آن می‌باشد (کسرایی و همکاران،۱۳۸۷). بعلاوه بیان کردند، ارتباط مستقیمی بین هدایت الکتریکی خاک و فلزات سنگین وجود دارد (چن و همکاران، ۲۰۱۰). طی مطالعه‌ای کورتنی و مولن (۲۰۰۸) اظهار داشتند، دلیل افزایش هدایت الکتریکی خاک به دلیل وجود عناصر فلزی سنگین و یون‌هایی چون سدیم و پتاسیم می‌باشد. از عوامل مؤثر دیگر بر افزایش هدایت الکتریکی، فرآیندهایی از قبیل تبادل یون بین محلول و یون‌های موجود در خاک می‌باشد (کاسچل و همکاران، ۲۰۰۲).



شکل(۴-۱۵). اثر متقابل سطوح مختلف شوری و فلزات سنگین بر میزان هدایت الکتریکی خاک

۴-۳- نتیجه‌گیری

در این مطالعه سطوح مختلف شوری و عناصر سنگین بر برخی خصوصیات کمی و کیفی گیاه اسفناج، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک تأثیرگذار بود. شوری، وزن تر، تجمع سدیم در ریشه و اندام هوایی اسفناج و اسیدیته خاک را افزایش داد. از طرف دیگر فلزات سنگین بر میزان پتاسیم اندام هوایی و وزن تر و خشک اسفناج تأثیر گذاشتند. در حضور اثر متقابل شوری و فلزات سنگین، میزان هدایت الکتریکی خاک تحت تأثیر قرار گرفت. افزایش سطوح شوری در تیمارهای فلزات سنگین منجر به افزایش هدایت الکتریکی خاک شد به طوری که بالاترین میزان هدایت الکتریکی را سرب، کادمیم و ترکیب سرب و کادمیم در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر دارا بودند. کارتنوئید، آنتوسیانین، فلاونوئید، کلروفیل a وb و کربوهیدرات محلول تحت تأثیر اثر متقابل شوری و فلزات سنگین قرار گرفتند. در بین فلزات سنگین، کادمیم بیشترین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و کربوهیدرات محلول را با افزایش میزان شوری دارا بود. این امر احتمالاً به قابلیت دسترسی این عناصر در سطوح شوری مختلف بستگی داشته است. که منجر به جذب بیشتر کادمیم شده و افزایش جذب آن بر روی شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه موثر بوده است.

به طور کلی از نتایج به دست آمده چنین استنباط می‌شود که تأثیر تنش ناشی از سطوح مختلف شوری و فلزات سنگین به عنوان دو تنش غیرزنده بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه اسفناج متفاوت بوده و به شرایط رشدی گیاه و ویژگی‌های خاک ارتباط مستقیم دارد.

پیشنهادها

۱- تغییراتی که در گیاهان تحت تأثیر فلزات سنگین رخ می‌دهد به میزان این عناصر در خاک بستگی دارد، لذا پیشنهاد می‌شود این آزمایش در مقادیر مختلف فلزات سنگین مورد مطالعه قرار گیرد.

۲- از سایر گیاهان جهت مطالعات بیشتر استفاده شود.

۳- از آن‌جایی که شرایط و ویژگی‌های خاک یکی از پارامترهای موثر در نتایج چنین آزمایشاتی می‌باشد پیشنهاد می‌شود که این آزمایش در خاک‌هایی با ویژگی‌های متفاوت انجام شود.

۴- پیشنهاد می‌شود با توجه به اهمیت موضوع و اثرات جبران ناپذیر دو معضل شوری و آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین، پژوهش حاضر در آینده توسط دیگر محققین در شرایط مزرعه‌ای آلوده و آب شور تکرار گردد.

منابع

احمدی‌زاده م، (**۱۳۷۶**) "*سم‌شناسی صنعتی فلزات سنگین*" چاپ اول، نشر هزاران، ص ۱۴۴.

آذری آ. مدرس ثانوی ع. عسکری ح. قناتی ف. ناجی ا. و علیزاده ب، (**۱۳۹۱**) "اثر تنش شوری بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک دو گونه کلزا و شلغم روغنی" *مجله علوم زراعی ایران*. جلد چهاردهم، شماره۲، ص ۳۲.

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

اسماعیلی م. و بیداری ا، (**۱۳۷۱**) "*مسمومیت‌های و حوادث محیطی*" چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۲۲۷.

اسماعیلی ساری ع، (**۱۳۸۱**) "*آلاینده‌ها، بهداشت و استاندارد در محیط زیست*" انتشارات نقش مهر. چاپ اول. ص ۷۶۹.

امامی ع، (**۱۳۷۵**) "*روش‌های تجزیه گیاه*" جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۲۴۸.

ایرانبخش ع. مجد ا. و نقوی ف، (**۱۳۸۹**) "بررسی تاثیر کلرید روی و کلرید سرب بر جوانه‌زنی و رشد دانه رست‌های سویا (Glycine max L.)" *فصلنامه پژوهش‌های گیاهی*، شماره ۴،دوره پنجم، ص ۶۳-۷۳.

بایبوردی ا. سید طباطبایی س. احمداف ع، (**۱۳۸۹**) "تأثیر تنش شوری ناشی از کلرور سدیم بر خصوصیات فیزیولوژیکی، کمیت و کیفیت ارقام پاییزه کلزا" *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. جلد ۲۴، شماره ۲،ص،۳۴۶-۳۳۴.

برزگر ع، (**۱۳۸۳**) "*خاک‌های شور و سدیمی شناخت و بهره وری*" انتشارات دانشگاه شهید چمران.ص ۲۷۳.

