

رسالة محمد بن عبد الله



دانشکده کشاورزی

گروه آب و خاک

عنوان پایان نامه

بررسی تأثیر ترکیب الکترولیت و زئولیت بر جذب گیاهی کادمیم از خاک

دانشجو: فهیمه خیزاب

استاد راهنما

دکتر هادی قربانی

اساتید مشاور

دکتر حمید عباسدخت

مهندس فرامرز فائز نیا

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

سال انتشار: ۱۳۹۱

تقدیم بہ

دو کوہر کرانماہ زندگی ام

پدر و مادرم

بہ پاس محبت ہامی بی دریغ، عاطفہ سرشار و کرماہی امید بخش و جودشان

بہ خواہرا نم بہ خاطر تمام حمایت ہامی بی دریغشان

و

بہ ہمسر م بہدلی کہ باوا اثرہ نجیب تلاش آشناست۔

سپاس و ستایش خداوند یکتا را که عقل با خیره در جلال و عظمت او و خرد با سراسیمه در عالم مشیت بی علت اوست. خداوند یکتایی که بزرگترین امید و یاور در لحظه بحظ زندگی ست. او که توفیق را رفیق را هم نمود تا این پایان نامه را به اتمام برسانم. پیش از هر چیز و در آغاز بر خود لازم می دانم از تمامی زحمات و حمایت های پدر و مادر دلسوز و فداکارم که همواره روشنگر راهم بوده اند و پیوسته جرعه نوش جام تعلیم و تربیت و فضیلت آنها بوده ام، به خاطر تمام حمایت ها و آسایشی که در طول تحصیل و نگارش این پایان نامه برایم فراهم نمودند؛ سپاسگزاری نمایم. بی شک بدون یاری بی دریغ آنها پیمودن چنین مسیری برایم ناممکن بود. همچنین از استاد فاضل و اندیشمند جناب آقای دکتر لادی قربانی که به عنوان استاد راهنما همواره نگارنده را مورد لطف و راهنمایی های ارزنده خود قرار دادند، کمال تشکر را دارم. از مساعدت های بی شائبه دو استاد ارجمند جناب آقای دکتر حمید عباس دخت و آقای مهندس فرامرز فائز تیا که به عنوان مشاور مرا از راهنمایی های مشتقانه و راهگشای خود بهره مند نمودند، تقدیر و تشکر می نمایم. همچنین از آقای دکتر شایین شاهسونی و آقای دکتر علی عباسپور که زحمات داور این پایان نامه را متقبل شدند، تشکر و قدردانی می نمایم. در پایان از یاری صمیمانه تمامی دوستان گرامی ام به خصوص سرکار خانم محبوبه خسرو جردی تشکر می نمایم. امید که با اتمام و اكمال این پایان نامه، گوشه ای از زحمات تمامی این عزیزان به بار نشسته باشد و گامی هر چند کوچک در جهت رشد و شکوفایی میهن عزیزم ایران برداشته باشم.

تعهد نامه

اینجانب فهیمه خیزاب دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی - خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی تاثیر ترکیب الکترولیت و زئولیت بر جذب گیاهی کادمیم از خاک تحت راهنمایی دکتر هادی قربانی 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 صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی 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 ۹۲/۲/۲۱

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.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
-	چکیده
۱	فصل اول: مقدمه
۴	فصل دوم: کلیات
۵	۱-۲- شوری
۹	۲-۲- قابلیت هدایت الکتریکی
۹	۳-۲- کادمیم
۱۲	۴-۲- زئولیت
۱۵	فصل سوم: بررسی منابع
۳۴	فصل چهارم: مواد و روش‌ها
۳۹	فصل پنجم: نتایج و بحث
۴۰	۱-۵- نتایج بررسی تأثیر ترکیب الکتروولیت و زئولیت بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی
۴۰	۱-۱-۵- تأثیر نوع الکتروولیت بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی
۴۱	۲-۱-۵- تأثیر تغییرات هدایت الکتریکی بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی
۴۱	۳-۱-۵- تأثیر زئولیت بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی
۴۲	۴-۱-۵- اثر متقابل نوع الکتروولیت و هدایت الکتریکی بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی
۴۲	۵-۱-۵- اثر متقابل نوع الکتروولیت و زئولیت بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی
۴۲	۶-۱-۵- اثر متقابل هدایت الکتریکی و زئولیت بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی
۴۳	۷-۱-۵- اثرات متقابل الکتروولیت- هدایت الکتریکی- زئولیت بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی
۴۴	۲-۵- نتایج بررسی تأثیر ترکیب الکتروولیت و زئولیت بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی

- ۴۴- ۱-۲-۵- تأثیر نوع الکترولیت بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی
- ۴۵- ۲-۲-۵- تأثیر تغییرات هدایت الکتریکی بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی
- ۴۶- ۳-۲-۵- تأثیر زئولیت بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی
- ۴۶- ۴-۲-۵- اثر متقابل نوع الکترولیت و هدایت الکتریکی بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی
- ۴۶- ۵-۲-۵- اثر متقابل نوع الکترولیت و زئولیت بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی
- ۴۷- ۶-۲-۵- اثر متقابل هدایت الکتریکی و زئولیت بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی
- ۴۷- ۷-۲-۵- اثرات متقابل الکترولیت- هدایت الکتریکی- زئولیت بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی
- ۴۸- ۳-۵- نتایج بررسی تأثیر ترکیب الکترولیت و زئولیت بر برخی خواص گیاه اسفناج
- ۴۸- ۱-۳-۵- وزن تر و خشک اندام هوایی
- ۴۸- ۱-۱-۳-۵- تأثیر نوع الکترولیت بر وزن تر و خشک اندام هوایی
- ۴۹- ۲-۱-۳-۵- تأثیر تغییرات هدایت الکتریکی بر وزن تر و خشک در اندام هوایی
- ۴۹- ۳-۱-۳-۵- تأثیر زئولیت بر وزن تر و خشک اندام هوایی
- ۵۰- ۴-۱-۳-۵- اثر متقابل نوع الکترولیت و هدایت الکتریکی بر وزن تر و خشک اندام هوایی
- ۵۰- ۵-۱-۳-۵- اثر متقابل نوع الکترولیت و زئولیت بر وزن تر و خشک اندام هوایی
- ۵۱- ۶-۱-۳-۵- اثر متقابل هدایت الکتریکی و زئولیت بر وزن تر و خشک اندام هوایی
- ۵۱- ۷-۱-۳-۵- اثرات متقابل الکترولیت- هدایت الکتریکی- زئولیت بر وزن تر و خشک اندام هوایی
- ۵۲- ۲-۳-۵- وزن تر و خشک ریشه
- ۵۲- ۱-۲-۳-۵- تأثیر نوع الکترولیت بر وزن تر و خشک ریشه
- ۵۳- ۲-۲-۳-۵- تأثیر تغییرات هدایت الکتریکی بر وزن تر و خشک در ریشه
- ۵۴- ۳-۲-۳-۵- تأثیر زئولیت بر وزن تر و خشک ریشه
- ۵۴- ۴-۲-۳-۵- اثر متقابل نوع الکترولیت و هدایت الکتریکی بر وزن تر و خشک ریشه
- ۵۴- ۵-۲-۳-۵- اثر متقابل نوع الکترولیت و زئولیت بر وزن تر و خشک ریشه
- ۵۵- ۶-۲-۳-۵- اثر متقابل هدایت الکتریکی و زئولیت بر وزن تر و خشک ریشه

۵۵	۷-۲-۳-۵- اثرات متقابل الکترولیت- هدایت الکتریکی- زئولیت بر وزن تر و خشک ریشه
۵۶	۳-۳-۵- محتوی نسبی آب بافت برگ
۵۶	۱-۳-۳-۵- تأثیر نوع الکترولیت بر محتوی نسبی آب بافت برگ
۵۷	۲-۳-۳-۵- تأثیر تغییرات هدایت الکتریکی بر محتوی نسبی آب بافت برگ
۵۸	۳-۳-۳-۵- تأثیر زئولیت بر محتوی نسبی آب بافت برگ
۵۸	۴-۳-۳-۵- اثر متقابل نوع الکترولیت و هدایت الکتریکی بر محتوی نسبی آب بافت برگ
۵۸	۵-۳-۳-۵- اثر متقابل نوع الکترولیت و زئولیت بر محتوی نسبی آب بافت برگ
۵۸	۶-۳-۳-۵- اثر متقابل هدایت الکتریکی و زئولیت بر محتوی نسبی آب بافت برگ
۵۹	۷-۳-۳-۵- اثرات متقابل الکترولیت- هدایت الکتریکی- زئولیت بر محتوی نسبی آب بافت برگ
۵۹	۴-۳-۵- میزان کلروفیل برگ
۵۹	۱-۴-۳-۵- تأثیر نوع الکترولیت بر میزان کلروفیل برگ
۶۰	۲-۴-۳-۵- تأثیر تغییرات هدایت الکتریکی بر میزان کلروفیل برگ
۶۰	۳-۴-۳-۵- تأثیر زئولیت بر میزان کلروفیل برگ
۶۰	۴-۴-۳-۵- اثر متقابل نوع الکترولیت و هدایت الکتریکی بر میزان کلروفیل برگ
۶۱	۵-۴-۳-۵- اثر متقابل نوع الکترولیت و زئولیت بر میزان کلروفیل برگ
۶۲	۶-۴-۳-۵- اثر متقابل هدایت الکتریکی و زئولیت بر میزان کلروفیل برگ
۶۲	۷-۴-۳-۵- اثرات متقابل الکترولیت- هدایت الکتریکی- زئولیت بر میزان کلروفیل برگ
۶۳	۴-۵- بحث
۶۸	فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۶۹	۱-۶- نتیجه گیری
۷۰	۲-۶- پیشنهادها
۷۲	منابع مورد استفاده
۸۷	چکیده لاتین

فهرست شکل‌ها و جداول

صفحه	عنوان
۴۰	شکل (۵-۱). تأثیر نوع الکترولیت بر غلظت کادمیم در اندام هوایی
۴۱	شکل (۵-۲). تأثیر تغییرات EC بر غلظت کادمیم در اندام هوایی
۴۲	شکل (۵-۳). تأثیر زئولیت بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی
۴۳	شکل (۵-۴). اثر متقابل هدایت الکتریکی و زئولیت بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی
۴۴	شکل (۵-۵). اثرات متقابل الکترولیت- هدایت الکتریکی- زئولیت بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی
۴۵	شکل (۵-۶). تأثیر نوع الکترولیت بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی
۴۵	شکل (۵-۷). تأثیر تغییرات EC بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی
۴۶	شکل (۵-۸). تأثیر زئولیت بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی
۴۸	شکل (۵-۹). تأثیر نوع الکترولیت بر وزن تر اندام هوایی
۴۸	شکل (۵-۱۰). تأثیر نوع الکترولیت بر وزن خشک اندام هوایی
۴۹	شکل (۵-۱۱). تأثیر تغییرات EC بر وزن تر اندام هوایی
۴۹	شکل (۵-۱۲). تأثیر تغییرات EC بر وزن خشک اندام هوایی
۵۰	شکل (۵-۱۳). اثر متقابل نوع الکترولیت و هدایت الکتریکی بر وزن تر اندام هوایی
۵۱	شکل (۵-۱۴). اثر متقابل نوع الکترولیت و زئولیت بر وزن تر اندام هوایی
۵۳	شکل (۵-۱۵). تأثیر نوع الکترولیت بر وزن تر ریشه
۵۳	شکل (۵-۱۶). تأثیر نوع الکترولیت بر وزن خشک ریشه
۵۴	شکل (۵-۱۷). تأثیر تغییرات EC بر وزن تر ریشه
۵۴	شکل (۵-۱۸). تأثیر تغییرات EC بر وزن خشک ریشه
۵۵	شکل (۵-۱۹). اثر متقابل نوع الکترولیت و زئولیت بر وزن تر ریشه
۵۷	شکل (۵-۲۰). تأثیر نوع الکترولیت بر میزان نسبی آب بافت برگ
۵۷	شکل (۵-۲۱). تأثیر تغییرات EC بر میزان نسبی آب بافت برگ
۵۸	شکل (۵-۲۲). تأثیر زئولیت بر محتوی نسبی آب بافت برگ

- شکل (۵-۲۳). تأثیر نوع الکتروولیت بر میزان کلروفیل برگ ۵۹
- شکل (۵-۲۴). تأثیر تغییرات EC بر میزان کلروفیل برگ ۶۰
- شکل (۵-۲۵). اثر متقابل نوع الکتروولیت و هدایت الکتریکی بر میزان کلروفیل برگ ۶۱
- شکل (۵-۲۶). اثر متقابل نوع الکتروولیت و زئولیت بر میزان کلروفیل برگ ۶۱
- جدول (۴-۱). مقادیر نمک مربوط به غلظت های مختلف الکتروولیت ۳۶
- جدول (۴-۲). برخی ویژگی های خاک قبل از آزمایش ۳۸
- جدول (۴-۳). ویژگی های زئولیت مورد استفاده ۳۸
- جدول (۵-۱). تجزیه واریانس مربوط به میزان غلظت و جذب کادمیم در اندام هوایی ۴۷
- جدول (۵-۲). تجزیه واریانس مربوط به وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه ۵۲
- جدول (۵-۳). تجزیه واریانس مربوط به وزن تر و خشک ریشه گیاه ۵۶
- جدول (۵-۴). تجزیه واریانس مربوط به میزان آب بافت برگ و کلروفیل ۶۲

چکیده:

آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین، به یکی از مشکلات جهانی در حال گسترش تبدیل شده است. در میان فلزات سنگین، کادمیم به دلیل سمیت بیشتر در مقایسه با سایر فلزات اهمیت ویژه‌ای یافته است. این مشکل هنگامی تشدید می‌شود که با تنش شوری خاک و آب همراه باشد. از آنجایی که شوری بر زیست فراهمی فلزات سنگین در خاک تأثیرگذار است؛ عامل مهمی در تهدید امنیت غذایی به حساب می‌آید. به منظور بررسی تأثیر ترکیب الکتروولیت و ژئولیت بر جذب گیاهی کادمیم، یک آزمایش فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو سطح ژئولیت (صفر و ده درصد) و سه سطح شوری آب آبیاری (۲، ۴ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر) از الکتروولیت‌های NaNO_3 ، CaCl_2 ، NaCl و $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ در سه تکرار به صورت گلخانه‌ای اجرا گردید. بذر اسفناج در داخل گلدانها کشت گردید. بعد از برداشت گیاه و خشک کردن نمونه‌های گیاهی به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد عمل هضم بر روی نمونه‌های گیاهی انجام شد و سپس غلظت کادمیم در اندام هوایی به وسیله دستگاه ICP اندازه‌گیری شد. میزان جذب کادمیم در اندام هوایی از حاصلضرب میزان غلظت کادمیم در عملکرد ماده خشک گیاهی به دست آمد. بیشترین میزان غلظت کادمیم، مربوط به نمونه‌های گیاهی آبیاری شده با نمک کلرید سدیم و سپس کلرید کلسیم بود. بین دو نمک نیترات کلسیم و نیترات سدیم نیز اختلاف معنی‌داری از لحاظ میزان غلظت فلزات سنگین در سطح ۵ درصد وجود نداشت. در مورد میزان جذب کادمیم، بین دو نمک کلرید سدیم و کلرید کلسیم اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده نشد. در حالی که کمترین میزان جذب مربوط به نمک نیترات سدیم بود. افزایش میزان غلظت الکتروولیت‌های مورد استفاده نیز باعث کاهش معنی‌دار میزان غلظت و جذب کادمیم در اندام هوایی گردید. استفاده از ژئولیت به عنوان ماده غیرمتحرک‌کننده فلزات سنگین نیز باعث کاهش معنی‌دار میزان غلظت و جذب کادمیم در اندام هوایی گیاه گردید.

درکنار بررسی میزان جذب کادمیم در اندام هوایی تحت تأثیر دو عامل شوری و ژئولیت، تأثیر این عوامل بر روی چند خصوصیت فیزیولوژیکی مهم گیاه از قبیل وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و

خشک ریشه، محتوی نسبی آب بافت برگ و میزان کلروفیل برگ بررسی شد. تیمارهایی که دارای الکترولیت کلسیم به عنوان کاتیون بودند؛ تأثیر مخرب کمتری بر میزان هر یک از خواص بررسی شده داشتند. افزایش میزان شوری نیز صفات فوق را به طور معنی داری کاهش داد. استفاده از زئولیت تأثیر معنی داری بر میزان نسبی آب بافت برگ نشان داد؛ اما تأثیر آن بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و نیز میزان کلروفیل معنی دار نبود.

فصل اول

مقدمه

شوری و آلودگی خاک با فلزات سنگین، دو مشکل اساسی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان هستند (هلال و همکاران، ۱۹۹۵). حدود ۱۵٪ از کل اراضی جهان در اثر فرسایش فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین شوری تخریب شده است (کافی و همکاران، ۱۳۸۹). بر اساس گزارش‌های فائو، کل اراضی شور جهان، شامل خاک‌های شور و سدیک، ۸۳۱ میلیون هکتار می‌باشد که عمدتاً در قاره‌های آفریقا، آسیا، آمریکا و اقیانوسیه پراکنده شده است (رنگاسامی، ۲۰۰۶). آلودگی خاک و آب به فلزات سنگین، 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 دارای اهمیت ویژه‌ای است، زیرا به راحتی جذب ریشه گیاه شده و سمیت آن برای گیاهان تا ۲۰ برابر بیشتر از سایر فلزات سنگین است (ثواقبی و ملکوتی، ۱۳۷۹). کادمیم عنصری با وزن اتمی ۱۱۲/۴، نقطه ذوب ۳۲۱ و نقطه جوش ۷۶۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این فلز از طریق حقّاری، 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 شود (ناظمی و خسروی، ۱۳۸۹). با وجود آنکه در مورد اثرات نامطلوب انباشته شدن نمک در خاک و گیاه، پژوهش‌های بسیاری انجام شده است (هلال، ۱۹۸۳ و ریچارد، ۱۹۵۴)، لیکن توجه کمتری به نقش شوری آب و خاک در انتقال فلزات سنگین به زنجیره غذایی انسان و دام معطوف شده است (هلال و همکاران، ۱۹۹۶). با وجود آنکه pH مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده 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 و امسی‌لاگلین و همکاران، ۱۹۹۴).