بغوری ا، (**۱۳۷۰**) " مروری بر نتایج حاصل از کاربرد کودهای فسفره بر کادمیم خاک و گیاه و بررسی میزان کادمیم در کودهای وارداتی" *موسسه تحقیقات خاک و آب*. نشریه ۸۲۲، تهران، ایران.

بنادر م. نادری ا، (**۱۳۸۸**) "اثر شوری آب آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیکی نیشکر" *فصلنامه علمی تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی*. شماره ۲، ص ۹۰-۸۵.

بنی‌هاشمی م. لیاقت ع. و متشرع‌زاده ب، (**۱۳۹۰**) "بررسی تاثیر تنش‌های زنده و غیرزنده (فلز سنگین کادمیم و شوری) بر غلظت کادمیم در گیاه آفتابگردان"، اولین کنگره ملی علوم و فناوری‌های نوین کشاورزی، زنجان، ایران.

بویراحمدی م. رئیسی ف. و محمدی ج، (**۱۳۹۰**) " اثر سطوح مختلف شوری بر شاخص‌های رشد و جذب عناصر غذایی در شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum L.*) و گندم رقم چمران (*Triticum aestivum Var Chamran*)" *مجله پژوهش‌های تولید گیاهی*، جلد هجدهم، شماره ۴، ص ۳۵-۴۴.

بهتاش ف. طباطبائی ج. ملکوتی م. سرورالدین م. و اوستان ش، (**۱۳۸۹**) "اثر روی و کادمیم بر رشد، مقدار کلروفیل، فتوسنتز و غلظت کادمیم در چغندر لبویی" *مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)*. شماره ۱، جلد۲۴، ص ۳۱-۴۱.

بیچه کشاورزی م. و موسوی نیک م، (**۱۳۹۰**) "مطالعه اثر پتانسیل‌های مختلف اسمزی شوری بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های اولیه اسفناج (*Spinica Oleracea*)"، همایش منطقه‌ای اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، شوشتر، ایران.

پژومند ع. و شریعت ا، (**۱۳۷۷**) "*تشخیص و درمان مسمومیت‌ها*" چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی، ص۷۰۰.

پور اسماعیل م. قربانلی م. و خاوری نژاد ر، (**۱۳۸۴**) "اثر شوری روی جوانه‌زنی، وزن تر و خشک، محتوای یونی، برولین، قند محلول و نشاسته گیاه *Suaeda Fruticosa*" *مجله بیابان*، شماره ۲، جلد ۱۰، ص ۲۵۵-۲۶۵.

ترابیان ع. و بغوری ا، (**۱۳۷۳**) " بررسی آلودگی‌های ناشی از کاربرد پساب‌های شهری و صنعتی در اراضی کشاورزی جنوب تهران" *مجله محیط شناسی*، شماره ۱۸، ص۳۳-۴۵.

ترابیان ع. و مهجوری م، (**۱۳۸۱**) " بررسی اثر آبیاری با فاضلاب روی جذب فلزات سنگین به وسیله سبزی‌های برگی جنوب تهران" *مجله علوم خاک و آب*، شماره ۱۶، دوره ۲،ص۵۲-۳۹.

ثواقبی غ. و ملکوتی م، (**۱۳۷۹**) "اثرات روی و کادمیم بر غلظت عناصر و ترکیب شیمیایی دانه گندم" *مجله آب و خاک*، ویژه نامه کشاورزی پایدار، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، شماره ۱۲، دوره ۹، ص۵۴-۶۵.

جعفرزاده حقیقی، ن، (**۱۳۷۵**) "تاثیر فاضلاب شیراز در آبیاری محصولات کشاورزی بر افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک و برخی محصولات کشاورزی"، دومین کنگره ملی مسائل آب و خاک، ص ۳۰۳-۳۱۰، تهران.

جعفری م، (**۱۳۷۹**) "*خاک‌های شور در منابع طبیعی*" چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، ص۱۹۳.

جعفری م. آذرنیوند ح. زهتابیان غ. و جمشیدی ع، (**۱۳۸۱**) " بررسی نقش کیفیت آب آبیاری در بیابانی شدن اراضی کشاورزی حاشیه کویر دامغان" *مجله بیابان*، شماره۲، جلد ۷، ص ۱۲۱-۱۲۸.

جعفری ر، (**۱۳۸۲**) پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "تاثیر بر همکنش کادمیوم و اسید سالیسیلیک بر رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه لوبیا"، دانشگاه تربیت معلم تهران.

چاوشی م. آروین م. و منوچهری کلانتری خ، (**۱۳۸۷**) "اثر متقابل شوری و متیل ژاسمونات بر قند، آنتوسیانین، پراکسیداسیون لیپید و برخی پارمترهای رشد در گیاه گلرنگ (*tinctorius Carthamus*)" *مجله علمی- پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم پایه)*. شماره۶، جلد سی و پنجم، ص ۱۸۰-۱۵۵.

حقیقی م. کافی م. تقوی ت. کاشی ع. ثواقبی غ، (**۱۳۸۷**) "تغییرات فعالیت فتوسنتزی و آنزیمی کاهو تحت تاثیر سمیت کادمیم" *مجله علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)*. شماره ۳۷، جلد ۲۲، ص۲-۲۵.

حمزه نژاد تقلیدآباد ر. خداوردی‌لو ح. منافی ش. و رضاپور س، (**۱۳۹۰**) "جذب و اندوزش همزمان سدیم، سرب یا کادمیم توسط سه گیاه شورپسند در دو خاک آهکی شور- سدیمی و غیر شور- سدیمی" *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. شماره ۶، جلد ۲۵، ص ۱۲۹۹-۱۳۰۹.

خانی م. ر. ملکوتی م. و شریعت س، (**۱۳۷۹**) "بررسی رابطه بین تغییرات فسفر با کادمیم در خاک-های شالیزاری شمال کشور" *مجله علوم خاک و آب، موسسه تحقیقات خاک و آب، ویژه نامه کشاورزی پایدار*. شماره ۹، جلد ، ص ۱۸-۱۲.

خدیوی ا. نوربخش ف. افیونی م. و شریعتمداری ح، (**۱۳۸۶**) "شکل‌های مختلف سرب، نیکل و کادمیم در یک خاک آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب" *مجله علوم و فنون کشاورزی*، شماره ۱۱، دوره ۱، ص ۴۱-۵۴.

دهقانی ا. فتوت ا. حق نیا غ. و کشاورز پ، (۱۳۸۶) "تأثیر شوری و کود گاوی بر غلظت و توزیع گونه-های روی در محلول خاک" *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*. شماره ۴۱، ص۶۰-۵۳.

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

رضاخانی ل. گلچین ا. شفیعی س، (**۱۳۹۱**)" تأثیر سطوح مختلف مس و کادمیم بر رشد و نمو و ترکیب شیمیایی اسفناج" *مجله زراعت و اصلاح نباتات*، شماره ۱، جلد ۸، ص ۱۰۰-۸۷.

شریعت م. و فرشی ص، (**۱۳۸۱**) "مقدار عناصر سنگین محصولات در جنوب تهران" *مجموعه مقالات آب و خاک*، جلد ۵ ، ص ۱۳-۲۵.

عبدل‌زاده ا. ملک جهانی ز. گالشی س. یغمایی ف، (**۱۳۸۵**) "بررسی اثر توأم شوری و تغذیه نیتروژن بر رشد گیاه کلزا" *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*. جلد ۱۳، ص ۳۳-۲۰.

عابدی م. نی‌ریزی س. ماهرانی م. خالدی ه. و چراغی ع، (**۱۳۸۱**)" استفاده از آب شور در کشاورزی پایدار" کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، چاپ اول، ص ۲۲۴.

عرفانی م. حسندخت م. برزگر م. جباری ع، (**۱۳۸۵**) "تعیین و مقایسه برخی از مواد مغذی هفت رقم اسفناج ایران" *فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران*، دوره ۳، شماره۲.

عصری ی، (**۱۳۷۲**) " بررسی برخی از ویژگیهای اکولوژیک جوامع گیاهی هالوفیت حاشیه غربی دریاچه ارومیه" *نشریه پژوهش و سازندگی*، شماره ۸، جلد ۱، ص۲۱-۲۵.

عقیلی ف. خوشگفتارمنش ا. افیونی م. و مبلی م، (**۱۳۸۷**)،" وضعیت فلزات سنگین سرب و کادمیم در گلخانه‌های استان اصفهان"، دومین همایش تخصصی محیط زیست، تهران،ایران.

عیسی‌زاده لرزجان س. اسدی کپورچال ص. پذیرا ا. و همایی م، (**۱۳۸۹**)،" ارزیابی توان بیش اندوزی اسفناج و پیازچه به منظور استخراج گیاهی کادمیم از خاک‌های آلوده"، دومین همایش ملی کشاورزی و توسعه پایدار ایران، شیراز، ایران.

عطائی م، (**۱۳۹۱**)، پایانامه ارشد مهندسی علوم خاک:" بررسی تأثیر لجن فاضلاب شهری بر برخی خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای" دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

فرهنگیان کاشانی س، (**۱۳۸۸**) "مطالعه اثر تنش شوری بر میزان کلروفیل در اسپرس و یونجه" *مجله علوم و فنون کشاورزی*، شماره ۱۸، ص ۷۷-۸۹.

فلاحتی مروست ع. حسین‌پور ع. طباطبایی ح، (**۱۳۹۲**)" اثر شوری و لجن فاضلاب بر فراهمی و جذب فلزات سنگین توسط گیاه جو" *نشریه آب وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، شماره ۲۷، جلد ۲۷، ص ۹۸۵-۹۹۷.

قاسمی ز. و شهابی ع، (**۱۳۸۹**) "تأثیر کادمیم بر شاخص‌های فیزیولوژیک، صفات رویشی و غلظت عناصر غذایی در گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) در کشت بدون خاک" *مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*، شماره دوم، سال اول، ص ۵۰-۶۵.

قربانلی م. و کیاپور ع، (**۱۳۹۱**) "بررسی اثر غلظت های مختلف مس بر رنگیزه ها و فعالیت سیستم های دفاعی غیرآنزیمی و آنزیمی در گیاه خرفه" *فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، **شماره دوم**، جلد ۸، ص ۲۴۷-۲۳۵.

کافی م. و استوارت دابلیو اس، (**۱۳۷۷**) "اثرات شوری در رشد و عملکرد نه رقم گندم" *مجله علوم و صنایع کشاورزی*، جلد ۱، شماره ۱۲، ص ۲۷-۳۱.

کافی م. و مهدوی دامغانی ع، (**۱۳۸۱**) "*مکنیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی*" انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۴۶۷.

کافی م. باقری ع. نباتی ج. مهرجردی م. معصومی ع، (**۱۳۸۹**) "بررسی تأثیر تنش شوری بر برخی متغیرهای فیزیولوژیک ۱۱ ژنوتیپ نخود در محیط هیدروپونیک" *مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*، شماره چهارم، سال اول، ص ۸-۱۶.

کافی م. صالحی م. و عشقی‌زاده، ح، (**۱۳۸۹**) "*کشاورزی شورزیست: راهبردهای مدیریت گیاه، آب و خاک*" چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ص۳۸۰.

کسرایی ر. ساعدی س. و علی اصغرزاده ن، (**۱۳۸۷**) "بررسی اثرات بیوشیمیایی کاربرد لجن بیولوژیک کارخانه پتروشیمی تبریز روی یک نمونه از خاک‌های منطقه اهر" *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، شماره ۱۵، دوره دوم، ص ۶۷-۷۵.