غیرمتحرک کردن فلزات سنگین، یکی از اعمال رایج کاهش اثرات منفی این فلزات بر محیط و بهبود کیفیت غذا و خاک است (استه و همکاران، ۲۰۰۲). بسیاری از مواد افزودنی، توانایی غیرمتحرک کردن فلزات سنگین در خاک را نشان داده‌اند (استه و همکاران، ۲۰۰۲). مواد غیرمتحرک‌کننده اضافه شده

بایستی به طور آشکارا ظرفیت پیوند بالایی داشته باشند، اما این مواد نباید به ساختمان، حاصلخیزی و قابلیت دسترسی مواد مغذی خاک آسیب برسانند (عثمان و همکاران، ۲۰۰۵). غیرمتحرک کردن فلزات سنگین باید با اضافه کردن مواد افزودنی مانند کانی‌های رسی، آهک، کانی‌های فسفات و اکسیدهای آهن و منگنز انجام شود. زئولیت‌ها، آلومینوسیلیکات‌های آبدار کاتیون‌های فلزات قلیایی و قلیایی خاکی با شبکه سه بعدی می‌باشند که به دلیل ویژگی‌های ساختاری و ترکیب شیمیایی، واجد رفتارهای تبادل یون، جذب، کاتالیست واکنش‌های شیمیایی هستند. اما قبل از اینکه تکنولوژی استفاده از این مواد افزودنی عملی شود؛ باید بسیاری از عوامل تأثیرگذار بر حلالیت و غیرمتحرک شدن فلزات سنگین به وسیله این فرایندها شناخته شود (عثمان و همکاران، ۲۰۰۵).

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر شوری و کاربرد زئولیت به عنوان یک ماده اصلاح‌کننده بر جذب گیاهی کادمیم انجام شده است. در کنار این بررسی، اثرات این عوامل بر چند ویژگی مهم و فیزیولوژیک گیاه اسفناج نیز بررسی شده است. لذا در فصل بعد ابتدا مفهوم شوری، سپس فلزات سنگین، علی‌الخصوص کادمیم و سرانجام مواد اصلاح‌کننده مانند زئولیت، تشریح شده است. در فصل سوم مطالعات انجام شده به وسیله سایر محققین مرور شده است. در فصل چهارم مجموعه مواد و روش‌های به کار رفته برای اجرای طرح، بیان شده است. فصل پنجم به بیان نتایج به دست آمده از آزمایش و بحث در مورد این نتایج، اختصاص یافته است. در فصل آخر این مجموعه، به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاداتی در راستای تحقق اهداف این پژوهش پرداخته شده است.

فصل دوم

کلیات

۲-۱- شوری

شوری به عنوان یکی از مهم‌ترین 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 سمّی و عدم تعادل تغذیه‌ای در این محیط‌ها می‌باشد (پساراکلی، ۱۹۹۹). اصطلاح 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 (۱۳۸۱) اثرات سمّی بعضی از این یون‌ها را برشمرده است :

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 سمّی 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 سوختگی‌هایی 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 به حدی که تعادل کاتیونی گیاه برهم خورد.

کلسیم: وقتی کلسیم به مقدار زیاد در محلول خاک‌های شور جمع شود، ممکن است سمّی باشد ولی درجه سمّیت آن بستگی به گونه گیاه دارد. گیاهان صدمه دیده از کلسیم زیاد، به وسیله رنگ سبز مایل به آبی و رشد متوقف شده، مشخص می‌شوند.

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. خشک شدن شاخه‌های کوچک و توقف رشد ریشه و کاهش میزان محصول و اندازه میوه‌ها از علائم بارز است.

نیترات: لکه‌های شور را در خاک ایجاد می‌کند. این آنیون، رشد نهال‌های پرتقال در محلول‌های حاوی ۸۴۰ ppm ازت نیتراتی را به شدت کاهش داد. کشت سیب‌زمینی شیرین در محلول‌های غذایی حاوی ۱۰ تا ۱۶۰۰ ppm ازت، انجام شد. برگ‌های گیاه در غلظت بیش از ۲۰۰ پی‌پی‌ام ازت، سبز تیره شده و با مقداری ریزش همراه بود. در آزمایش گیاه پنبه در غلظت ۱۴ تا ۳۹۶ پی‌پی‌ام غلظت زیاد نیترات، رشد رویشی و تشکیل گل را کاهش داد.

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 یکجا 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 غیریکنواخت 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 (سیر تکاملی) متفاوت می‌باشد (مس و هافمن، ۱۹۷۷).

پدیده شورشدن یکی از عوامل مؤثر در روند بیابان‌زایی است. شوری در اثر آبیاری نامناسب در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک 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 نمک‌های 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 کم‌عمق 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 و عدم 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 هستند. ۱۰ تا ۵۰ 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 ۲۵ میلیون هکتار تخمین زده شده است و ادعا می‌شود ۵۰٪ اراضی تحت آبیاری، شور شده و یا در معرض شور شدن هستند (کافی و همکاران، ۱۳۸۹).

عامل شوری از مهم‌ترین مؤلفه‌های تعیین‌کننده 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). درعین 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 مربوطه بسیار نگران‌کننده 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 همکاران، ۱۹۹۰). به عقیده پادوپولوس 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 سیب‌زمینی 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 شورپسند (مانند گیاهان زراعی و علوفه‌ای) انجام می‌شود، بهتر است که از ترکیبی از نمک‌ها به عنوان عامل شوری استفاده شود، در حالی که در درصد بالایی از مطالعاتی که در این زمینه انجام می‌گیرد؛ از نمک کلرید سدیم به عنوان تنها عامل شوری استفاده می‌شود که باعث محدود شدن گستره تعمیم پذیری نتایج و ارتباط آنها به شرایط مزرعه می‌گردد (بویراحمدی و همکاران، ۱۳۹۰).

۲-۲- قابلیت هدایت الکتریکی (EC)

متداولترین روش برای توصیف کمی شوری آب و خاک، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی است که اولین بار بیش از نیم قرن قبل توسط اسکوفیلد در سال ۱۹۴۲ به عنوان معیاری از کیفیت آب آبیاری که بتواند با رشد گیاه همبستگی مثبت داشته باشد، معرفی گردید. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی بر این اصل استوار است که هرگاه جریان الکتریکی از درون محلول حاوی نمک تحت شرایط استاندارد عبور داده شود به علت آنکه مولکول‌های نمک به محض انحلال در آب به ذرات باردار (یون‌ها) تجزیه می‌شوند، جریان برقرار می‌شود. این ذرات دارای بار مثبت و منفی هستند که با افزایش غلظت محلول، افزایش می‌یابند. واحد اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در سیستم واحدهای بین المللی (SI)، دسی‌زیمنس بر متر است که اکنون جایگزین میلی‌موز بر سانتی‌متر که واحد قدیمی بوده و برابر دسی‌زیمنس بر متر است، شده است (عابدی و همکاران، ۱۳۸۱). فاکتورهای متعددی می‌توانند بر قابلیت هدایت الکتریکی تأثیر بگذارند. برخی یون‌ها قابلیت هدایت الکتریکی بیشتری دارند، برای مثال غلظت یک گرم در لیتر سولفات کلسیم، قابلیت هدایت الکتریکی ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر دارد، در حالی که قابلیت هدایت الکتریکی کلرید کلسیم در همین غلظت ۲ دسی‌زیمنس بر متر است. شوری تحت تأثیر دما نیز قرار می‌گیرد، برای مثال اگر قابلیت هدایت الکتریکی محلولی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد ۵ دسی‌زیمنس بر متر باشد؛ در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد ۵/۵ دسی‌زیمنس بر متر خواهد بود. دمای استاندارد برای اندازه‌گیری شوری ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (کافی و همکاران، ۱۳۸۹).

۲-۳- 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). کمیته مشترک کارشناسی افزودنیهای مواد غذایی (JECFA، ۱۹۸۹) سازمان فائو و سازمان بهداشت جهانی، حد قابل تحمل هفتگی جذب کادمیم را ۴۲۰ میکروگرم برای یک فرد بالغ ۶۰ کیلوگرمی تعیین کرده است. اولین بار در سال ۱۹۶۳ تعدادی از محققان آلودگی‌های کودهای شیمیایی به برخی فلزات سنگین بخصوص کادمیم را به عنوان عامل خطرناکی برای سلامتی انسان و محیط زیست، گزارش کردند (لین و اسکور، ۱۹۷۷). 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 سیب‌زمینی وجود دارد (خانی و همکاران، ۱۳۷۹). میزان تجمع کادمیم در کاهو، اسفناج، کرفس، کلم و سیب‌زمینی زیاد بوده و در گیاهانی مثل لوبیا، ذرت و نخود کمتر است (واگنر، ۱۹۹۳). از علائم سمیت کادمیم در گیاهان، ایجاد حالت کلروزه و نکروزه در برگ، تغییر رنگ برگ از سبز به قرمز قهوه‌ای، افت عملکرد و تغییر در سطح سایر عناصر ریزمغذی در گیاه می‌باشد (لاگریفول 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 (ژآو و همکاران، ۲۰۰۵). علائم عمومی ناشی از جذب مقادیر اضافی کادمیم در گیاه، کاهش رشد ریشه و چوب‌پنبه‌ای 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 پرمصرف 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).

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 آلودهٔ 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 زنجیرهٔ غذایی و مصرف آن به وسیله انسان و دام، مضر است (نرول و همکاران، ۲۰۰۰). خاک منبع اصلی ورود کادمیم به داخل گیاه است. به طور کلی قابلیت استفاده کادمیم خاک تحت تأثیر مقدار و منشأ کادمیم، pH، مقدار مادهٔ آلی، مقدار و نوع رس، رقابت سایر عناصر به ویژه روی، ظرفیت تبادل کاتیونی و شوری میباشد (بینگهام و همکاران، ۱۹۸۴؛ لی و همکاران، ۱۹۹۴). کادمیم از منابع مختلف وارد خاک می‌شود؛ ولی در زمین‌های کشاورزی کادمیم موجود در کودهای شیمیایی فسفره، یکی از مهمترین منابع آلودگی خاک با این عنصر سمی است (ثوابی و ملکوتی، ۱۳۷۹).

مقدار قابل توجهی کادمیم به صورت ناخالصی در کودهای شیمیایی فسفره وجود داشته که منشأ اصلی آنها از سنگ معدن است (بغوری، ۱۳۷۰). امروزه به دلیل رشد سریع جمعیت و در نتیجه تولید هرچه بیشتر مواد زائد آلی از یک سو (الکساندر، ۱۹۹۰) و افزایش تقاضای محصولات کشاورزی از سوی دیگر، مصرف کودهای آلی نظیر کمپوست و لجن فاضلاب به دلیل غنی بودن آنها از بعضی عناصر مورد توجه قرار گرفته است (استور 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) رابطهٔ مثبت بین افزایش میزان کادمیم لجن فاضلاب و غلظت کادمیم جذب شده در گندم را گزارش کردند.

براساس گزارش محیط زیست آمریکا، مصرف لجن فاضلاب باعث افزایش غلظت سرب، جیوه، نیکل، سلنیم و کادمیم تا ۱۰۰ برابر غلظت پایهٔ این عناصر در خاک می‌شود (چانگ و همکاران، ۱۹۸۲).

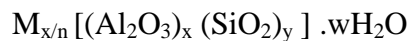
بر اساس نظریهٔ بمب زمان (Time bomb effect) این نگرانی وجود دارد که کادمیم موجود در خاک‌هایی که با لجن فاضلاب، کودهای فسفاتهٔ حاوی کادمیم و سایر ترکیبات حاوی کادمیم تیمار شده‌اند، با گذشت زمان متحرک شده و قابلیت دسترسی آنها برای گیاه افزایش یابد (آندرسن و همکاران، ۲۰۰۲ و مک‌گراث و همکاران، ۱۹۹۵). کادمیم همچنین از فلزات سنگین مورد استفاده در صنعت می‌باشد. ورود کادمیم به محیط زیست معمولاً با ورود فاضلاب کارخانجات صنعتی انجام می‌گیرد. این آلایندهٔ فلزی پس از ورود به خاک توسط آب باران شسته شده و به آب‌های زیرزمینی و سطحی منتقل می‌شود. کادمیم معمولاً از این طریق وارد زنجیرهٔ غذایی می‌شود (مینوبی و همکاران، ۱۳۸۷).

۲-۴- زئولیت

غیرپویاسازی فلزات سنگین با استفاده از اصلاح‌کننده‌های ارزان، روشی ساده و سریع برای کاهش گسترش آلودگی فلزات سنگین، محسوب می‌شود. استفاده از اصلاح‌کننده‌های شیمیایی یکی از روش‌هایی است که برای تثبیت فلزات سنگین استفاده می‌شود (محمدی ثانی و همکاران، ۱۳۹۰). انتخاب اصلاح‌کننده‌ها وابسته به مواردی مانند نوع آلاینده، خصوصیات خاک، مقدار کارایی موردنظر می‌باشد. همچنین اصلاح‌کننده‌ها باید به آسانی قابل دسترس و نسبتاً ارزان باشند، کاربرد راحت داشته باشند و باعث تخریب بیشتر محیط زیست نشوند (اسکندر، ۲۰۰۱).

زئولیت‌ها آلومینوسیلیکات‌های آبدار کاتیون‌های فلزات قلیایی و قلیایی خاکی با شبکهٔ سه بعدی هستند که به دلیل ویژگی‌های ساختاری و ترکیب شیمیایی واجد رفتارهای تبادل یون، جذب و کاتالیست واکنش‌های شیمیایی هستند (سردشتی و همکاران، ۱۳۸۳). زئولیت‌ها، دارای عناصری مانند پتاسیم، کلسیم، سدیم، آلومینیوم، منیزیم، مس، سیلیسیم، فسفر، گوگرد، آهن و منگنز هستند و مکمل غذایی دامی کودهای کشاورزی محسوب می‌شوند و می‌توانند در تولید بیشتر محصولات کشاورزی و دامی نقش مهمی ایفا کنند. در کشاورزی به عنوان حاصلخیز کننده و افزایش‌دهندهٔ رطوبت

خاک و در کاهش آبشویی نیترات استفاده می‌شود (طباطبائی و خالدي، ۱۳۸۰). از نقطه نظر بلورشناسی فرمول سلول واحد یک زئولیت را می‌توان به صورت زیر بیان کرد (برک، ۱۹۷۴):



که در این فرمول M کاتیون قلیایی یا قلیایی خاکی با ظرفیت n است و W تعداد مولکول‌های آب و (X+Y) مجموع تعداد چهاروجهی‌های سلول واحد است و عبارت داخل کروشه پیکره اصلی را مشخص می‌کند.

زئولیت‌ها به طور کلی شامل دو دسته طبیعی و مصنوعی بوده که اکثر گونه‌های طبیعی به شکل مصنوعی نیز تهیه شده‌اند. ویژگی تبادل یونی زئولیت‌ها نخستین بار به وسیله ایچورن مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت و از آن پس در مقیاس صنعتی به عنوان سختی‌گیر آب مورد استفاده واقع شد (سردشتی و همکاران، ۱۳۸۳). زئولیت طبیعی و مصنوعی، تمایل زیادی برای جذب سطحی و کمپلکس کردن عناصر میکرو مخصوصاً فلزات سنگین دارند (چلپکا و آدریانو، ۱۹۹۶).

اگرچه نمونه‌های مصنوعی زئولیت‌ها به دلیل‌های گوناگون از جمله درجه خلوص بالا، قابلیت دسترسی آسان و نیز قابل تغییر و تنظیم بودن اندازه حفره‌ها با تنظیم شرایط، بر انواع طبیعی برتری داشته ولی به دلیل کشف منابع و ذخایر عظیم و به نسبت خالص انواع گونه‌های طبیعی در سراسر نقاط دنیا و نیز به دلیل ارزانی و عدم انحصار آنها در دست شرکت‌های بزرگ، نظر بسیاری از محققین رشته‌های گوناگون علوم را به خود جلب کرده است (کاظمیان و فقیهیان، ۱۳۷۷).

افزودن مواد اصلاحی به خاک برای افزایش کارایی مصرف آب و بهبود خواص فیزیکی خاک یکی از مهم‌ترین راه‌های مقابله با کمبود آب به شمار می‌رود (نورافکن، ۱۳۸۶). ناسا (NASA) برای کاهش ارسال آب بیشتر به فضا از زئولیت‌ها به عنوان یکی از مبادله‌کننده‌هایی که تمایل زیادی برای جذب آمونیم دارد؛ استفاده کرده است (سردشتی و همکاران، ۱۳۸۳). زئولیت‌ها در صنایع گوناگون اعم از صنایع نفت و پتروشیمی به عنوان کاتالیست، صنایع نسوز و سرامیک، در صنایع شوینده به عنوان

جایگزین فسفات‌ها، صنایع کشاورزی به عنوان حاصل‌خیزکننده و اصلاح‌کننده خاک، در دامپروری و از همه مهم‌تر در تصفیه و پاک‌سازی فاضلاب‌های شهری، صنعتی و هسته‌ای از آلاینده‌های مضر و سمّی مانند فلزات سنگین، آمونیاک و رادیوایزوتوپ‌هایی مانند سزیم و استرانسیم، کاربرد تجارّتی پیدا کرده‌اند (پانسینی، ۱۹۹۶)

فصل سوم

بررسی منابع

تحقیقات و مطالعات زیادی از جهات مختلف، بر روی پدیده شور شدن و آلودگی خاک و آب به فلزات سنگین، به عنوان دو مشکل جدی و در حال گسترش، 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 (بالا، ۱۹۹۵). مهمترین تأثیر شوری، اختلال در رشد گیاهان می‌باشد. عبود (۱۹۷۸) گزارش نمود 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 که 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 (کایا و همکاران، ۲۰۰۲). کایا و همکاران (۲۰۰۲) دریافتند که شوری غلظت کلروفیل برگ را کاهش می‌دهد.