کشاورزی ع. خرمالی ف. ایوبی ش. و فتوت ا، (**۱۳۸۶**) "مطالعه جذب سطحی آلاینده های فلزی سرب و کادمیم و مس در دو خاک شور و غیر شور در استان گلستان"، دومین همایش ملی کشاورزی بوم شناختی ایران، گرگان، ایران.

کرمی م. رضایی نژاد ی. افیونی م. و شریعتمداری ح، (**۱۳۸۷**) "آثار تجمعی و باقیمانده لجن فاضلاب شهری بر غلظت عناصر سرب و کادمیم در خاک و گیاه گندم" *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، شماره ۶۵۳، ص ۴۶-۶۳۹.

مستشاری م، (**۱۳۸۰**) "بررسی شدت و گسترش آلودگی خاک‌ها به عناصر سنگین و تعیین مقدار آن-ها در گیاهان آبیاری شده با فاضلاب در قزوین"، مجموعه مقالات هفتمین کنگره علوم خاک، شهرکرد، ص ۱۵۲-۱۶۵.

ملکوتی م. ج، (**۱۳۸۹**) "رابطه مصرف بهینه کود و تولید محصولات کشاورزی سالم" *مجله علمی-پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی و علف‌های هرز*، شماره ۱۶، سال چهارم، ص ۱۳۳-۱۵۱.

ملکوتی م. ج. کشاورز پ. و کریمیان ن، (**۱۳۸۷**) "*روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار*" چاپ هفتم با بازنگری کامل، انتشارات دانشگاه تربیت معلم، شماره ۱۰۲، ص ۷۵۵.

ملکوتی م. ج. و همایی م، (**۱۳۸۷**) "*حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک (مشکلات و راه حل‌ها)*" چاپ دوم با بازنگری کامل. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ص ۴۸۲، تهران، ایران.

مظلومی ف. رونقی ع، (**۱۳۹۱**)" اثر شوری و فسفر بر رشد و ترکیب شیمیایی دو رقم اسفناج" *مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*، شماره نهم، سال سوم ۴۱-۵۳.

ناظمی س. و خسروی ا، (**۱۳۸۹**) "بررسی وضعیت فلزات سنگین در خاک، آب و گیاه اراضی سبزیکاری" *فصلنامه دانش و تندرستی*، شماره ۴، دوره ۵ ، ص۳۱-۲۷.

نجفی ح. و میرمعصومی م، (**۱۳۷۸**)" بررسی عکس العمل‌های فیزیولوژیکی سویا در شرایط تنش شوری". *مجله علوم و صنایع کشاورزی*،شماره ۱،ص ۳۴-۳۹.

واثقی س. افیونی م. شریعتمداری ح. و مبلی م، (**۱۳۸۲**)" اثر لجن فاضلاب و pH خاک بر قابلیت جذب عناصر کم مصرف و فلزات سنگین" *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، شماره ۷، دوره ۳، ص ۹۵-۱۰۵.

Abood M. A. (**1978**) “Analysis of corn yield component for salinity and moisture treatments” *Dissert.Abstract International.*, 38, 12, pp 5683.

Abu-Kassem F. Sharaf-E-Din A. Rosema B. and Foda E. A. (**1995**) “Synergistic effects of cadmium and NaCl on growth, phytosynthsis and iron content in wheat plants” *Biol Plant*., 37, pp 241-249.

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

Aldrich C. and Feng D. (**2000**) “Removal of heavy metals- from waste water effluents by biosorpitiv flotation” *mineralsn Engineering*., 13, 10, pp 1199-1138.

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

Alloway B. J. (**1995**) “ Heavy Metals in soils, published by Blackie Academic and Professiona” *Glasgow, U.K*., pp 50.

Amodio- Cocieri R. and Fiore P. (**1987**) “Lead and cadmium concentration in Liver stock bred in Campania, Italy” *Bulletin of Environ. Of Contamination and Toxicology.*, pp 460-464.

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

Andersson A. and Bingefors S. (**1985**) “Trends and annual Variations in Cd concentration in grain of winter wheat” *Acta Agriculture Scandinaavia.*, 35, pp 339-344.

Antcliff A. J. Newman H. P. and Barret H. C. (**1983**) “Variation in chloride accumulation in some American species of grapevine” *Vitis.*, 22, pp 357-362.

An y. J. Kim Y. M. Kwon T. I. and Jeong S. W. (**2004**) “Combined effect of copper, cadmium, and lead upon Cucumis sativus growth and bioaccumulation” *Sci. Total Environ*., 326, pp 85-93.

Arnon A. N. (**1967**) “Method of extraction of chlorophyll in the plants” *Agronomy Journal*., 23, pp 112-121.

Ashraf M. and McNeilly T. (**2004**) “Salinity tolerance in Brassica oilseeds” *Critical Review of Plant Science*., 23, 2, pp 157-174.

Ashraf M. Mukhtar N. Rehman S. and Rha E. S. (**2004**) “Salt induced changes in photosynthetic activity and growth in a potential medicinal plant Bishop`s weed (*Ammi majus L*.)” *Photosynthetica*., 42, 4, pp 543-550.

Awad A. S. Edward D. G. and Campbell L. C. (**1990**) “Phosphorrus enhancement of salt tolerance of tomato” *Crop Sci*., 30, pp 123-128.

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

Balba. A. M. (**1995**) “Managenment of problem soil in arid ecosystems” *Lewis publishers*., pp 250.

Baycu G. Doganay T. Hakan O. and Sureyya G. (**2006**) “Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pd, Zn and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul” *Environ. Pollution*., 143, pp 545-554.

Bernadro M. A. Diegvez E. T. Jones H. G. Chairez F. A. Janguren C. L. T. and Cortes A. L. (**2000**) “Screening and classification of cow pea genotypes for salt tolerance during germination” *Int. J. Exp. Bot*., 67, pp 71-84.

Benlloch M. Ojeda M. A. Ramos J. and Rodriguesnavarro A. (**1994**) “Salt sensitivity and low discrimination between potassium and sodium in plant and soil”., 166, pp 117-123.

Bingham F. T. Spsito G. and Strong J. E. (**1984**) “The effect of chloride on the availability of cadmium” J. *Environ. Qual*., 13, pp 71-74.

Blaylock A. D. (**1994**) “Soil salinity, salt tolerance, and growth potential of horticultural and landscape plants”. *Cooperative extension service, department of plant, soil, and insect sciences, college of agriculture, University of Wyoming.*

Boddi B. Oravecz A. R. and Lehoczki E. (**1995**) “Effects of cadmium on organization and Photoreduction of protochlorophyllide in dark-grown leaves and etioplast inner membrane preparations of wheat” *Photosynthetica*., 31, pp 411-420.

Boussama N. Ouariti A. Suzuki A. and Ghorbaln M. H. (**1999**) “Cd-stress on nitrogen assimilation” *J. Plant Physiol*., 155, pp 310-317.

Bruzynski M. (**1987**) “The influence of lead and cadmium on the absorption and distribution of potassium, calcium, magnesium and iron in cucumber seedlings” *Acta Physiologia Plantarum.,* 9, pp 229-238.

Burzynski M. (**1988**) “The uptake and accumulation of phosphorus and nitrates and the activity of nitrate reductase in cucumber seedlings” *Acta Soc. Bot. Pol*., 57, pp 349-359.

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

Chang A. C. Page A. L. Warneke G. E. and Jhnson G. B. (**1982**) “Effect of sludge application on the Cd, Pd, Zn levels of selected vegetable plants” *Hilgardi*., 50, pp 1-14.

Chapman H. D. and Pratt F. P. (**1961**) “Ammonium vandate-molybdate method for Determination of phosphorus” *Methods of analysis for soils, plants and water. California University. USA*,. pp 184-203.

Chen J. Wen P. Kong W. pan Q. Zrine J. Li J. Wan S. and Huang W. (**2006**) “Effect of salicylic acid on phinylpr and phenylalanine ammonialyase inharvested grape berries” *Poand technology*.,40, pp 64-72.

Chen G. Zeng G. Du C. Huang D. Tang L. Wang L. (**2010**) “Transfer of heavy metals from compost to red soil and groundwater under simulated rainfall conditions” *J. Hazard Mater*., 181,1-3, pp 211-6.

Chug L. K. and Sawhney S. K. (**1999**) “Phtosynthetic activites of Pisum sativum seedlings grown in presence of cadmium” *Plant Physiol. BIOCHEM*., 37,4, pp 297-303.

Ciecko Z. Kalembasa S. Wyszkowski M. and Rolka E. (**2009**) “Effect of soil contamination by cadmium on potassium uptake by plants” *Pol. J. Environ. Stud.* 13, pp 333-337.

Courtney R. and Mullen G. (**2008**) “Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types” *Bioresour Techno*., 99, 8, pp 213-218.

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

Davis R. D. and Calton-Smith C.(eds). (**1980**) “Crops as Indicator of the significance of contamination of soil by heavy metals” WRC, Stevenge TR., 140.

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

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

Dubey R. S. (**1997**) “*Photosynthesis in plants under stressfull conditions*” In:Pessarakli , M.(ed) Hand book of photosynthesis.Dekker New York, pp 85.

Dubey R. S. and Singh A. k. (**2001**) “Salinity induces accumulation of soluble sugars and alters the activity of sugar metabolizing enzyme in rice plants” *Plant Biology*., 42, pp 233-239.

FAO. (**2005**) “Global Network on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt-affected Soils” FAO Land and Plant Nutrition Management Service, Rome, Italy.

Fisher R. Ress A. D. Sayer K. D. Lu Z. M. Candon A. G. and Saaveedra A. L. (**1998**) “Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies” *Crop Sci*., 38, pp 1467-1475.

Fontes R. L. S. and Cox F. R. (**1998**) “Zinc toxicity in soybean grown at high iron concentration in nutrient solution” *Crop Sci*., 21, pp 1723-1730.

Francois L. E. (**1994**) “Growth, seed yield and oil content of canola grown under saline conditions” *Crop Sci*., 86, pp 233-234.

Gadapati W. R. and Macfie S. M. (**2006**) “Phytochelatinsareonly partially correlated with Cd-stress in two species of Brassica” *Plant Sci*.,170, pp 471–480.

Gasper G. M. and Anton A. (**2002**) “Heavy metal uptake by two radish varieties, Hungarian congress on Plant Physiol” 46 ,34 , pp 113-114.

Gee G. H. and Bauder J. W. (**1986**) “Particle size analysis” In: A. Klute, (ed), Methods of soil Analysis. Physical Properties. SSSA, Madison, WI. pp 383-411.

Ghassemi F. Jakeman. A. J. and Nix. H. A. (**1995**) “*Salinsation of Land and Water Resourses: Human Causes, Extent, Management and Case Studies*” CABI Publishing: Wallingford, pp 310.

Ghallab A. and Usman A. R. A. (**2007**) “Effect of Sodium Chloride-induced Salinity on Phyto-availability and Speciation of Cd in Soil Solution” *Water Air Soil Pollut*., 185, pp 43–51.

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

Hapkins B. G. Horneck D. A. Horneck R. G. Stevens R. G. Elllsworth J. W. and Sullivan D. M. (**2007**) “Managing irrigation water quality for crop production in pacific Northwest” Extension publication.