در یک بررسی، جعفری و همکاران (۱۳۸۱) نقش کیفیت آب آبیاری را در بیابانی شدن اراضی کشاورزی بررسی کردند؛ نتایج به دست 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.

پوراسماعیل 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 به دست آمده نشان داد؛ غلظت‌های بالای تنش، سبب کاهش معنی‌دار کلروفیل در گونه‌ها می‌شود.

یدلرو و هروان (۱۳۸۷) تأثیر شوری را بر صفات مورفولوژیک چند رقم گندم متحمل به شوری بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش سطح شوری بدون توجه به نوع رقم، باعث کاهش سطح برگ فعال گیاهی، ماده خشک کل و طول ساقه گیاه گردید.

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

بیجه و همکاران (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 ساقه‌چه و ریشه‌چه، همچنین وزن تر و خشک گیاهچه مربوط به تیمار با سطح شوری صفر (شاهد) و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، به عنوان بالاترین غلظت شوری نمک کلرید سدیم بود که بیانگر حساسیت بالای اسفناج به شوری بود. آزمایشات انجام شده بر روی گندم نیز نشان می‌دهد که اعمال شوری موجب کاهش وزن خشک، تعداد پنجه، درصد جوانه‌زنی بذر، تعداد برگ، سطح برگ و عملکرد دانه و گاه در گندم می‌شود (ابوکاظم و همکاران، ۱۹۹۵ و حیدری و همکاران، ۲۰۰۷).

کلاته‌جاری و همکاران (۱۳۸۷) اثرات نیترات کلسیم و کلرید کلسیم بر کیفیت و عمر گلجایی ورد

(گل رز) رقم ردگانت را بررسی کردند. نتایج نشان داد که کلریدکلسیم با غلظت‌های ۰/۵ و ۱/۰٪ موجب افزایش طول عمر گل‌ها، بهبود روابط آبی و تأخیر در پیری آنها گردید. نیترات کلسیم توانست تنها در غلظت ۰/۵٪ اثر مثبت در افزایش طول عمر گل داشته و پیری را به تعویق اندازد. اثرات سمّی یون‌ها یا نمک‌ها بر روی جوانه‌زدن و رشد جنین و گیاه جوان، توسط تعدادی از محققین مطالعه شده و بعضی از تحقیقات نشان می‌دهد که اثر سمّی نمک‌های کلره حداکثر، نمک‌های سولفات سدیم و نمک‌های کربناته متوسط است. هریس دریافت که سمّیت نمک‌های محلول، بترتیب از کلرور سدیم به کلرور کلسیم، کلرور منیزیم، نیترات پتاسیم، نیترات منیزیم، کربنات سدیم، سولفات سدیم و سولفات منیزیم کاهش می‌یابد (جعفری، ۱۳۷۹).

همانطور که در فصل قبل نیز ذکر شد، کادمیم در بین فلزات سنگین میل ترکیبی کمی برای اتصال به فازهای تثبیت‌کننده خاک، نظیر اکسیدها و کلات‌ها دارد. بنابراین قابلیت جذب این عنصر توسط گیاه و انتقال آن به شاخساره گیاه زیاد است (کاباتا - پندیاس و پندیاس، ۱۹۹۲). کادمیم همچنین توانایی بالایی برای عبور از غشای سلولی ریشه دارد، همه این عوامل باعث شده که خطر حضور این عنصر در زنجیره غذایی بیشتر شود (چانی و رایان، ۱۹۹۴). کادمیم برای رشد گیاهان ضروری نیست، بلکه یک عنصر سمّی برای گیاه است که در غلظت‌های ۵ تا ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در برگ گیاهان ایجاد سمّیت می‌کند (کاباتا - پندیاس و پندیاس، ۱۹۹۲). 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 (IFDC:1996). 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 سمّیت کادمیم، باعث کاهش زی‌توده (Biomass) 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 زی‌توده 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، تعرق و... 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 شاخص‌های 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 اسمیت (۱۹۸۰) حساس‌ترین گیاهان به سمیت کادمیم به ترتیب اسفناج < سویا < شاهی < کاهو < ذرت < هویج < شلغم < لوبیا < گندم < تربچه < گوجه‌فرنگی < کدو < کلم < برنج هستند.

یارقلی و همکاران (۱۳۸۸) جذب و تجمع کادمیم در اندام‌های مختلف محصولات غده‌ای در خاکهای آلوده را بررسی نمودند. بر اساس نتایج حاصل، میزان تجمع کادمیم با افزایش غلظت آن در محیط ریشه نسبت مستقیم داشت. همچنین نتایج نشان داد که نرخ جذب کادمیم توسط گیاهان مورد

مطالعه مستقیماً به غلظت آن در محیط ریشه وابسته بوده و با افزایش غلظت کادمیم قابل جذب در محیط ریشه، مقدار جذب آن توسط گیاهان افزایش می‌یابد. اریکسون (۱۹۹۰) گزارش کرد که جذب کادمیم در گندم به میزان کادمیم در خاک بستگی دارد و ارتباط مثبت بین میزان جذب کادمیم و غلظت کادمیم قابل انتقال در خاک را نشان داد.

در تحقیقی بر روی کاهو مشاهده شد که رابطه معنی‌داری بین میانگین کادمیم قابل جذب توسط برگ‌ها و غلظت کادمیم در محیط غذایی وجود دارد (استمان، ۱۹۹۶). اندرسون و بینگفورد (۱۹۸۵) نشان دادند که میزان کادمیم در گیاه و سرعت جذب آن متناسب با غلظت آن در محیط است. بر اساس مطالعات انجام شده، غلظت کادمیم تجمع یافته در دانه‌های گندم دوروم در استان خوزستان بالغ بر ۰/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم (بیش از ۴ برابر حد استاندارد) بوده و بدیهی است مصرف این نوع گندم‌ها سلامت جامعه را با خطر جدی مواجه می‌نماید. زیادی کادمیم در پیاز و سیب‌زمینی تا حد ۰/۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم، برنج تا حد ۰/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و در سبزی‌ها از جمله اسفناج تا حد ۰/۸۷ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (جعفرنژادی، ۱۳۸۷؛ قهرمانی، ۱۳۸۷؛ ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷).

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 بیماری‌های انسانی به سوءتغذیه (سونامی خاموش) ارتباط دارد (ملکوتی، ۱۳۸۹). برپایه مطالعات دیویس (۱۹۸۴) از میان فلزات سنگین، روی و کادمیم تمایل زیادی به انباشته شدن در بافت‌های گیاهی دارند.

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، ۱۳۸۳). نقش کودهای فسفره در آلودگی

خاک‌های زراعی با کادمیم، در بسیاری از منابع ذکر گردیده است (ثواقبی و ملکوتی، ۱۳۷۹، مک‌لاگلین و همکاران، ۱۹۹۴، وگلر- بیتون و همکاران، ۲۰۰۰). 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، ۱۳۷۷). بر اساس 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 سمی) در بافت‌های گیاهی است. از طرفی به دلیل رابطه آنتاگونیستی 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 (ثواقبی و ملکوتی، ۱۳۷۹).

ملکوتی و همایی (۱۳۸۳) و ملکوتی و همکاران (۱۳۸۷) در مطالعات خود چندین علت برای افزایش تجمع کادمیم در محصولات 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 برشمرده 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.

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 و کادمیم 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 معنی‌دار مشاهده شد. نتایج این پژوهش نشان داد مصرف بسیار زیاد کودهای دامی و به ویژه کودهای شیمیایی (با ناخالصی کادمیم و سرب) در گلخانه‌های استان اصفهان سبب افزایش غلظت سرب و کادمیم خاک و گیاه شده است.

بر اساس 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 بغوری، ۱۳۷۳ و ترابیان و مهجوری، ۱۳۸۱). لذا مطالعات زیادی نیز در این زمینه بر روی فلزات سنگین از جمله کادمیم، 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 همکاران، 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 مطالعه‌ای که توسط ناظمی و خسروی (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، به‌طور معنی‌داری در مقایسه با مقادیر استاندارد بیشتر بود. نتایج این تحقیق بیانگر آلودگی آب، خاک و گیاه به فلزات سنگین در اثر مصرف کودهای شیمیایی، دفع غیربهداشتی فاضلاب و احتراق سوخت‌های فسیلی بود. واثقی و همکاران (۱۳۸۰) اثر لجن فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین در گیاهان کاهو و اسفناج در خاک‌های با pH متفاوت را بررسی کردند، نتیجه این بود که لجن فاضلاب غلظت برخی فلزات سنگین مانند کادمیم را در اندام هوایی و ریشه گیاهان به طور معنی‌داری افزایش داد. در مطالعات استریت و همکاران (۱۹۷۸) مشاهده شد که با افزایش pH

خاک از ۵/۷ به ۷/۸، غلظت کادمیم گیاه ذرت ۷۰ درصد کاهش یافت که این کاهش ناشی از افزایش جذب کادمیم روی سطح کلوئیدهای خاک و یا رسوب ترکیبات کادمیم‌دار بوده است. برخی محققین pH را عاملی مؤثر در جذب کادمیم ناشی از لجن فاضلاب می‌دانند (جان و همکاران، ۱۹۷۲). برخی متخصصین معتقدند که سمیت عناصر سنگین می‌تواند نتیجه استفاده از مقادیر زیاد لجن فاضلاب باشد، اما بالا بودن pH خاک می‌تواند تا حدود زیادی از بروز سمیت جلوگیری کند (بیرمن، ۱۹۹۴). بر اساس 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 و سرب در بخشی از اراضی آلوده استان‌های گیلان، زنجان، اصفهان و چهارمحال بختیاری به ترتیب برابر ۱/۹ تا ۱۸۰/۵ و ۸۹/۴ تا ۲۶۱۰/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است (ترابیان و بغوری، ۱۳۷۳؛ شریعت و فرشی، ۱۳۸۱؛ جعفرزاده حقیقی، ۱۳۷۵).

برطبق تحقیقات سیمونس و پونگاسکول (۲۰۰۲) تجمع فلزات سنگین در محصولات زراعی فقط به غلظت فلزات در آب بستگی نداشته، بلکه به نوع و گونه گیاه نیز مربوط است. مطالعات برخی محققین در شهر مکزیکو نشان داد، در مدت بالغ بر ۸۰ سال، آبیاری با فاضلاب باعث افزایش غلظت فلزات سنگین خاک به حدود سه تا شش برابر شده، ولی هنوز به حد فراتر از میزان مجاز نرسیده است (یار قلی و همکاران، ۱۳۸۸). امینی و انصاری (۱۳۸۷) اثر لجن فاضلاب بر جذب فلزات سنگین توسط گیاه اسفناج را آزمایش کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که مصرف لجن فاضلاب باعث افزایش سرب کل خاک گردید. اما سرب و کادمیم گیاه با افزایش سطوح لجن فاضلاب، افزایش معنی‌داری نشان نداد. سمیت (۱۹۹۴) گزارش کرد که رسوب عناصر به صورت هیدروکسیدها و کربنات‌های نامحلول و کمپلکس‌های آلی با افزایش pH خاک افزایش می‌یابد. بنابراین قابلیت دسترسی عناصر سنگین خاک برای گیاهان در pH پایین نسبت به pH بالا بیشتر است. کربس و همکاران (۱۹۹۸) بیان داشتند؛ فلزاتی از قبیل کادمیم و روی به سهولت با کاهش pH خاک متحرک می‌شوند، به طوری

که روی تا حد سمیت و کادمیم نیز از حد مجاز در محصولات کشاورزی فراتر می‌رود. تحقیقات لی و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد با استفاده از آبی با غلظتی بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیم و کروم در آب آبیاری با pH متفاوت، میزان جذب فلزات توسط گیاه و همچنین دفع آن‌ها از طریق زهاب، نسبت عکس با pH آب داشته و میزان جذب آن در خاک نسبت مستقیم با pH دارد.

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر حلالیت و غیرمتحرک شدن فلزات سنگین، تشکیل کمپلکس با لیگاندهای غیرآلی در محلول خاک است (تمینگهاف و همکاران، ۱۹۹۵؛ هیرچ و همکاران، ۱۹۸۹؛ ماتینگاد و اسپوزیتو، ۱۹۹۷؛ گراسیا میراجیا و پیچ، ۱۹۷۶). حضور لیگاندهای در حال کمپلکس ممکن است پویایی فلزات را به طور چشمگیری افزایش دهد (مکلین و بلدسو، ۱۹۹۲). لیگاندهای غیر آلی رایج کمپلکس‌دهنده با فلزات سنگین عبارتند از: SO_4^{2-} , OH^- , PO_4^{3-} , NO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- (اسچففر و اسچاچتسچبل، ۲۰۰۲). در میان این لیگاندها، کلریدها بسیار پویا هستند و بنابراین تحت شرایط معین، آنها می‌توانند یک عامل مهم در توزیع فلزات سنگین بین بخش‌های پیوند باشند (عثمان و همکاران، ۲۰۰۵).

الووی (۱۹۹۵) گزارش کرد که در غلظت‌های بالای یون کلرید، بسیاری از فلزات ممکن است به صورت کمپلکس‌های کلرید وجود داشته باشند که اغلب متحرک‌تر هستند (الووی، ۱۹۹۵). 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 می‌شوند؛ وجود دارد.

نتایج آزمایش‌های برخی محققان مانند اسملدرس و همکاران (۱۹۹۸) و وگلر- بیتون و همکاران (۲۰۰۰) نشان می‌دهد؛ شوری و یا یون کلرید نقش مؤثری 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.

در پژوهشی که خوش‌گفتارمنش و همکاران (۱۳۸۲) دربارهٔ اثرات شوری آب آبیاری و کاربرد روی برحلالیت کادمیم خاک و غلظت آن در گندم انجام دادند؛ شوری ناشی از کلرید سدیم باعث افزایش غلظت کادمیم کل در محلول خاک شد، در حالی که شوری نیترات سدیم تأثیری بر غلظت کادمیم محلول خاک نداشت. غلظت کادمیم گیاه با غلظت کادمیم کل و کلر محلول خاک همبستگی مثبت و با غلظت روی محلول خاک همبستگی منفی داشت. با افزایش غلظت کلرید سدیم آب آبیاری، غلظت سدیم و کلر محلول خاک به طور معنی‌داری افزایش یافت. شوری ناشی از کلرید سدیم آب آبیاری، با افزایش غلظت کادمیم کل محلول خاک، غلظت کادمیم اندام‌های هوایی گیاه را افزایش داد در حالی که تیمار ۱۲۰ میلی‌مولار نیترات سدیم، تأثیر معنی‌داری بر غلظت گیاه نداشت. نتایج این پژوهش نشان داد یون کلرید، نقش مؤثری در افزایش حلالیت کادمیم خاک و جذب آن به وسیلهٔ گیاه دارد و باعث افزایش پویایی و قابلیت جذب کادمیم خاک به وسیله گیاه می‌شود، در خاک‌هایی که غلظت کلر محلول خاک بالا بوده و مقدار زیادی کودهای فسفره با ناخالصی کادمیم در طی سال‌های متمادی مصرف شده است، احتمال انباشته‌شدن مقادیر بالای این عنصر سمی در گیاه و ورود آن به زنجیرهٔ غذایی انسان و دام، وجود دارد (خوش‌گفتار منش و همکاران، ۱۳۸۲). همچنین برخی محققان (تممینگهاف و همکاران، ۱۹۹۵) گزارش کرده‌اند، کمپلکس‌های کلر و کادمیم به مقدار بسیار کمی بر روی ذرات خاک و رس‌ها جذب می‌شوند، بنابراین کمپلکس‌های مذکور در محلول خاک باقی مانده و قابلیت جذب این عنصر توسط گیاه را افزایش خواهند داد. از طرفی ممکن است این فرضیه بیان شود که افزایش جذب کادمیم در گیاه ناشی از قدرت یونی و تنش اسمزی بوده که موجب تخریب ساختمان غشای سلولی ریشه و اختلال در انجام وظایف آن شده‌است (اسمولدرس و همکاران، ۱۹۹۸).

به عقیدهٔ گرانت و همکاران (۱۹۹۹) یون کلر بسته به غلظت در محلول خاک می‌تواند کمپلکس‌های مختلفی ($CdCl_n^{2-n}$) را با کادمیم محلول خاک تشکیل دهد و زمانی که غلظت کلر محلول خاک از ۱۰ میلی‌مولار (۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر) بیشتر شود؛ گونهٔ یونی $CdCl^+$ در محلول از Cd^{2+} بیشتر

خواهد بود و تشکیل این کمپلکس‌های کلر-کادمیم موجب افزایش تحرک و جذب کادمیم توسط گیاه می‌شوند.

در تحقیق دیگری عنوان شده که مصرف کلرید پتاسیم رهاسازی کادمیم تجمع یافته در خاک‌ها را افزایش می‌دهد (ما و همکاران، ۲۰۰۰). چنانکه در برخی تحقیقات از این موضوع برای سرعت بخشیدن به گیاه‌پالایی فلزات سنگین استفاده شده است، همان‌طور که هاتوری و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهشی اثرات کاربرد کلرید و کاهش pH روی جذب کادمیم از خاک به وسیله گیاه را بررسی کردند و نشان دادند که کاربرد کلرید به صورت کود نیتروژنه آمونیوم کلرید و همچنین کلرید کلسیم، جذب کادمیم را صرف‌نظر از نوع گیاهان افزایش خواهد داد. نتیجه این تحقیق این بود که از افزایش جذب کادمیم به وسیله گیاهان با کاربرد یون کلرید و تعدیل pH (بسته به تحمل گونه‌های گیاهی به پهاش پایین) می‌توان برای گیاه‌پالایی کادمیم استفاده کرد.