Hasegawa P. M. Bressan R. A. Zhu J. K. and Bohnert H. J. (**2000**) “Plant cellular and molecular responses to salinity” *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol*., 51, pp 463-499.

Havaux M. (**1998**) “Carotenoids as membrane stabilizers in chloroplasts” *Trends Plant Sci*., 3, pp 147–151.

Heidari M. Nadian H. Bakhshande A. Alami saeid Kh. and fathi Gh. (**2007**). “Effect of salinity and nitrogen rates on osmotic adjustment and accumulation of mineral nutrients in wheat”. *J. Sci. and Tech. of Agric. And Natu. Reso*. 4:193-210.

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

Hu J. Z. Shi G. X. Xu Q. S. Wang X. Yuan Q. H. and Du K. H. (**2007**) “Effect of Pd on the active oxygen scavenging enzyme activities and ultra structure in Potamogeton crispus leaves” *Russian J. of Plant Physiol*., 54, pp 414-419.

Ilahi I. Hossain F. and Khan M. (**1994**) “The effect of salinity and macronutrient level on wheat” *I. Composition. J. plant Nutrition*., 20, 9, pp 1169-1182.

Islam E. Liu D. Li T. Yang X. Jin X. Mahmood Q. Tian, S. and Li J. (**2008**) “Effect of Pb toxicity on leaf growth, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of Elsholtzia argyi” *Journal of Hazardous Materials.*, 154, pp 914–926.

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

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

Joner E. J. and Leyval C. (**2001**) “Time course of heavy metal uptake in maize and clover as affected by root density and different mycorrhizal inoculation regimes” *Biol. and Fertil. Soils*., 33, pp 351-357.

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

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

Kamel H. A. (**2008**) “Lead Accumulation and its Effect on Photosynthesis and Free Amino Acids in Vicia faba Grown Hydroponically” *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*., 2, 3, pp 438-446.

Karataglis. S. Moustakas. M. and Symeonidis. L. (**1991**) “Effects of heavy metals on isoperoxidases of wheat” *Biol plant (praha).*, 33, pp 3-9.

Kaschl A. Römheld V. and Chen Y. (**2002**) “The influence of soluble organic matter from municipal solid waste compost on trace metal leaching in calcareous soils” *Sci Total Environ*., 291,1-3, pp 45-57.

Kawazu Okimura Y. M. Ishii T . and Vui S. (**2003**) “Varietals and seenal difference in oxalate content of spinach” *Scientia Horticulturae.*, 97, pp 203-210.

Kaya C. Kirnak H. Higgs D. and Satali K. (**2002**) “Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield strawberry cultivars grown at hight (NaCl) Salinity” *Scientia Horticulture.*, 93, pp 65-74.

Kingston G. and Mahon G. (**1990**) “Saline and sodic soils restrict yields” *BSES Bull*., No 32, pp 4-8.

Knasmullar W. Ium W. B. Jakwer F. Roth K. and Vla deva I. (**1998**) “Effects pf soil properties and cultivar on heavy metals accunulaion in wheat grain” *Z.Pflanzenernahr Bodenk* .,159, pp 609-614.

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

Kopyra M. and Gwzdz E. A. (**2003**) “Nitric oxide stimulates seed germination and counteracts the inhibitory effect of heavy metals and salinity on root growth of Lupinus luteus” *Plant Physiol Biochem*., 41, pp 1011-1017.

Krizek D. T. Britz S. J. and Mirecki R. M. (**1998**) “Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. new red fire lettuce” *Physiologia Plantarum*., 103, pp 1- 7.

Lagrifful A. mocquot B. Mench M. andVangronsveld J. (**1998**) “Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll content, and activities of stressing related enzymes in young maize plant (zea maya)” *Plant soil*., 200, pp 241-250.

Lane S. D. and Martin E. S. (**1977**) “A histochemical investigation of lead uptake in Raphanus sativus” *New Phytol*., 79, pp 281-286.

Lee C. W. Choi J. M. and Pak C. H. (**1996**) “Micronutrient toxicity in seed germination” *J. of the Ame. Society for hort. Sci*., 121, pp 77-82.

Li Z. Chaney. R. L. and Schneiter A. A. (**1994**) “Effect of soil chloride level on cadmium concentration in sunflower kernels” *Plant soil*., 167, pp 275-284.

Lin J. and Schorr M. (**1977**) ” A challenger for the phosphate industry: Cd removal, Phosphhorous and Potassium” *Environ. Pollu*, 208, pp 27-31.

Madhava Rao O. K .V. and Sresty T. V. S. (**2000**) “Antioxidative parameters in the seeding of pigeonpea (*Cajanus cajan L. Millspaugh*) in respons to Zn and Ni stresses” *Plant Sci*., 157, pp 113-128.

Malone C. D. oeppe . E. K. and Miller R. J. (**1974**) “Localization of lead accumulated by corn plants” *Plant Physiol*., 53, pp 388–394.

Manousaki E. and Kalogerakis N. (**2009**) “Phytoextraction of Pb and Cd by the Mediterranean saltbush (*Atriplex halimus L*.): metal uptake in relation to salinity” *Environ. Sci. Pollut. Res*., 16, pp 844–854.

Mass E. V. and Hoffman G. J. (**1977**) “Crop salt tolerance current assessment” *J. irrigation and Drainage Division, ASCE.*, 103(IR), pp 115-134.

Mudgal V. Mudgal N. A. and Mishra S. (**2009**) “Changes in growth and metabolic profile of Chickpea under salt stress” *J. of Appl. Biosci.*, 23, pp 1436- 1446.

McGrath S. P. Chaudri A. M. and Giller K. E. (**1995**) “Long term effect of metals in swage slodge soilds, microorganisms and plants” *J. Ind. Microbial*., 14, pp 94-104.