عثمان و همکاران (۲۰۰۵) در آزمایشی تأثیر کاربرد مواد غیرمتحرک کننده فلزات سنگین و شوری کلرید سدیم، روی دسترسی فلزات سنگین بر روی گندم رشد یافته در خاک آلوده به فاضلاب را بررسی کردند؛ در این آزمایش یکی از مواد غیرمتحرک کننده زئولیت بود. افزودن مواد غیرمتحرک کننده، به طور معنی‌داری غلظت فلزات سنگین را در محلول خاک در حدود ۱۲ تا ۸۱ درصد نسبت به خاک شاهد کاهش داد. افزودن زئولیت، کاهش معنی‌داری در غلظت فلزات سنگین در محلول خاک در حدود ۱۳ تا ۵۷ درصد نشان داد. همچنین با بررسی اثر آن در گیاه، کاهش معنی‌داری در غلظت کادمیم جوانه گندم در برداشت اول حاصل شد. بعد از آبیاری با آب شور افزایش معنی‌داری در غلظت Na و Cl در محلول خاک نشان داده شد. همچنین، آبیاری با آب شور افزایش معنی‌داری در غلظت فلزات سنگین در قالب گونه‌های MCl^+ و MCl_2^0 نشان داد. احتمالاً یون‌های کلرید به عنوان یک لیگاند انتخابی برای فلزات سنگین به ویژه برای کادمیم، عمل نمودند. نتایج، بیشترین کمپلکس‌های کلر را با کادمیم و سرب نشان داد.

هاهنه و کرونتزه (۱۹۷۳) گزارش کردند که کادمیم می‌تواند به سرعت کمپلکس‌های مستحکم با لیگاندهای کلرید حتی در حضور لیگاندهای آلی تشکیل دهد. گراسیا میراجیا و پیچ (۱۹۷۶) بیان داشتند؛ لیگاندهای کلرید برای جذب کادمیم با لیگاندهای آلی و غیرآلی موجود در محلول خاک رقابت می‌کنند. به عقیده مک‌لاگلین و همکاران (۱۹۹۴) در شوری ناشی از کلرید سدیم، به واسطه جایگزینی Na و Cd در محل‌های تبادل‌ی خاک، غلظت کادمیم در محلول خاک افزایش می‌یابد.

افزودن نمک‌های معدنی فلزات سنگین به خاک نیز موجب افزایش غلظت این عناصر در گیاه می‌شود. بران و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که مقدار انباشت کادمیم در کاهو در خاک‌هایی که کلرید کادمیم دریافت کردند؛ بیشتر از خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب بود.

لی و همکاران (۲۰۰۱) بیان داشتند؛ فلزات سنگین به خوبی توسط ترکیبات آلی و معدنی ضایعات آلی، جذب می‌شوند به همین دلیل قابلیت جذب فلزات سنگین اضافه شده به خاک توسط گیاه از طریق ضایعات آلی، در مقایسه با فلزات سنگینی که توسط نمک‌های معدنی به خاک اضافه می‌شوند، کمتر است.

شریفی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی درباره اثر کود گاوی، لجن فاضلاب و کلرید کادمیم بر جذب کادمیم در شاخساره ذرت مشاهده کردند که با افزایش سطوح کادمیم در خاک، مقدار عملکرد وزن خشک شاخساره ذرت در تیمارهای مختلف کودی کاهش یافت. افزایش سطوح کادمیم در تیمارهای مختلف موجب افزایش معنی‌دار غلظت کادمیم در شاخساره ذرت شد. بیشترین مقدار کادمیم قابل جذب مربوط به تیمار کلرید کادمیم در سطح ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم بود، افزایش غلظت کلرید کادمیم توسط نمک کلرید کادمیم، عامل مهمی در افزایش کادمیم قابل جذب بود. نتایج این پژوهش نشان داد که جذب کادمیم توسط گیاه به منبع واردکننده کادمیم به خاک بستگی دارد. خطر انتقال کادمیم به زنجیره غذایی از طریق ضایعات آلی کمتر از نمک معدنی کادمیم است. با این وجود به دلیل اثرهای تجمعی فلزات سنگین به ویژه کادمیم و احتمال ورود این عناصر به زنجیره غذایی، در

مصرف کود گاوی و لجن فاضلاب در خاک، توجه به غلظت فلزات سنگین مانند کادمیم در ترکیب آنها حائز اهمیت است.

سالاردینی و همکاران (۱۹۹۳) تأثیر کادمیم و منبع کودی پتاسیم را بر غلظت کادمیم در سیبزمینی بررسی کرده و گزارش نمودند که غلظت این فلز در غده و دمبرگ در تیمار سولفات پتاسیم ۲۰ تا ۳۰ درصد کمتر از تیمار کلریدپتاسیم بود. در آزمایشی عنوان شد؛ مصرف کلریدپتاسیم، رها سازی کادمیم تجمع یافته در خاکها را افزایش داد (یوئو و همکاران، ۲۰۰۵).

در یک آزمایش، برهم کنش کادمیم و کلسیم، روی و ماده آلی بررسی شد و نشان داده شد که کاربرد یک درصد کلسیم، ۴۰ ppm روی و ۲۰ تن در هکتار کمپوست، باعث افزایش عملکرد ماده خشک و کاهش تجمع کادمیم در کرت‌های تیمار شده با Cd-EDTA (۱۵ پی‌پی‌ام) به میزان ۱/۱۲ برابر در آفتابگردان شد (دینش و همکاران، ۲۰۰۷). ساکاری و هوانگ (۱۹۹۶) گزارش کردند که کلریدپتاسیم، زدایش و رهاسازی کادمیم را در خاک افزایش می‌دهد.

در یک آزمایش تأثیر شوری و اسیدیته بر روی زیست‌فراهمی فلزات سنگین لجن فاضلاب، بررسی شد. نتیجه این بود که زیست‌فراهمی فلزات سنگین، در هدایت الکتریکی ۴ تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر به حداکثر مقدار خود رسید (پارکپیان و همکاران، ۲۰۰۱).

تأثیرات رقابت کلسیم، قدرت یونی، کمپلکس‌های غیرآلی و pH روی جذب کادمیم به وسیله یک خاک شنی، توسط تممینگهاف و همکاران (۱۹۹۵) مطالعه شد. یکی از نتایج به دست آمده این بود که با افزایش غلظت الکترولیت‌های حاوی آنیون کلر، میزان کمپلکس‌های کادمیم - کلر نیز افزایش یافت. در مورد کلر به عنوان آنیون الکترولیت، در قدرت یونی برابر ۰/۰۰۳ (Cl ۰/۰۰۲ مولار) حدود ۱۳٪ کادمیم با کلر تشکیل کمپلکس داد و با افزایش قدرت یونی به میزان ۰/۳ (Cl ۰/۲ مولار) ۹۱٪ کادمیم با کلر تشکیل کمپلکس داد، در مقابل هنگامی که آنیون اصلی نترات بود؛ در قدرت‌های یونی مشابه ۰/۰۰۳ و ۰/۳، میزان کادمیم شرکت‌کننده در تشکیل کمپلکس به ترتیب، ۰ و ۱۱٪ بود. رقابت

کلسیم با کادمیم، در قدرت یونی برابر ۰/۰۳ جذب کادمیم را ۶۰ تا ۸۰ درصد در مقایسه با ترکیباتی که در آنها سدیم به عنوان کاتیون وجود داشت، کاهش داد.

بوخلد و همکاران (۱۹۹۳) تأثیر کمپلکس‌های کادمیم با کلر و نیترات روی جذب کادمیم خاک را مطالعه کردند. آنها مشاهده کردند که در یک قدرت یونی یکسان، جذب کادمیم در حضور Cl یا NO₃ به عنوان آنیون شاخص، متغیر بود. در حضور CaCl₂ با غلظت مولی ۰/۰۱ مولار به عنوان الکترولیت حدود ۵۲٪ از کادمیم محلول با کلرید تشکیل کمپلکس داده بود، در حالی که این میزان برای آنیون نیترات، حدود ۳٪ بود. در قدرت یونی ۰/۰۳ مولار، در الکترولیت‌هایی که در آنها کلسیم به عنوان کاتیون حضور داشت، در مقایسه با الکترولیت‌هایی که دارای سدیم به عنوان کاتیون بودند، به علت رقابت بین کلسیم و کادمیم برای جذب، جذب کادمیم تا ۸۰ درصد کاهش یافت.

سندرز و همکاران (۱۹۸۷) از CaCl₂ با غلظت مولی ۰/۱ مولار استفاده کردند که در نتیجه مقدار زیادی کمپلکس‌های کادمیم-کلر تشکیل شد و جذب کادمیم از خاک افزایش یافت.

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 و غیرشور بررسی کردند. خاک شور دارای تکامل کمتر و دارای کانی غالب ایلیت و خاک غیرشور 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. ایوبی و همکاران (۱۳۸۸) کاربرد کود کادمیمی و شوری آب برحلالیت کادمیم در

خاک را بررسی کردند. در این آزمایش تنها نمک کلرید سدیم برای بررسی اثر شوری، مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این پژوهش افزایش فرم کادمیم قابل استخراج با EDTA را با افزایش شوری نشان داد.

بنی‌هاشمی و همکاران (۱۳۹۰) تأثیر 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 دسی‌زیمنس بر متر) نسبت به تیمار شاهد (۳ دسی‌زیمنس بر متر) به ترتیب ۸۸٪ و ۳۹٪ 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.

در یک پژوهش خان‌محمدی و همکاران (۱۳۸۷) اثر متقابل شوری و کادمیم بر فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز خاک را بررسی نمودند. شاخص درصد بازدارندگی با افزودن نمک به خاکها افزایش یافت، اما فاقد اختلاف معنی‌دار بین سطوح مختلف شوری بود، همچنین شوری اثر سمی کادمیم در خاک را افزایش داد.

مطالعات زیادی نیز در مورد کاربرد اصلاح‌کننده‌های مختلف و مواد افزودنی به خاک، به منظور کاهش میزان فلزات سنگین در آب و خاک انجام شده است. در پژوهشی که توسط سردشتی و همکاران (۱۳۸۳) درباره امکان کاربرد زئولیت‌ها در تصفیه فاضلاب‌های حاوی فلزات سنگین انجام شد، استفاده از زئولیت‌ها در حذف فلزات سنگین، باعث حذف فلزات سنگین از جمله کادمیم گردید. محمدی‌ثانی و همکاران (۱۳۹۰) نیز تأثیر زئولیت را بر توزیع برخی فلزات سنگین از جمله کادمیم در ضایعات معادن بررسی کردند. در این آزمایش نیز اضافه کردن اصلاح‌کننده‌های مختلف باعث کاهش حلالیت فلزات سنگین در ضایعات معدنی شد، همچنین کاربرد زئولیت باعث افزایش معنی‌دار کادمیم در بخش تبدالی نسبت به تیمار شاهد شد. به عقیده مینگ و مامپتون (۱۹۸۹) توانایی زئولیت‌ها در

غیرپویاسازی فلزات سنگین، به توانایی آنها در تبادل کاتیون‌ها و ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد و نیز ساختار مولکولی متخلخل و شش وجهی زئولیت‌ها برمی‌گردد. عبدی و همکاران (۱۳۸۵) تأثیر کادمیم و زئولیت را بر رشد، ترکیب شیمیایی و گره‌زایی گیاه سویا بررسی کردند. نتایج نشان داد که کاربرد کادمیم باعث کاهش وزن خشک شاخساره ذرت گردید، ولی در بالاترین سطح تفاوت معنی‌داری در وزن خشک ریشه گیاه نسبت به تیمار شاهد ایجاد نکرد. زئولیت باعث افزایش وزن خشک شاخساره و ریشه نسبت به تیمار شاهد گردید. کاربرد کادمیم باعث افزایش و کاربرد سطوح مختلف زئولیت (۰، ۲ و ۵ گرم زئولیت در کیلوگرم خاک) باعث کاهش میانگین غلظت کادمیم شاخساره و ریشه گردید.

روحانی و همکاران (۱۳۹۰) تأثیر زئولیت بر غلظت کادمیم در گیاه کاهو را بررسی کردند. در این پژوهش زئولیت در سه سطح صفر، ۱ و ۲ تن در هکتار استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش مصرف زئولیت، از غلظت کادمیم در گیاه کاهو کاسته شد و بیشترین کاهش در سطح ۲ تن در هکتار بود؛ به طوری‌که در این سطح مصرف، عملکرد ماده خشک گیاه نیز افزایش یافت.

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 غیرخطی 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.

در مطالعه‌ای درباره حذف فلزات سنگین از شیرابه زباله توسط زئولیت‌های اصلاح شده با سورفاکتانت، از نوعی زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت به دو صورت ساده (اصلاح نشده) و اصلاح شده استفاده شد. در این تحقیق اثبات شد که زئولیت اصلاح شده در مقایسه با زئولیت اصلاح نشده توانایی زیادی در جذب فلزات سرب و کادمیم نشان می‌دهد و در مقایسه بین این دو فلز، کادمیم را با توان بیشتری جذب می‌نماید. همچنین مشاهده شد؛ با افزایش زمان تماس و افزایش نسبت جاذب به محلول،

راندمان جذب این دو فلز افزایش می‌یابد. نتیجه این بررسی نشان داد، از زئولیت‌های اصلاح شده توسط سورفاکتانت می‌توان به عنوان جاذب مناسبی برای جداسازی فلزات سنگین از ترکیب شیرابه زباله استفاده نمود (غدیری و همکاران، ۱۳۸۹)

غیرمتحرک کردن فلزات سنگین در یک خاک آلوده توسط افزودنی‌های مختلف عنوان آزمایشی بود که توسط خالقی و گلچین (۱۳۹۰) انجام شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افزودنی‌های مختلف در مقادیر مصرف شده تأثیر معنی‌داری بر قابلیت جذب عناصر روی، سرب، کادمیم و نیکل در خاک داشتند و باعث کاهش قابلیت جذب این عناصر در خاک شدند. بهترین افزودنی جهت کاهش قابلیت جذب روی و نیکل سوپرفسفات تریپل و برای کادمیم، بنتونیت بود.

عابدی‌کوپایی و بگی (۱۳۹۱) به منظور حذف فلزات سنگین در سیستم تغذیه مصنوعی با پساب تصفیه شده از زئولیت استفاده کردند. نتایج نشان داد که غلظت سرب و کادمیم زه‌آب خروجی، پس از مدت زمان کوتاهی به صفر رسید؛ اسیدیته و هدایت الکتریکی اندکی افزایش یافت و غلظت کلسیم و منیزیم زه‌آب ستونها افزایش یافته و سپس کاهش یافت.

طاهرشمسی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی از زئولیت طبیعی برای حذف فلزات سنگین خطرناک از خاکهای آلوده استفاده کردند. برای این منظور زئولیت طبیعی به یک خاک آلوده به سرب اضافه گردید تا از پراکندگی و ورود آن به گیاه جلوگیری نماید. نتایج نشان داد که زئولیت از شکستن سرب، از طریق تنظیم pH جلوگیری می‌کند و مانع نفوذ سرب به گیاه می‌شود.

ناظم و همکاران (۱۳۸۶) در پژوهشی از زئولیت در افزایش آب خاک در شرایط استفاده از شیرابه کارخانه کود آلی کمپوست اصفهان، استفاده کردند. در این پژوهش نیز کاربرد زئولیت باعث افزایش ظرفیت آب خاک در موارد کاربرد شیرابه شد.

زوارموسوی (۱۳۸۷) از زئولیت‌های موجود در شهرستان سمنان جهت تصفیه پساب‌های صنعتی استفاده کرد. نتایج آزمایشات نشان داد که به وسیله زئولیت‌های طبیعی موجود در استان می‌توان برخی از یون‌های فلزی سنگین موجود در پساب‌های صنعتی را تصفیه نمود.

قاسمی‌مبتکر و همکاران (۱۳۸۵) پارامترهای مؤثر بر فرایند جذب همزمان برخی از کاتیونهای سنگین به وسیلهٔ زئولیت‌های سنتزی A و P تهیه شده از کلینوپتیلولیت طبیعی ایران را بررسی کردند. برای این منظور اثر زمان بر میزان جذب، جهت به دست آوردن زمان به تعادل رسیدن در محلول‌های حاوی ۴ کاتیون سرب، روی، کادمیم و نیکل بررسی شد. سپس اثر پارامترهای دما، پ‌هاش و غلظت این کاتیون‌ها در میزان جذب به روش ناپیوسته بررسی و سرانجام جذب این کاتیون‌ها به وسیله ستونهای پر شده با زئولیت‌های متفاوت آزمایش شد که در نتیجه عبور از ستونهای متوالی، غلظت این کاتیون‌ها تا مقادیر بسیار پایینی کاهش داده شد.

حق‌شناس‌گرگابی و بیگی‌هرچگانی (۱۳۸۹) اثر زئولیت میانه را بر ظرفیت نگهداری آب و ضرایب مدل‌های منحنی رطوبتی دو بافت خاک شنی و لومرسی، بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزودن زئولیت باعث افزایش پاسخ به ویژه در بافت شنی می‌شود. در تحقیق دیگری یاسودا و همکاران (۱۹۹۸)، اثر زئولیت بر کنترل آب و شوری در خاک را بررسی کردند. طی این آزمایش زئولیت علاوه بر افزایش ظرفیت نگهداری آب به عنوان یک ملایم‌کنندهٔ زیان شوری برای گیاهان تحت آبیاری با آب شور معرفی شد.

فصل چهارم

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه آموزشی دانشگاه صنعتی شاهرود و به صورت گلدانی انجام شد. پژوهش در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو سطح زئولیت در خاک (۰ و ۱۰ درصد) و ۳ سطح شوری آب آبیاری (۲، ۴ و ۶ dS/m) از نمک‌های کلرید سدیم (NaCl)، کلرید کلسیم (CaCl₂)، نترات کلسیم (Ca(NO₃)₂) و نترات سدیم (NaNO₃) در سه تکرار اجرا گردید. مقادیر شوری بر اساس دامنه تحمل گیاه مورد نظر (اسفناج) به شوری انتخاب شد (بر اساس طبقه‌بندی مس و هافمن (۱۹۷۷)، اسفناج جزء گیاهان نیمه حساس به شوری محسوب می‌شود). در تاریخ اول دی ماه سال ۱۳۹۰ عملیات کاشت انجام شد. برای اجرای طرح از خاک سطح ۰ تا ۲۵ cm یکی از اراضی زراعی شهرستان 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 تجزیه برخی ویژگی‌های این خاک در جدول (۴-۱) آورده شده است). سپس کادمیم با استفاده از نترات کادمیم با غلظت ۱۰ ppm و به صورت محلول پاشی به کل خاک اضافه گردید (عملیات آلوده‌سازی خاک مورد استفاده، دو ماه قبل از کاشت انجام شد؛ تا بیشترین حد ممکن فرایندهای بین آلودگی و خاک تکوین یابد و شرایط آلودگی به شرایط طبیعی نزدیکتر شود). نیمی از گلدان‌ها (به تعداد ۳۶ گلدان) با زئولیت (در سطح ده درصد) مخلوط گردید، در حالی که خاک بقیه گلدان‌ها فاقد زئولیت بود. گلدان‌های مورد استفاده یک کیلوگرمی و از جنس پلاستیک بود. در هر گلدان تعداد پانزده بذر اسفناج 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 مقطر 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 الکتروولیت با سطوح شوری مورد نظر در آزمایشگاه تهیه شد. با گذشت ده روز از زمان سبز شدن بذرها (پس از استقرار کامل جوانه‌ها در خاک) تیمارهای شوری اعمال گردید.

جدول (۴-۱). مقادیر نمک مربوط به غلظت های مختلف الکتروولیت

مقدار گرم در لیتر	هدایت الکتریکی	نوع نمک
۰/۸۸	۲	
۱/۷۶	۴	NaCl
۲/۶۲۸	۶	
۱/۱۰۸	۲	
۲/۲۱۶	۴	CaCl ₂
۳/۳۲۴	۶	
۲/۳۵۶	۲	
۴/۷۱۲	۴	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O
۷/۰۶۸	۶	
۱/۲۷	۲	
۲/۵۴	۴	NaNO ₃
۳/۸۱	۶	

در طی دوره رشد گیاهان، مراقبت‌های لازم انجام شد و خصوصیات ظاهری گیاه به دقت تحت نظر گرفته شد. همچنین شاخص کلروفیل که نمایانگر میزان کلروفیل برگ است توسط دستگاه کلروفیل‌سنج (SPAD مدل ۵۰۲) اندازه‌گیری شد. بعد از حدود ۳ ماه از زمان کاشت (۲۱ اسفند ماه ۱۳۹۰) گیاهان از سطح خاک برداشت شدند. برای خارج کردن ریشه‌ها از خاک، خاک درون گلدان‌ها به آرامی در داخل تشت پلاستیکی ریخته شد و ریشه‌های موجود در آنها با دقت زیاد و به طور کامل از خاک جدا گردید. بعد از جداسازی ریشه‌ها از خاک نمونه‌های گیاه به دقت با آب مقطر شسته و تمیز شدند و به وسیله ترازوی دیجیتالی توزین و وزن تر نمونه‌ها یادداشت گردید. از هر نمونه گیاهی یک عدد برگ به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و در تاریکی در آب مقطر خیسانده شد و وزن آماس برگ نیز به منظور به دست آوردن محتوی نسبی آب بافت برگ گیاه، به طور جداگانه یادداشت شد. محتوی نسبی آب برگ گیاه بر حسب درصد با استفاده از رابطه (۴-۱) محاسبه شد:

رابطه (۴-۱) وزن خشک _ وزن آماس / وزن خشک _ وزن تر = محتوی نسبی آب برگ (/)

به منظور خشک شدن گیاهان، نمونه‌های گیاه در پاکت‌های کاغذی قرار داده شد و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد در آون خشک شد. بعد از خارج کردن نمونه‌ها از آون، وزن خشک اندام هوایی و ریشه تعیین گردید. به منظور تعیین میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی ابتدا نمونه‌های گیاهی آسیاب شد. به منظور بررسی میزان غلظت کادمیم در نمونه‌های گیاهی ابتدا بایستی نمونه‌های گیاه برای انجام عمل هضم آماده می‌شد. بدین منظور ابتدا نمونه‌های گیاهی آسیاب شد و ۰/۵ گرم از هر نمونه به یک لوله هضم ۱۰۰ میلی لیتری انتقال یافت و ۱۰ میلی لیتر اسیدنیتریک غلیظ اضافه گردید. مخلوط حاصل یک شب در دمای اتاق قرار داده شد و سپس درون دستگاه هضم الکتریکی گذاشته شد و در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳ ساعت و سپس در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۶ ساعت حرارت دید. در مرحله بعد محتوی هر ظرف به فلاسک‌های حجمی ۱۰۰ میلی لیتری منتقل گردید. فلاسک‌های حاوی نمونه‌های گیاهی با آب مقطر به حجم رسید و سرانجام میزان غلظت کادمیم نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ICP مدل GBC INTEGRA XL قرائت شد. میزان کل کادمیم جذب شده نیز از حاصلضرب غلظت کادمیم در عملکرد ماده خشک گیاهی محاسبه شد. لازم به ذکر است که بافت خاک به روش هیدرومتری (بایکاس، ۱۹۷۷)، اسیدیتة خاک در عصاره ۱:۱ خاک به آب مقطر و توسط دستگاه pH متر (مکلین، ۱۹۸۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با روش باور (ردوز، ۱۹۸۲) و هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با دستگاه هدایت‌سنج (میلر و کورتین، ۲۰۰۶)، اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS و MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح ۵ درصد انجام شد. شکل‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۰۷ رسم گردید.

جدول (۴-۲). برخی ویژگی‌های خاک قبل از آزمایش

ویژگی	مقدار و یا نوع
اسیدیته (pH)	۷/۶۱
قابلیت هدایت الکتریکی (EC)	۱/۱ (dS/m)
ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	۱۵/۷ (cmol ⁺ /kg)
رس (درصد)	۳۰/۷
سیلت (درصد)	۴۹/۲
شن (درصد)	۲۰/۱
کلاس بافتی خاک	لوم رسی

جدول (۴-۳). ویژگی‌های زئولیت مورد استفاده

ویژگی	مقدار
اسیدیته (pH)	۸/۱
قابلیت هدایت الکتریکی (EC)	۲/۷ (dS/m)
ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	۹۸ (cmol ⁺ /kg)
درصد رطوبت	٪۵۰
درصد آهک	٪۴/۷۵
ازت کل	٪۰/۰۱
فسفر قابل جذب	٪۰/۰۰۰۳۷
پتاسیم قابل جذب	٪۰/۱۸
SiO ₂	٪۶۴/۴
Al ₂ O ₃	٪۱۲/۸
Fe ₂ O ₃	٪۱/۳۱
TiO ₂	٪۰/۳۱
CaO	٪۲/۳۷
MgO	٪۱/۱۵
Na ₂ O	٪۱/۱۳

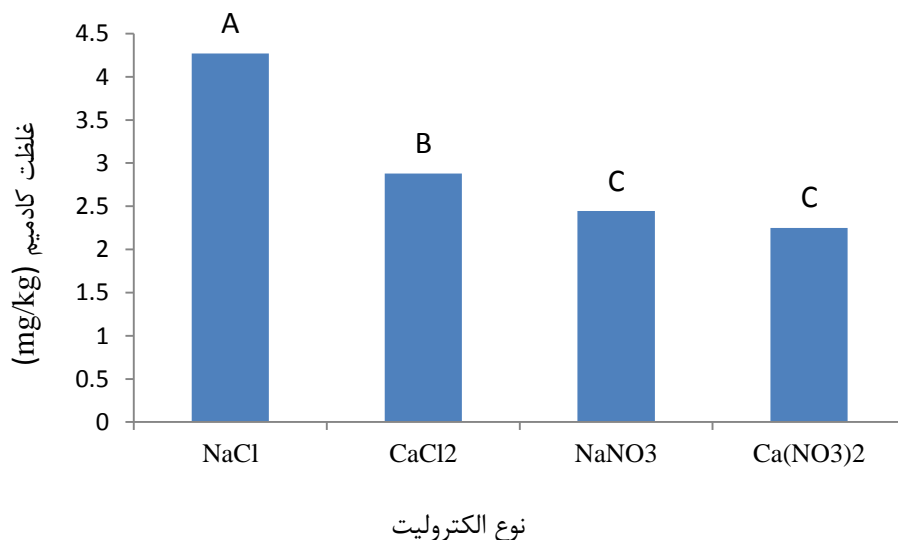
فصل پنجم

نتایج و بحث

۵-۱- نتایج بررسی تأثیر ترکیب الکترولیت و زئولیت بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی

۵-۱-۱- تأثیر نوع الکترولیت بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی

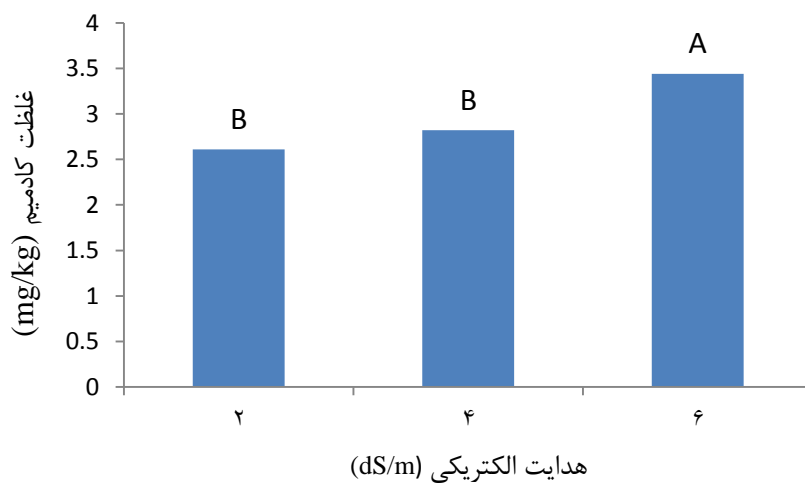
بررسی تأثیر انواع مختلف الکترولیت، تأثیر معنی‌دار این عامل را بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی گیاه در سطح ۱ درصد، نشان داد. بیشترین میزان غلظت کادمیم مربوط به شوری ناشی از کلرید سدیم و در مرتبه بعد، مربوط به نمک کلرید کلسیم بود. کمترین میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی را گیاهان آبیاری شده با نمک نیترات کلسیم، نشان دادند. اگرچه میزان غلظت کادمیم در نمونه‌های گیاهی تیمار شده با نیترات سدیم نسبت به نیترات کلسیم بیشتر بود، اما اختلاف معنی‌داری بین این دو نمک از لحاظ میزان غلظت کادمیم، در سطح ۵ درصد مشاهده نشد (شکل ۵-۱).



شکل (۵-۱). تأثیر نوع الکترولیت بر غلظت کادمیم در اندام هوایی

۵-۱-۲- تأثیر تغییرات هدایت الکتریکی بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی

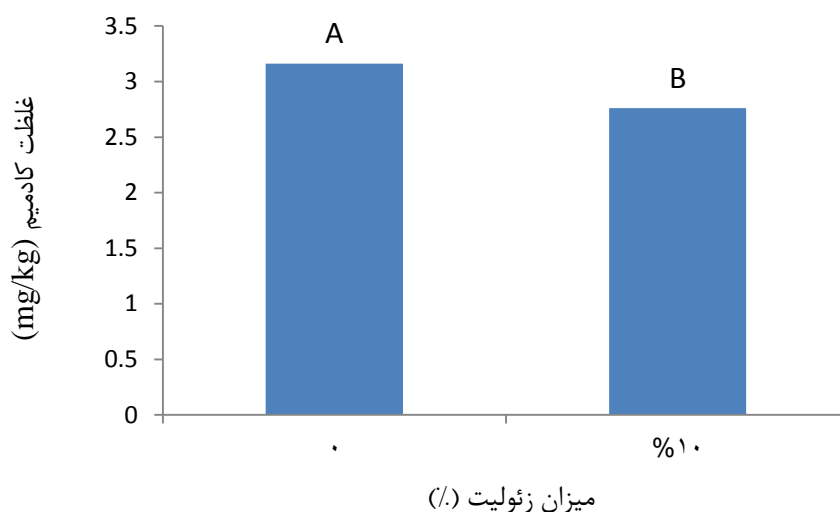
افزایش میزان هدایت الکتریکی نیز تأثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر میزان غلظت کادمیم در گیاه نشان داد. افزایش هدایت الکتریکی از میزان ۲ به مقدار ۴ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش غلظت کادمیم در اندام هوایی گردید. بین دو مقدار هدایت الکتریکی ۲ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر، از لحاظ میزان غلظت کادمیم اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده نشد (شکل ۵-۲).



شکل (۵-۲). تأثیر تغییرات EC بر غلظت کادمیم در اندام هوایی

۵-۱-۳- تأثیر زئولیت بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی

همانطور که نتایج تجزیه واریانس در جدول (۵-۱) نشان می‌دهد، استفاده از زئولیت (ده درصد وزنی) نیز تأثیر معنی‌داری بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی داشت و باعث کاهش معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) غلظت کادمیم در اندام هوایی، نسبت به نمونه‌های گیاهی که در خاک فاقد زئولیت رشد کرده بودند، گردید (شکل ۵-۳).



شکل (۳-۵). تاثیر زئولیت بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی

۵-۱-۴- اثر متقابل نوع الکترولیت و هدایت الکتریکی بر میزان غلظت کادمیم در اندام

هوایی

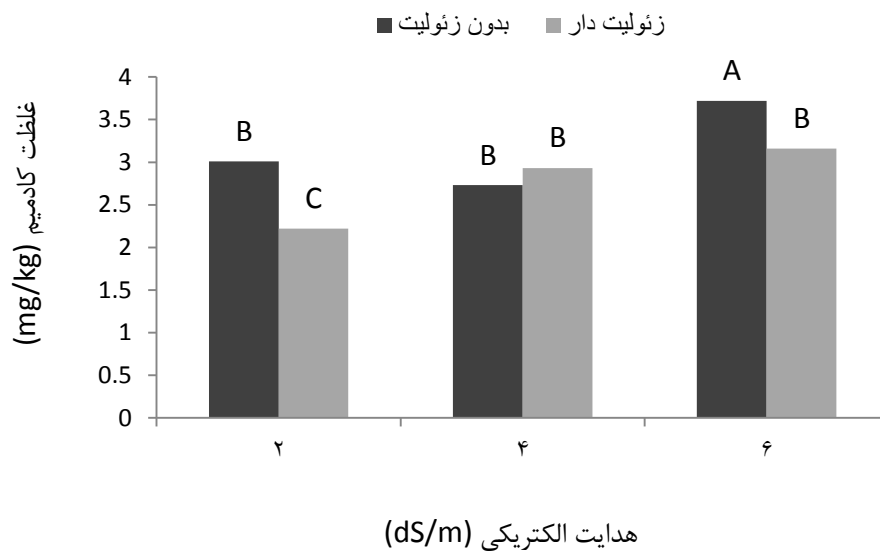
نتایج جدول تجزیه واریانس، مبین عدم وجود رابطه متقابل معنی دار از لحاظ میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی، بین دو عامل نوع الکترولیت و هدایت الکتریکی در سطح ۵ درصد می باشد.

۵-۱-۵- اثر متقابل نوع الکترولیت و زئولیت بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی

بین دو عامل نوع الکترولیت و هدایت الکتریکی نیز رابطه معنی داری از نظر غلظت کادمیم در اندام هوایی مشاهده نشد.

۵-۱-۶- اثر متقابل هدایت الکتریکی و زئولیت بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی

همانطور که نتایج تجزیه واریانس در جدول (۵-۱) نشان می دهد، دو عامل هدایت الکتریکی و زئولیت دارای رابطه متقابل معنی دار در سطح ۵ درصد می باشند.

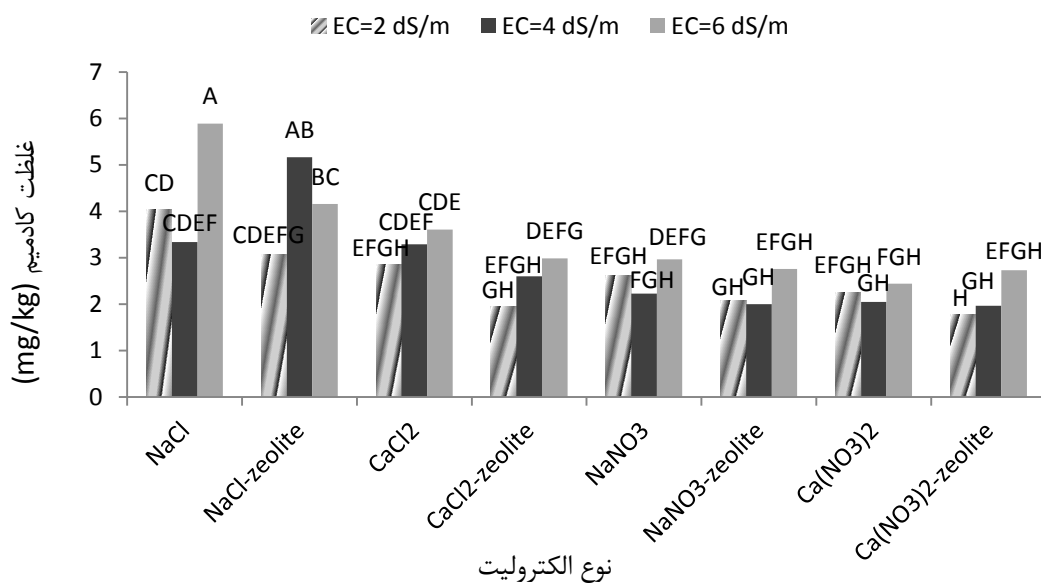


شکل (۴-۵). اثر متقابل هدایت الکتریکی و زئولیت بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی

با توجه به شکل (۴-۵) بیشترین میزان غلظت گیاهی کادمیم، در هدایت الکتریکی برابر ۶ ds/m، در گیاهان رشد یافته در خاک فاقد زئولیت و کمترین میزان غلظت کادمیم نیز در هدایت الکتریکی برابر ۲ دسی‌زیمنس بر متر و در خاک دارای زئولیت اتفاق افتاده است.