McLaughlin J. J. Palmer L. T. Tiller K .G. Beech T. A. and Smart M. K. (**1994**) “Increased soil salinity causes elevated cadmium concentrations in field grown potato tubers” *J. Environ. QUAL*., 23, pp 1013-1018.

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

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

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

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

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

Nyitrai P. Boka K. Gaspar. L. Sarvari E. Lenti K. and Karesztes A. (**2003**) “Characterization of the stimulating effect of low-dose stressors in maize and bean seedlings” *J. of Plant Physiol*., 160, pp 1175-1183.

Olsen S. R. Cole C. V. Watanabe F. S. and Dean L. A. (**1954**) “Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate” United States Department of Agriculture Circular, pp 939:1-19.

Oncel I. Keles Y. and Ustun A. S. (**2000**) “Interactive effects of temperature and heavy metal stress on the growth and some biochemical compounds in wheat seedling” *Environ. Pollu*., 107, pp 315-320.

Padmaja K. Prasad D. D. K. and Prasad A. R. K. (**1990**) “Inhibitation of chlorophyll synthesis in phaseolus vugaris seedlings by cadmium acetate” *Photosynthetica.*, 24, pp 399-405.

Page A. L. Miller R. H. and keeney D. R. (**1982**) “Methods of soil Analysis,. Part 2, chemical and Microbiological properties” American Society of Agronomy, Inc. Soil Science of America, Inc. Madison,Wisconsin, USA.

Papadopoulos L. and Rendig V. V. (**1983**) “Interactive effects of salinity and nitrogen growth and yield of tomato plants” *Plant Soil*., 73, pp 47-57.

Pessarakli M. (**1999**) "*Handbook of plant and crop stress*" Marcel Dekker Incorporation. New York., pp 1254.

Pendias A. K. and Pendias H. (**2001**) "*Trace Elements in soils and Plants*" Boca roten, London, CRC Press., pp 413.

Posmyk M. M. Kontek R. and Janas K. M. (**2007**) "Effect of anthocyanin-rich red cabbage extract on cytological injury induced by copper stress in plant and animal tissues" *Environmental Protection of Natural Soures*., 33, pp 50-56.

Posmyk M. M. Kontek R. and Janas, K. M. (**2009**). "Antioxidant Enzymes activity and phenolic compounds content in red cabbage seedlings exposed to copper stress" *Ecotoxicology and Environmental safety*., 72, 2, pp 596-602.

Prasad M. and Strzalka E. (**1999**) "Impact of heavy metals on photosynthesis" *Jornal Exp*. *Bot*., 41, pp 314-320.

Prasad S. Dwivedi R. Zeeshan M. and Singh R. (**2004**) "UV-B and cadmium induced changes in pigments, photosynthetic electron transport activity, antioxidant levels and antioxidative enzyme activities of Riccia sp" *Acta Physiol. Plant*., 26, pp 423-430.

Prochazkova D. Sairam R. K. Srivastava G. C. and Singh D. V. (**2001**) "Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves" *Plant Sci*., 161, pp 765–771.

Qasim M. Ashraf M. Ashraf M.Y. Rehman S. U. and Rha E. S. (**2003**) "Salt – induced changes in two canola cultivars differing in salt tolerance" *Bio plant*., 46,4, pp 692-632.

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

Rashid A. Qureshi R. H. Holington P. A. and Jones R. G. W. (**1999**) "Comparative responses of wheat cultivars to salinity at the seedling stage" *Crop Sci*., 182, pp 199-207.

Reser P. and Emerson P. (**2007**) "Growth root and leaf structure and biomass allocation in leucanthemum vulgare as affected by heavy-metals-containing salg" *Plant soil*., 59, pp 2461-2467.

Rhoados J. D. (**1982**) "Cation exchange capacity" In: A.L. Page et al. (ed): Methods of soil analysis. Part 2. 2nd. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. pp 149-158.

Ruley A. T. Nilesh C. S. and Shivendra V. S. (**2004**) "Antioxidant defense in a lead accumulating plant, Sesbania dormancies" *Plant Physiol. And Biochem*., 41, pp 899-906.

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

Sandalio L. M. Dalurzo H. C. Gomez M. Romero-Puertas M. C. and del Rio L. A. (**2001**) “Cadmium-induced change in the growth and oxidative metabolism of pea plants” *Experiment Botany*., 52, 364, pp 2115-2126.

Sanitata di toppi L. and Gabbriella R. (**1999**) “Response to Cd in higher plant- Review” *Envi.and Exp, Bot*., 45, pp 105–130.

Sarvari E. Gaspar L. Fodor L. Cseh E. Kropfl K. Varga A. and Baronm M. (**2002**) “Comparison of the effects of Pd treatment on thylakoide development in poplar and cucumber plants” *Acta Biological Szeged*., 46, pp 163-165.

Sengar R. S. and Pandy M. (**1996**) “Inhibtion of chlorophyll biosynthesis by lead in greening Pisum sativum leaf segments” *Biologia Plantarum*., 38, pp 459-462.

Shah J. and Klessig D. F. (**1999**) “Salicylic acid: signal perception and transduction” Hooykaas, P. P. J., Hall, M. A. and Libbenga, K. R. (eds). Biochemistry and molecular biology of plant hormons. *Elsevier, Amesterdam, Netherlands*., pp 513-541.

Shankar K. A. Cervantes C. Loza-Taversa H. and Avudainayagam S. (**2005**) “Chromium toxicity in plants” *Environ. Inter*., 31, pp 739-753.

Sharma P. and Dubey R. S. (**2005**) “Lead toxicity in plants” *Brazilian* J *of plant physiol*., 17, pp 35-52.

Sharma R. K. and Agrawal M. (**2006**) “Singel and combined effects of cadmium and zinc on carrots: Uptake and bioaccumulation” *J. of Plants Nutrition*., 31, pp 19-34.