۵-۱-۷- اثرات متقابل نوع الکترولیت- هدایت الکتریکی- زئولیت بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی

بررسی جدول تجزیه واریانس (۱-۵) رابطه معنی‌دار سه عامل یاد شده را در سطح ۱ درصد آشکار می‌سازد. بیشترین میزان غلظت کادمیم را گیاهان آبیاری شده با شوری ناشی از نمک کلرید سدیم با هدایت الکتریکی ۶ دسی‌زیمنس بر متر و رشد یافته در خاک فاقد زئولیت از خود نشان دادند و کمترین غلظت کادمیم نیز مربوط به گیاهان تیمار شده با نمک نترات کلسیم با هدایت الکتریکی ۲ دسی‌زیمنس بر متر و در خاک دارای زئولیت بود. (شکل ۵-۵)



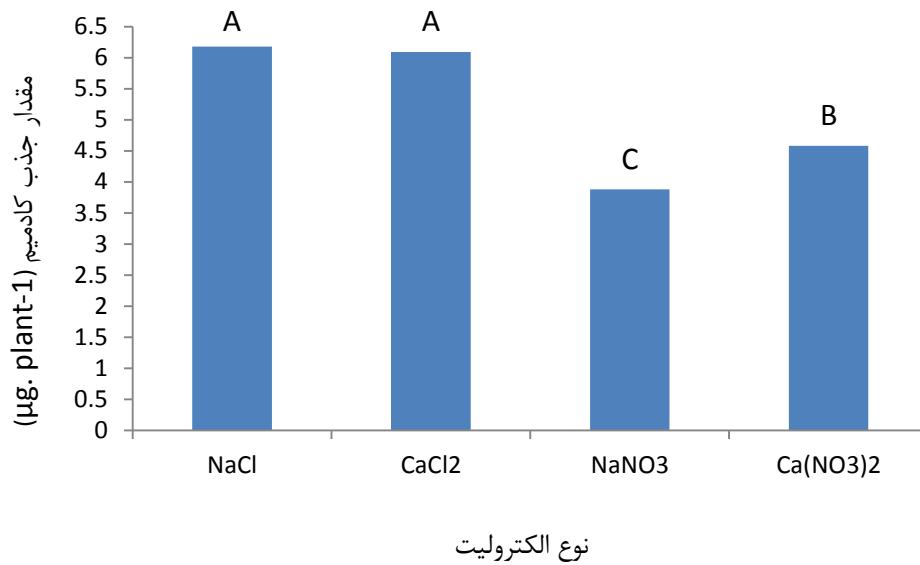
شکل (۵-۵). اثرات متقابل الکترولیت- هدایت الکتریکی- زئولیت بر میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی

۵-۲- نتایج بررسی تأثیر ترکیب الکترولیت و زئولیت بر میزان جذب کادمیم در

اندام هوایی

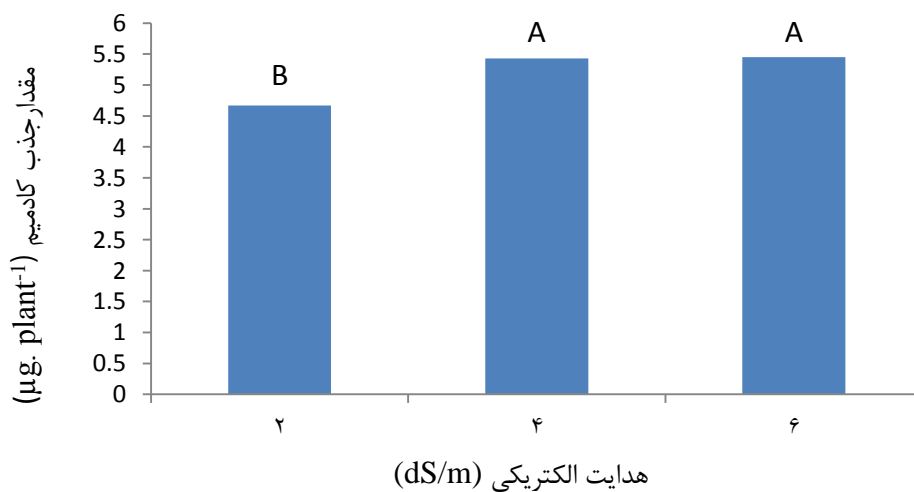
۵-۲-۱- تأثیر نوع الکترولیت بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی

انواع مختلف الکترولیت، تأثیر معنی‌داری بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی گیاه در سطح ۱ درصد، نشان داد. بیشترین میزان جذب کادمیم را نمونه‌های گیاهی آبیاری شده با شوری ناشی از نمک کلرید سدیم نشان دادند. بین دو نمک کلرید سدیم و کلرید کلسیم از نظر میزان جذب کادمیم اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده نشد. کمترین میزان جذب نیز مربوط به نمونه‌های گیاهی آبیاری شده با نمک نیترات سدیم بود. (شکل ۵-۶)



شکل (۵-۶). تأثیر نوع الکترولیت بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی

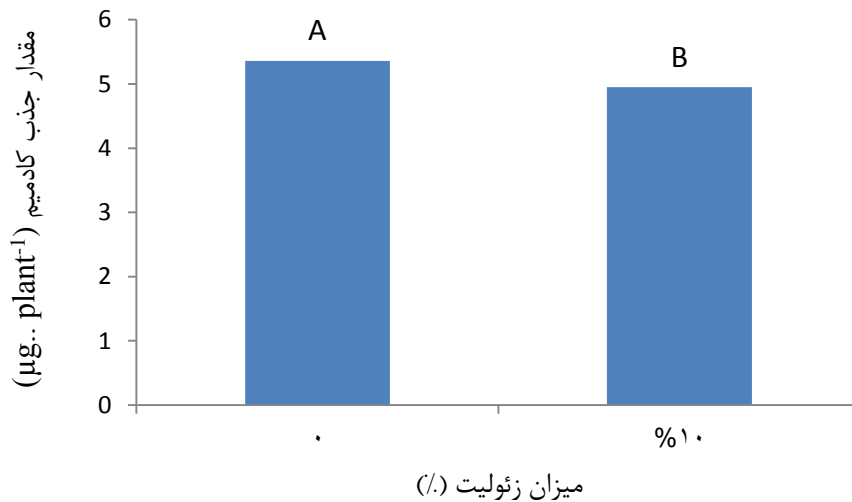
۵-۲-۲- تأثیر تغییرات هدایت الکتریکی بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی
تغییرات هدایت الکتریکی نیز بر میزان جذب گیاهی کادمیم، در سطح ۱ درصد تأثیر معنی داری نشان داد. بین دو میزان شوری ۴ و ۶ دسی زیمنس بر متر اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد مشاهده نشد. کمترین میزان جذب گیاهی کادمیم نیز مربوط به گیاهان آبیاری شده با میزان شوری ۲ دسی زیمنس بر متر بود (شکل ۵-۷).



شکل (۵-۷). تأثیر تغییرات EC بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی

۵-۲-۳- تأثیر زئولیت بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی

استفاده از زئولیت تأثیر معنی‌داری بر جذب گیاهی کادمیم از خاک در سطح ۵ درصد، نشان داد. بیشترین میزان جذب کادمیم در نمونه‌های گیاهی رشد یافته در خاک فاقد زئولیت، مشاهده شد (شکل ۵-۸).



شکل (۵-۸). تأثیر زئولیت بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی

۵-۲-۴- اثر متقابل نوع الکترولیت و هدایت الکتریکی بر میزان جذب کادمیم در اندام

هوایی

همانطور که نتایج تجزیه واریانس موجود در جدول (۵-۱) نشان می‌دهد بین دو عامل نوع الکترولیت و هدایت الکتریکی رابطه متقابل معنی‌داری از لحاظ مقدار جذب کادمیم وجود نداشت.

۵-۲-۵- اثر متقابل نوع الکترولیت و زئولیت بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی

مقایسه میانگین مقادیر مختلف جذب کادمیم در انواع مختلف الکترولیت و زئولیت، نشان‌دهنده عدم وجود رابطه معنی‌دار بین دو عامل یاد شده می‌باشد.

۵-۲-۶- اثر متقابل هدایت الکتریکی و زئولیت بر میزان جذب کادمیم در اندام هوایی
 نتایج تجزیه واریانس در جدول (۵-۱) نشان می‌دهد که رابطه متقابل معنی‌داری از لحاظ میزان جذب
 کادمیم در اندام هوایی بین دو عامل یاد شده، وجود ندارد.

۵-۲-۷- اثرات متقابل الکترولیت- هدایت الکتریکی- زئولیت بر میزان جذب کادمیم
 در اندام هوایی

بین سه عامل یاد شده نیز از لحاظ میزان جذب کادمیم رابطه معنی‌داری مشاهده نشد.

جدول (۵-۱). تجزیه واریانس مربوط به میزان غلظت و جذب کادمیم در اندام هوایی

میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع تغییرات
میزان جذب کادمیم	میزان غلظت کادمیم		
۱/۲۲۴ ns	۰/۰۲۵ ns	۲	تکرار
۲۳/۳۲۲ **	۱۴/۹۱۱ **	۳	الکترولیت
۴/۷۴۳ **	۴/۴۲۹ **	۲	هدایت الکتریکی
۳/۸۲۹*	۲/۷۱۸ **	۱	زئولیت
۰/۴۰۳ ns	۰/۴۸۳ ns	۶	الکترولیت × هدایت الکتریکی
۱/۳۳۲ ns	۰/۲۶۳ ns	۳	الکترولیت × زئولیت
۰/۲۳۶ ns	۱/۶۱۷ *	۲	هدایت الکتریکی × زئولیت
۰/۶۲۲ ns	۱/۳۳۴ **	۶	الکترولیت × هدایت الکتریکی × زئولیت
۰/۶۲۶۴	۰/۳۴۹	۴۶	خطا
۱۵/۲۵۸	۱۹/۹۳۸	-	ضریب تغییرات (CV)

ns، *، ** به ترتیب: بی‌معنی، معنی‌دار در سطح ۵ درصد، معنی‌دار در سطح ۱ درصد

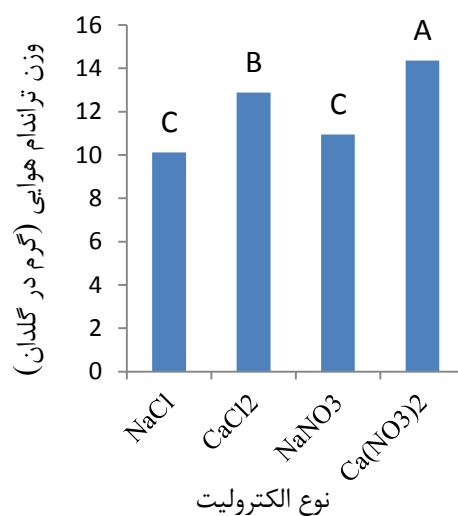
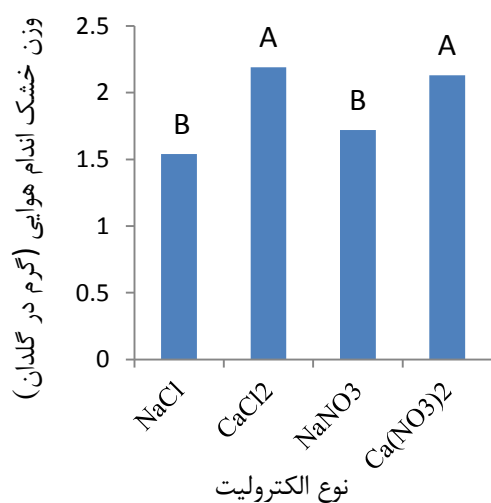
۵-۳- نتایج بررسی تأثیر ترکیب الکترولیت و زئولیت بر روی برخی خواص گیاه

علاوه بر بررسی تأثیر ترکیب الکترولیت و درجات مختلف شوری ناشی از آن و نیز کاربرد زئولیت در خاک بر روی غلظت و جذب کادمیم در اندام هوایی، تأثیر عوامل فوق بر برخی خصوصیات کیفی و کمی گیاه اسفناج، از قبیل وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، محتوی نسبی آب برگ گیاه و نیز میزان کلروفیل کل برگ بررسی شد که در ادامه به بیان نتایج به دست آمده، خواهیم پرداخت.

۵-۳-۱- وزن تر و خشک اندام هوایی

۵-۳-۱-۱- تأثیر نوع الکترولیت بر وزن تر و خشک اندام هوایی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس در جدول (۵-۲)، انواع مختلف شوری آب آبیاری، تأثیر معنی داری بر وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه در سطح ۱ درصد نشان داد. بیشترین میزان وزن تر اندام هوایی گیاه، مربوط به گیاهان تیمار شده با شوری ناشی از نیترات کلسیم بود (شکل ۵-۹). در مورد وزن خشک اندام هوایی بین دو نمک کلرید کلسیم و نیترات کلسیم، اختلاف معنی داری وجود نداشت (شکل ۵-۱۰).

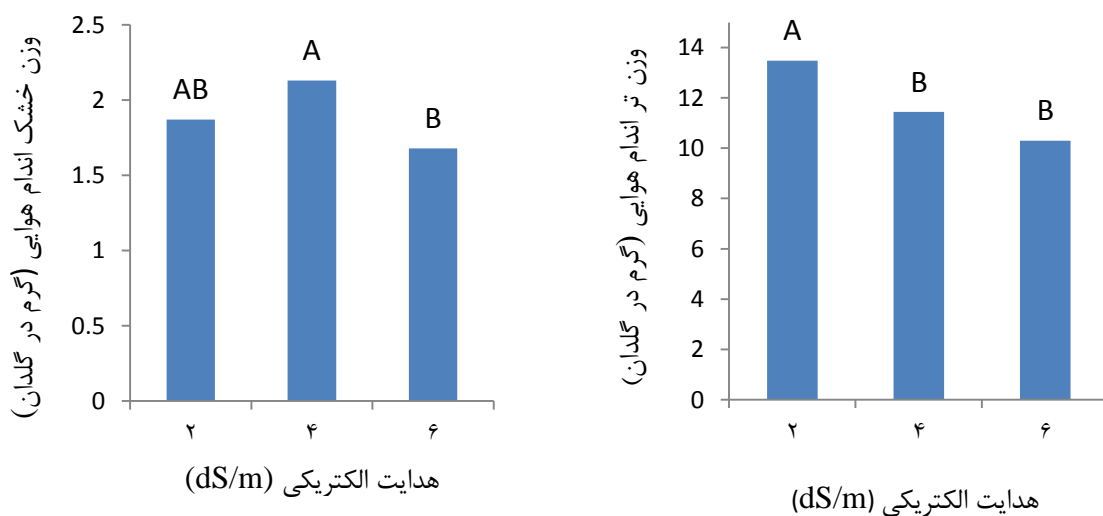


شکل (۵-۹). تأثیر نوع الکترولیت بر وزن تر اندام هوایی گیاه. شکل (۵-۱۰). تأثیر نوع الکترولیت بر وزن خشک اندام هوایی گیاه.

کمترین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی را گیاهان آبیاری شده با نمک کلرید سدیم و نیترات سدیم نشان دادند. بین این دو نمک اختلاف معنی‌داری از لحاظ وزن تر و خشک اندام هوایی، در سطح ۵ درصد مشاهده نشد.

۵-۳-۱-۲- تأثیر تغییرات هدایت الکتریکی بر وزن تر و خشک اندام هوایی

همان‌طور که در شکل‌های (۵-۱۱) و (۵-۱۲) نشان داده شده است؛ تأثیر افزایش میزان هدایت الکتریکی بر وزن تر و خشک اندام هوایی، به ترتیب در سطوح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بود. بیشترین میزان وزن تر اندام هوایی در هدایت الکتریکی برابر ۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. اختلاف معنی‌داری بین دو میزان هدایت الکتریکی ۴ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر از لحاظ وزن تر اندام هوایی در سطح ۵ درصد وجود نداشت.

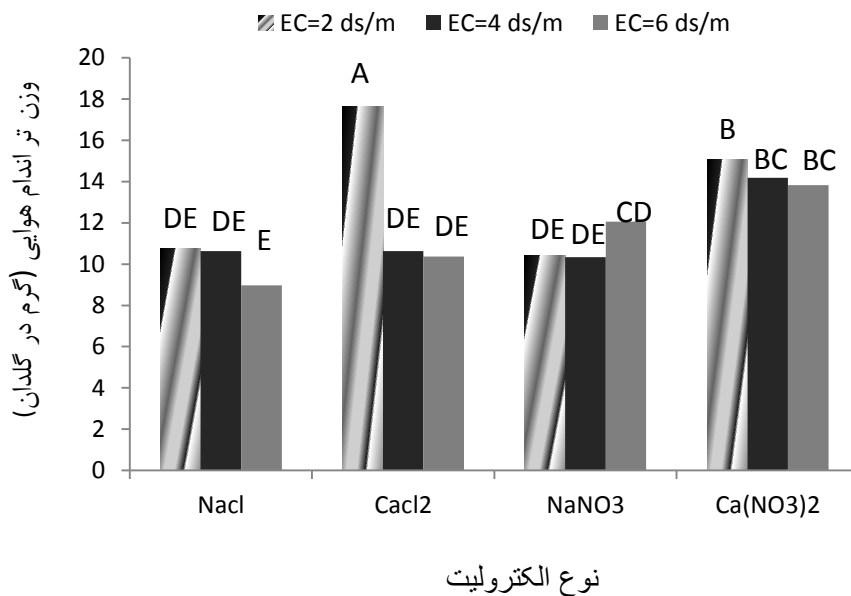


شکل (۵-۱۱). تأثیر تغییرات EC بر وزن تر اندام هوایی شکل (۵-۱۲). تأثیر تغییرات EC بر وزن خشک اندام هوایی

۵-۳-۱-۳- تأثیر زئولیت بر وزن تر و خشک اندام هوایی

استفاده از زئولیت در سطح ده درصد، اگرچه باعث افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی گردید؛ لیکن این تأثیر از لحاظ آماری معنی‌دار نبود.

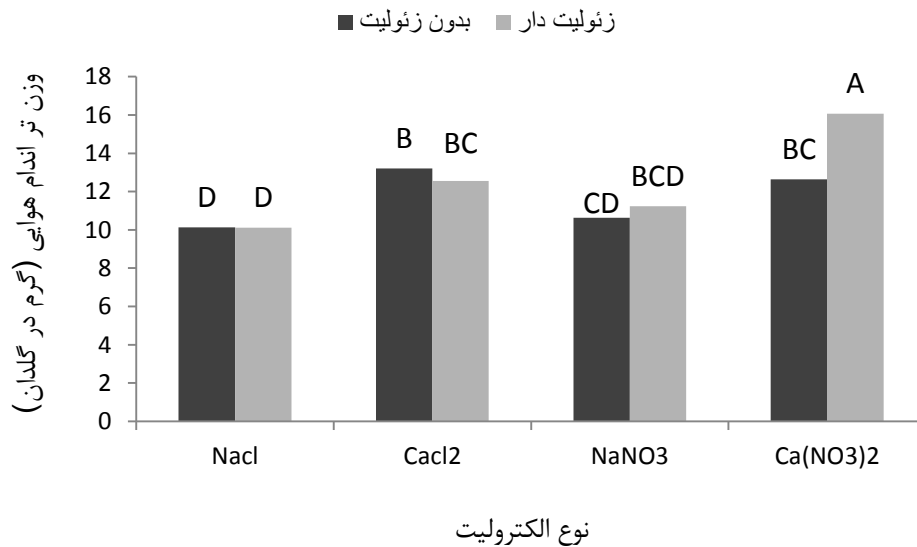
۵-۳-۱-۴- اثر متقابل نوع الکترولیت و هدایت الکتریکی بر وزن تر و خشک اندام هوایی بین دو عامل نوع الکترولیت و هدایت الکتریکی در سطح ۱ درصد تأثیر معنی‌داری از لحاظ وزن تر اندام هوایی وجود داشت، همانطور که در شکل (۵-۱۳) مشخص شده است، بیشترین میزان وزن تر اندام هوایی مربوط به شوری ناشی از نمک کلرید کلسیم با هدایت الکتریکی برابر ۲ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین میزان نیز در گیاهان آبیاری شده با شوری ناشی از نمک کلرید سدیم با میزان شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شده است. بین دو عامل یاد شده از لحاظ وزن خشک اندام هوایی رابطه معنی‌داری وجود نداشت.



شکل (۵-۱۳). اثر متقابل نوع الکترولیت و هدایت الکتریکی بر وزن تر اندام هوایی

۵-۳-۱-۵- اثر متقابل نوع الکترولیت و زئولیت بر وزن تر و خشک اندام هوایی از لحاظ وزن تر اندام هوایی اثر متقابل نوع الکترولیت و زئولیت، در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود، اما بین این دو عامل، رابطه معنی‌داری از لحاظ وزن خشک اندام هوایی وجود نداشت. با توجه به شکل (۵-۱۴) بیشترین میزان وزن تر اندام هوایی، مربوط به شوری ناشی از نیترات کلسیم است که در

خاک دارای زئولیت اتفاق افتاده است. کمترین میزان وزن تر اندام هوایی را نمونه‌های گیاهی آبیاری شده با نمک کلرید سدیم از خود نشان دادند.



شکل (۵-۱۴). اثر متقابل نوع الکتروولیت و زئولیت بر وزن تر اندام هوایی

۵-۳-۱-۶- اثر متقابل هدایت الکتریکی و زئولیت بر وزن تر و خشک اندام هوایی

مقایسه میانگین‌های وزن تر و خشک اندام هوایی در سطوح مختلف شوری و زئولیت، رابطه معنی‌داری بین این دو عامل، نشان نداد.

۵-۳-۱-۷- اثرات متقابل الکتروولیت- هدایت الکتریکی- زئولیت بر وزن تر و خشک اندام

هوایی

نتایج به دست آمده نشان‌دهنده عدم وجود رابطه معنی‌دار بین سه عامل یادشده، از لحاظ وزن تر و خشک اندام هوایی می‌باشد.

جدول (۵-۲). تجزیه واریانس مربوط به وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه

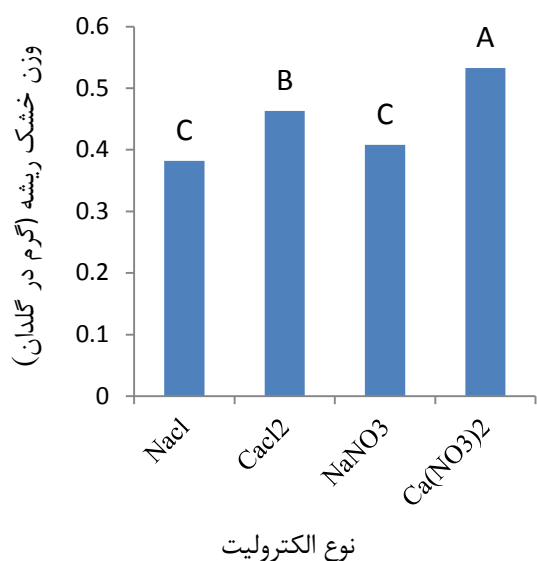
میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع تغییرات
وزن خشک اندام هوایی	وزن تر اندام هوایی		
۰/۰۳۴ ns	۲/۲۷۳ ns	۲	تکرار
۱/۸۰۶ **	۶۵/۷۵۸ **	۳	الکترولیت
۱/۲۳۲ *	۳۵/۴۶۵ **	۲	هدایت الکتریکی
۰/۱۰۰ ns	۱۲/۵۵۸ ns	۱	زئولیت
۰/۴۶۴ ns	۲۷/۰۸۳ **	۶	الکترولیت × هدایت الکتریکی
۰/۰۴۵ ns	۱۴/۵۱۲ *	۳	الکترولیت × زئولیت
۰/۷۳۸ ns	۳/۸۵۳ ns	۲	هدایت الکتریکی × زئولیت
۰/۲۷۹ ns	۱/۹۰۳ ns	۶	الکترولیت × هدایت الکتریکی × زئولیت
۰/۲۶	۴/۸۲۱	۴۶	خطا
۲۶/۹۲	۱۸/۱۹	-	ضریب تغییرات (CV)

ns، *، ** به ترتیب: بی معنی، معنی دار در سطح ۵ درصد، معنی دار در سطح ۱ درصد

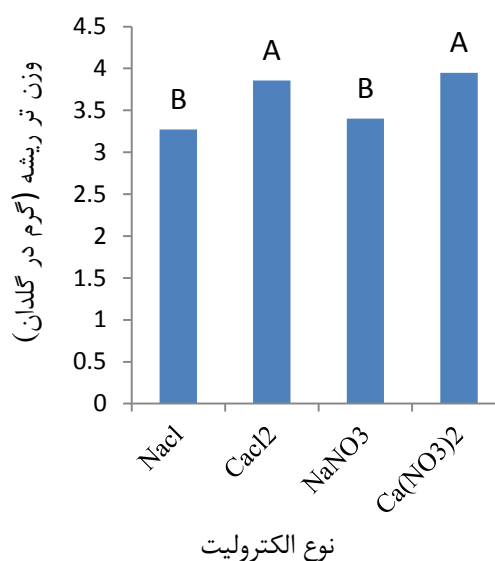
۵-۳-۲- وزن تر و خشک ریشه

۵-۳-۲-۱- تأثیر نوع الکترولیت بر وزن تر و خشک ریشه

نتایج تجزیه واریانس در جدول (۵-۳) نشان دهنده اثر معنی دار عامل نوع الکترولیت بر وزن تر و خشک ریشه در سطح ۱ درصد است.



شکل (۵-۱۶). تأثیر نوع الکترولیت بر وزن خشک ریشه

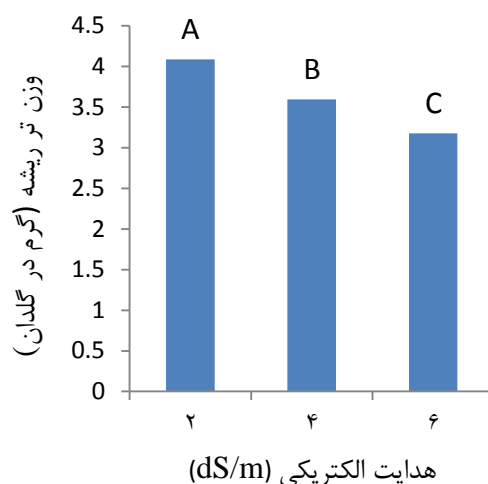
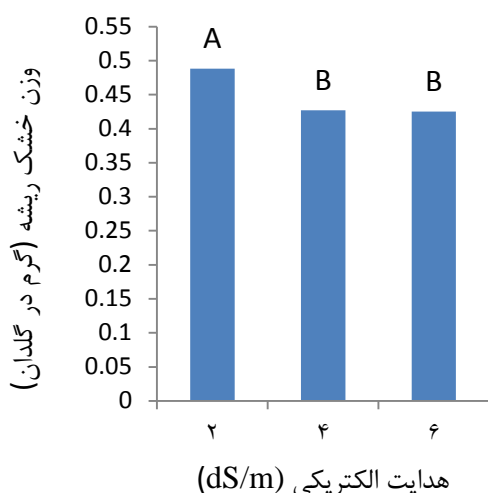


شکل (۵-۱۵). تأثیر نوع الکترولیت بر وزن تر ریشه

از لحاظ وزن تر و خشک ریشه، بیشترین میزان مربوط به گیاهان آبیاری شده با نمک نیترات کلسیم بود. بین دو نمک نیترات کلسیم و کلرید کلسیم از لحاظ وزن تر ریشه، اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد، مشاهده نشد. کمترین میزان وزن تر و خشک ریشه، مربوط به شوری ناشی از کلرید سدیم بود؛ اگرچه اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد بین دو نمک کلرید سدیم و نیترات سدیم، از لحاظ وزن تر و خشک ریشه مشاهده نشد. شکل (۵-۱۵) و (۵-۱۶).

۵-۳-۲- تأثیر تغییرات هدایت الکتریکی بر وزن تر و خشک ریشه

با توجه به نتایج جدول (۵-۳) مربوط به تجزیه واریانس وزن تر و خشک ریشه، افزایش میزان شوری نیز باعث کاهش معنی دار وزن تر و خشک ریشه در سطح ۱ درصد گردید. بیشترین میزان وزن تر و خشک ریشه در هدایت الکتریکی برابر ۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. در مورد وزن خشک ریشه اختلاف معنی داری بین دو شوری ۴ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر در سطح ۵ درصد مشاهده نشد شکل (۵-۱۷) و (۵-۱۸).



شکل (۵-۱۸). تأثیر تغییرات EC بر وزن خشک ریشه

شکل (۵-۱۷). تأثیر تغییرات EC بر وزن تر ریشه

۵-۳-۲-۳- تأثیر زئولیت بر وزن تر و خشک ریشه

همانطور که نتایج تجزیه واریانس در جدول (۵-۳) نشان می‌دهد؛ استفاده از زئولیت در سطح ده درصد وزنی، اگرچه باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه گردید، ولی از لحاظ آماری، این تأثیر معنی‌دار نبود.

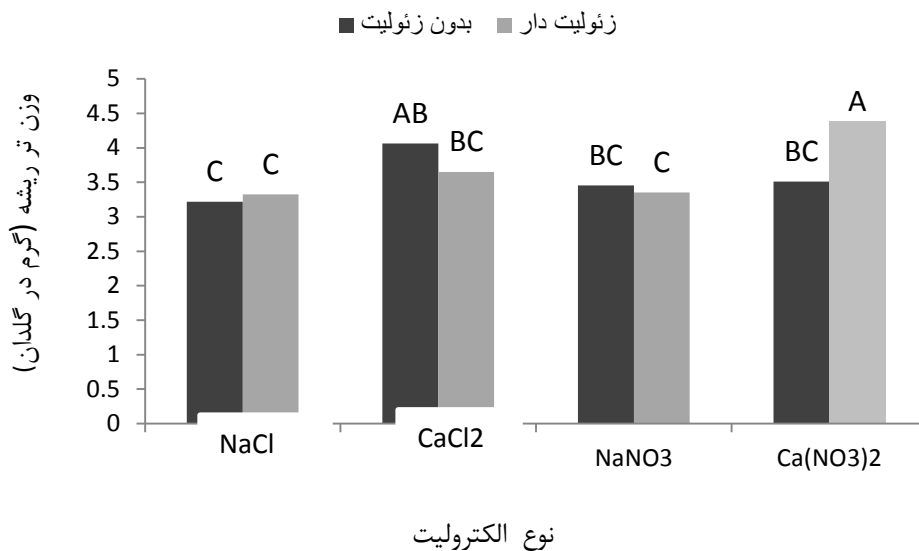
۵-۳-۲-۴- اثر متقابل نوع الکتروولیت و هدایت الکتریکی بر وزن تر و خشک ریشه

براساس نتایج تجزیه واریانس در جدول (۵-۳) دو عامل یاد شده رابطه متقابل معنی‌داری از نظر وزن تر و خشک ریشه نشان ندادند.

۵-۳-۲-۵- اثر متقابل نوع الکتروولیت و زئولیت بر وزن تر و خشک ریشه

مقایسه میانگین وزن تر و خشک ریشه بر اساس انواع مختلف الکتروولیت و زئولیت، اثر متقابل نوع الکتروولیت و زئولیت را بر وزن تر ریشه در سطح ۵ درصد معنی‌دار نشان داد، اما این رابطه از لحاظ وزن خشک ریشه، معنی‌دار نبود. همانطور که شکل (۵-۱۹) نشان می‌دهد، بیشترین میزان وزن تر

ریشه در شوری ناشی از نیترات کلسیم و در گیاهانی که در خاک دارای زئولیت رشد کرده بودند، اتفاق افتاده است. کمترین میزان وزن تر ریشه نیز مربوط به گیاهان آبیاری شده با آب آبیاری حاوی نمک کلرید سدیم و نیترات سدیم، مشاهده شد.



شکل (۵-۱۹). اثر متقابل نوع الکترولیت و زئولیت بر وزن تر ریشه

۵-۳-۲-۶- اثر متقابل هدایت الکتریکی و زئولیت بر وزن تر و خشک ریشه

نتایج تجزیه واریانس در جدول (۵-۳)، مبین عدم وجود اثر متقابل معنی‌دار بین دو عامل فوق می‌باشد.

۵-۳-۲-۷- اثرات متقابل نوع الکترولیت- هدایت الکتریکی- زئولیت بر وزن تر و خشک

ریشه

بر اساس نتایج موجود در جدول (۵-۳) مربوط به تجزیه واریانس وزن تر و خشک ریشه، بین سه عامل نوع الکترولیت، هدایت الکتریکی و زئولیت از نظر آماری رابطه معنی‌داری از لحاظ وزن تر و خشک ریشه وجود نداشت.