Sheligl H. Q. (**1986**) “Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht” *Planta Journal*., pp 47-51.

Singh B. and Myhr K. (**1998**) “Cadmium uptake by barley as affected by Cd sources PH levels” *Geoderma*., 84, pp 185–194.

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

Smolders E. Lambergsts R. M. McLaughlin M. J. and Tiller K. G. (**1998**) “Effect if soil solution chloride on cadmium availability to swiss chard” *J. Environ. Qual*., 27, pp 426-431.

Soussi M. Lluch C. and Ocana A. (**1999**) “Comparative study of nitrogen fixation and carbon metabolism in two chickpea cultivars under salt stress” *J. Exp. Bot*., 50, pp 1701-1708.

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

Talatam S. and Parida B. (**2009**) “Crop growth as influenced by zinc and organic matter in Cadmium-rich polluted soils*” Available from: scholarship. Org / uc / item* 127783 q. 04.13.

Tiller K. G. (**1989)** “Heavy metals in soils and their environmental significance” *Adv. Soil Sci*., 9, pp 113- 142.

Torabian A. and Mahjoori M. (**2002**) “Effect of sewage irrigation on heavy metal uptake by leaf vegetables south of Tehran” *Soil and Water Journal*.,16, 2, pp 188-196.

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

Wagner G. J. (**1993**) “Accumilation of cadmium in crop plants and consequence to human health” *Adv. Agron*., 51, pp 173-212.

Weggler-Beaton K. McLaughlin M. J.and.Graham R. D. (**2000**) “Salinity inceases cadmium uptake by wheat and Swiss chard fromsoil amended with biosolids” *Aust. J. Soil Res.,*38, pp 37-45.

WHO (World Health Organization). (**1992**) Environmental Health Criteria. 134.Cadmium. Ipcs. Geneva.

Yang X. BaligarV. C. Martens D. C. and Clark R. B. (**1996**) “Plant tolerance to Ni toxicity. I. Influx، transport and accumulation of Ni in four species” *J. Plant Nutr*., 19, pp 73-85.

Yazici I. Turkan A. I. Sekmen H. and Demiral T. (**2007**) “Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea L*.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation” *Environmental and Experimental Botany*., 61, pp 49–57.

Yensen N. P. (**2006**) “Halophyte uses for the twenty-first century” In: Ecophysiology of high salinity tolerance plants" M. A. Khan and D. J. Weber.(eds.) springer. Netherland. pp 399.

Zhang W. H. and Tyerman S. D. (**1999**) “Inhibitation of water channels by $HgCl_2$ in intact wheat root cells” *Plant Physiol*., 120, pp 849-857.

Zhao Z. Q. Zhu Y. G. Kneer R.and Smith S. E. (**2005**) “Effect of zinc on cadmium toxicity induced oxidative stressing winter wheat seedling” *J. of Plant NUTR.,* 27, pp 1947-1959.

Zhou Z. S. Huang S. Q. Guo K. Mehta S. K. Zhang P. C. and Yang Z. M. (**2007**) “Metabolic adaptation to mercury-induced oxidative stress in roots of medicago sativa” *J. of Inorganic Biochem*., 101, pp 1-9.

Abstract

In order To study the effects of the heavy elements lead and cadmium and salinity stress on chemical properties of the soil and of growth in spainach (*Spinacia oleracea* L), a plot experiment was carried out in the Agriculture colleage of the university of Shahroud in 2014. The study designed in from completely randomized block design with 3 replication. The treatments of the experiment, included four levels of heavy element: control without (without use heavy element), lead (20 mg/kg soil from lead nitrate), cadmium (20 mg/kg soil from cadmium nitrate) and the compound of lead and cadmium (Cd10 mg/Kg+Pb10mg/Kg), and salinity treatment included control,4 and 8 dS/m. The salinity stress from the two-sheet stage was applied on the plant by using NaCl. The results showed that salinity and heavy metals on carotenoid, flavonoid and anthocyanin was significant effect. In the first stage of sampling, cadmium, devoted the highest rate of anthocyanin to itself. In the 12-leaf stage, enhancement of the salinity level, decreased the rate of the pigments of the carotenoid, flavonoid and anthocyanin in the treatment of the lead and increased in the treatment of the cadmium. The concentration of chlorophyll a and b was affected by the reciprocal by of salinity and heavy metals the by increasing of salinity, the highest rate of chlorophyll a and b in the treatment of cadmium was obtained. The highest rate of carbohydrate dissolved in the first stage of the sampling, was related to the treatment of the compound of lead and cadmium in the salinity level of 8 dS/m. In the second stage, it was observed that the enhancement of the salinity, increased the rate of the dissolved carbohydrate so that the treatments of the compound of lead and cadmium in the salinity level of 4 ds/m and the lead and cadmium in the salinity level of 8 dS/m had the highest rate of the dissolved carbohydrate. In both stages of sampling, the enhancement of the salinity level, significantly resulted in the enhancement of the value of Na in the shoot of Spinach. The enhancement of the salinity, also caused the enhancement of the concentration of Na in the root of spinach. The reciprocal effect of salinity and the heavy metals on the pH, was not significant, but the treatments of salinity, significantly increased the pH, compared to the treatment of the control (salinity=0). The electrical conductivity of the soil, was affected by the reciprocal effects of salinity and the heavy metals.

Key words: Spinach, Lead, Salinity, Cadmium.

Shahrood University

Faculty Agriculture

Department of Water and Soil

Effect of salinity and heavy metals on some chemical soil characteristics, quanitative and qualitative parameters in spinach

Mohadeseh Ghaffari

Supervisor(s):

Dr. H. Ghorbani
Dr. M. Heidari

Advisors:

Eng.M.Ghaffari

February 2015