جدول (۳-۵). تجزیه واریانس مربوط به وزن تر و خشک ریشه گیاه

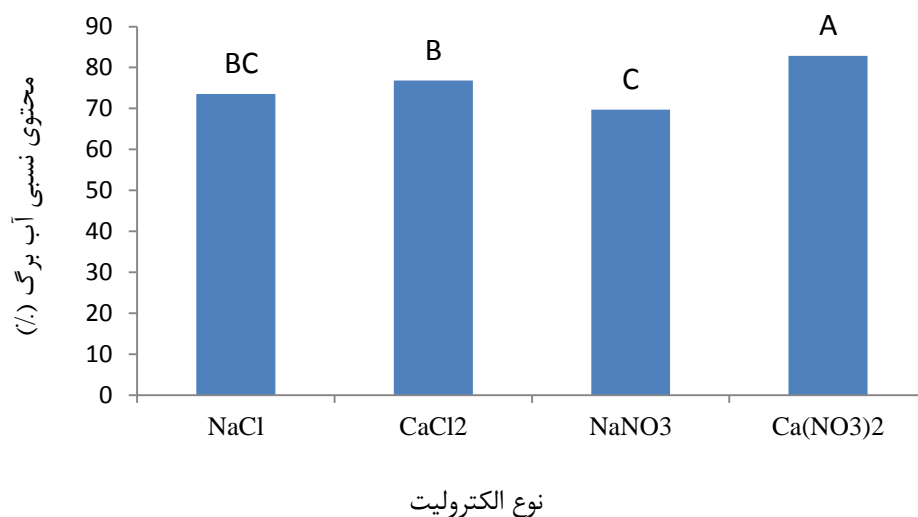
میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع تغییرات
وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه		
۰/۰۳۷۱ **	۰/۵۸۷ ns	۲	تکرار
۰/۰۸۰ **	۲/۰۰ **	۳	الکترولیت
۰/۰۳۲ **	۴/۹۸۹ **	۲	هدایت الکتریکی
۰/۰۰۵۰ ns	۰/۲۴۷ ns	۱	ژئولیت
۰/۰۰۴۳ ns	۰/۹۷۷ ns	۶	الکترولیت × هدایت الکتریکی
۰/۰۰۱۶ ns	۱/۳۶۸ *	۳	الکترولیت × ژئولیت
۰/۰۰۶۱ ns	۰/۰۳۸ ns	۲	هدایت الکتریکی × ژئولیت
۰/۰۰۱۲ ns	۰/۱۰۴ ns	۶	الکترولیت × هدایت الکتریکی × ژئولیت
۰/۰۰۲۹	۰/۴۴۲	۴۶	خطا
۱۲/۱۶	۱۸/۳۵	-	ضریب تغییرات (CV)

ns، *، ** به ترتیب: بی معنی، معنی دار در سطح ۵ درصد، معنی دار در سطح ۱ درصد

۳-۳-۵-۳- محتوی نسبی آب بافت برگ

۳-۳-۵-۱- تأثیر نوع الکترولیت بر محتوی نسبی آب بافت برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس در جدول (۴-۵)، نوع الکترولیت تأثیر معنی داری در سطح ۱ درصد بر میزان نسبی آب بافت برگ داشت. بیشترین میزان آب بافت برگ، در شوری ناشی از نمک نیترات کلسیم مشاهده شد. کمترین میزان نسبی آب برگ، مربوط به گیاهان آبیاری شده با شوری ناشی از نمک نیترات سدیم بود. نمک کلرید سدیم اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد با دو نمک کلرید کلسیم و نیترات سدیم نشان نداد.

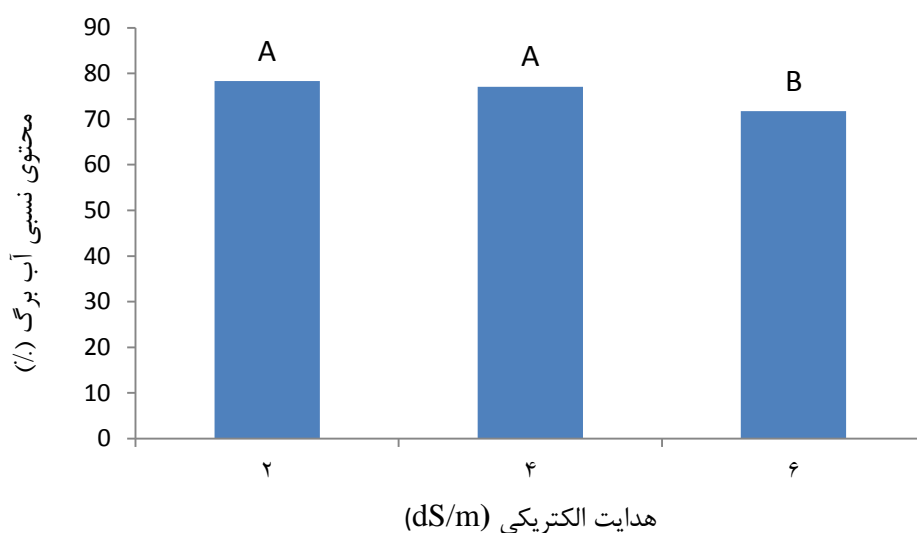


شكل (٥-٢٠). تأثير نوع الكتروليت بر میزان نسبي آب بافت برگ

٥-٣-٣-٢- تأثير تغييرات هدايت الكتريكي بر محتوى نسبي آب بافت برگ

هدايت الكتريكي نیز تأثير معنی داری بر محتوى نسبي آب برگ گیاه در سطح ٥ درصد نشان داد. بیشترین میزان محتوى نسبي آب برگ، در هدايت الكتريكي برابر ٢ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد

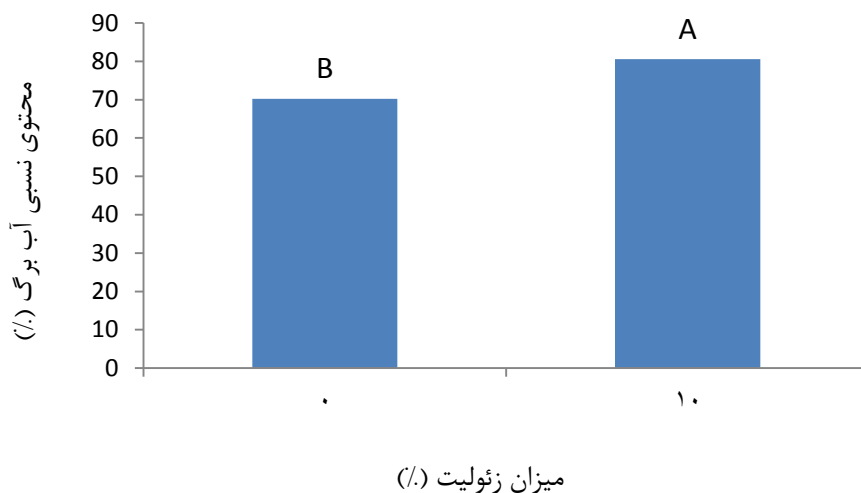
(شكل ٥-٢١).



شكل (٥-٢١). تأثير تغييرات EC بر میزان نسبي آب بافت برگ

۵-۳-۳-۳- تأثیر زئولیت بر محتوی نسبی آب بافت برگ

کاربرد زئولیت (ده درصد) تأثیر معنی‌داری بر محتوی نسبی آب بافت برگ گیاه، داشت و باعث افزایش میزان نسبی آب برگ گیاه در سطح ۱ درصد گردید شکل (۵-۲۲).



شکل (۵-۲۲). تأثیر زئولیت بر محتوی نسبی آب بافت برگ

۵-۳-۳-۴- اثر متقابل نوع الکتروولیت و هدایت الکتریکی بر محتوی نسبی آب بافت برگ
بر اساس نتایج تجزیه واریانس در جدول (۵-۴)، نوع الکتروولیت و هدایت الکتریکی اثر متقابل معنی‌داری بر محتوی نسبی آب برگ گیاه، نداشتند.

۵-۳-۳-۵- اثر متقابل نوع الکتروولیت و زئولیت بر محتوی نسبی آب بافت برگ
مقایسه میانگین‌های مختلف میزان نسبی آب برگ گیاه، نشان داد، دو عامل نوع الکتروولیت و زئولیت فاقد اثر متقابل معنی‌دار از لحاظ محتوی نسبی آب برگ گیاه، می‌باشند.

۵-۳-۳-۶- اثر متقابل هدایت الکتریکی و زئولیت بر محتوی نسبی آب بافت برگ

نتایج جدول تجزیه واریانس (۴-۵)، نشان دهنده عدم وجود اثر متقابل معنی‌دار، بین دو عامل هدایت الکتریکی و زئولیت می‌باشد.

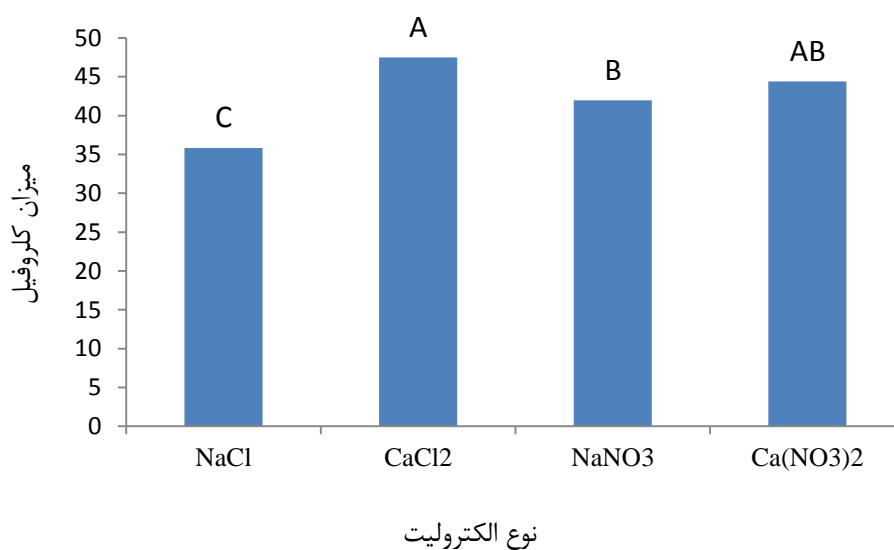
۵-۳-۳-۷- اثرات متقابل الکترولیت - هدایت الکتریکی - زئولیت بر محتوی نسبی آب بافت برگ

بر اساس نتایج به دست آمده، بین سه عامل نوع الکترولیت، هدایت الکتریکی و زئولیت اثر متقابل معنی‌داری از لحاظ محتوی نسبی آب برگ، وجود نداشت.

۵-۳-۴- میزان کلروفیل برگ

۵-۳-۴-۱- تأثیر نوع الکترولیت بر میزان کلروفیل برگ

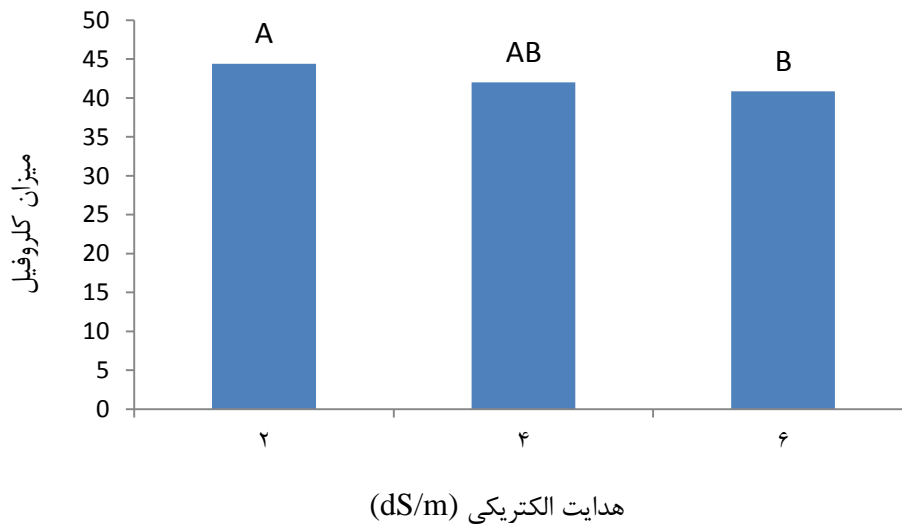
انواع مختلف شوری آب آبیاری، تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل برگ در سطح ۱ درصد نشان داد. بیشترین و کمترین میزان کلروفیل برگ به ترتیب در شوری ناشی از نمک کلرید کلسیم و کلرید سدیم مشاهده شد



شکل (۵-۲۳). تأثیر نوع الکترولیت بر میزان کلروفیل برگ

۵-۳-۴-۲- تأثیر تغییرات هدایت الکتریکی بر میزان کلروفیل برگ

افزایش میزان هدایت الکتریکی، تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل برگ، در سطح ۵ درصد نشان داد. بیشترین میزان کلروفیل در هدایت الکتریکی برابر ۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد.



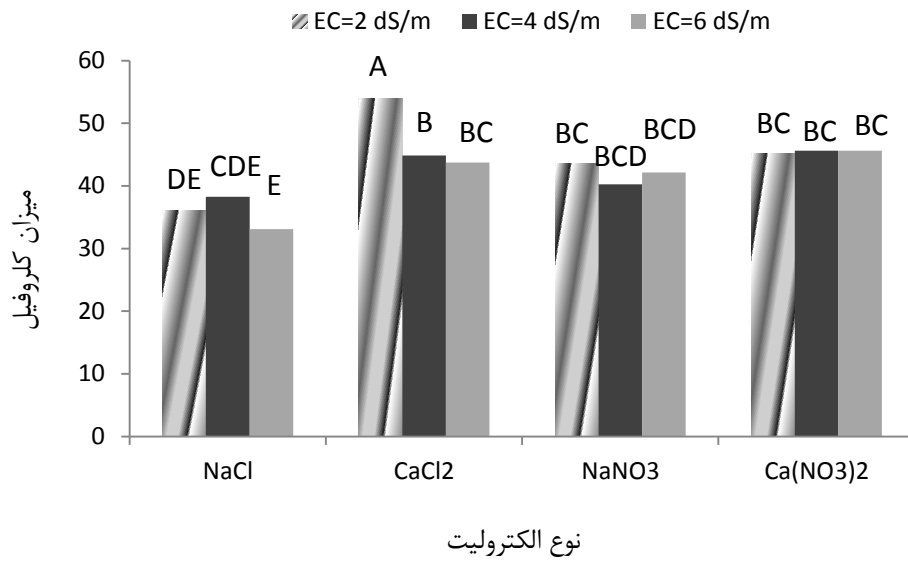
شکل (۵-۲۴). تأثیر تغییرات EC بر میزان کلروفیل برگ

۵-۳-۴-۳- تأثیر زئولیت بر میزان کلروفیل برگ

استفاده از زئولیت در سطح ده درصد وزنی خاک، تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل برگ نشان نداد.

۵-۳-۴-۴- اثر متقابل نوع الکتروولیت و هدایت الکتریکی بر میزان کلروفیل برگ

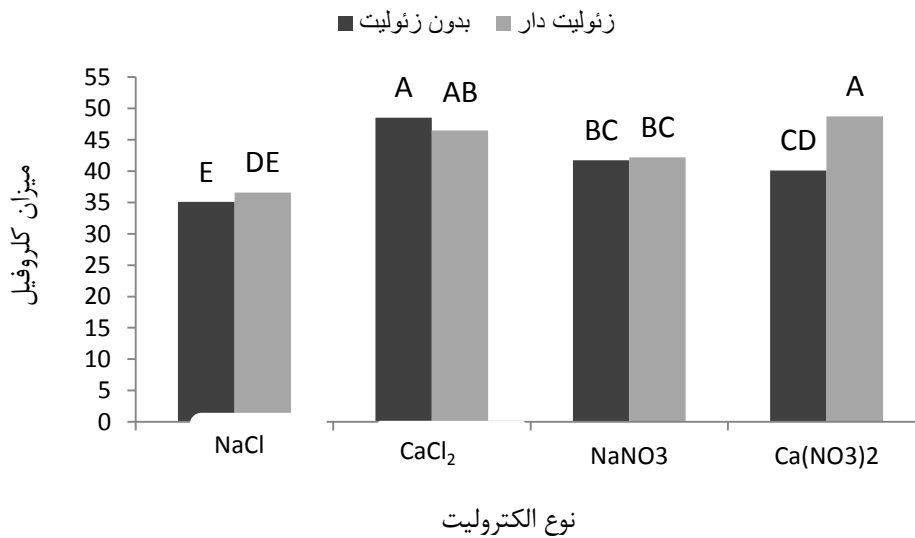
بر اساس نتایج به دست آمده، نوع الکتروولیت و هدایت الکتریکی رابطه معنی‌داری از لحاظ میزان کلروفیل برگ در سطح ۵ درصد، نشان دادند. بیشترین میزان کلروفیل برگ در شوری ناشی از کلرید کلسیم و در هدایت الکتریکی ۲ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین میزان کلروفیل نیز در شوری ناشی از نمک کلرید سدیم و در هدایت الکتریکی برابر ۶ دسی‌زیمنس بر متر، مشاهده شد.



شکل (۵-۲۵). اثر متقابل نوع الکترولیت و هدایت الکتریکی بر میزان کلروفیل برگ

۵-۳-۴-۵- اثر متقابل نوع الکترولیت و زئولیت بر میزان کلروفیل برگ

نتایج تجزیه واریانس در جدول (۴-۵) تجزیه واریانس، بیانگر وجود رابطه متقابل معنی دار (در سطح ۵ درصد) بین دو عامل الکترولیت و زئولیت بر میزان کلروفیل برگ است.



شکل (۵-۲۶). اثر متقابل نوع الکترولیت و زئولیت بر میزان کلروفیل برگ

۵-۳-۴-۶- اثر متقابل هدایت الکتریکی و زئولیت بر میزان کلروفیل برگ

بر اساس نتایج به دست آمده، دو عامل هدایت الکتریکی و زئولیت، فاقد اثر متقابل معنی‌دار بر میزان کلروفیل برگ می‌باشند.

۵-۳-۴-۷- اثرات متقابل الکترولیت- هدایت الکتریکی- زئولیت بر میزان کلروفیل برگ:

نتایج تجزیه واریانس جدول (۴-۵) نشان می‌دهد؛ سه عامل یاد شده، رابطه متقابل معنی‌داری از لحاظ میزان کلروفیل برگ ندارند

جدول (۴-۵). تجزیه واریانس مربوط به میزان آب بافت برگ و کلروفیل

میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع تغییرات
میزان کلروفیل	میزان آب بافت برگ		
۹/۱۷ ns	۲/۶۴۲ ns	۲	تکرار
۴۴۰/۰۱ **	۵۵۶/ ۵۶۵ **	۳	الکترولیت
۷۸/۴۹ *	۲۹۲/۸۲۳ *	۲	هدایت الکتریکی
۸۲/۳۴ ns	۱۹۰۴/۲۶۷ **	۱	زئولیت
۵۴/۱۴ *	۱۰۴/۵۸۴ ns	۶	الکترولیت × هدایت الکتریکی
۹۴/۱۴ *	۱۵/۰۹ ns	۳	الکترولیت × زئولیت
۲۷/۹۳ ns	۳/۷۶ ns	۲	هدایت الکتریکی × زئولیت
۳۵/۳۴ ns	۵۹/۷۰۴ ns	۶	الکترولیت × هدایت الکتریکی × زئولیت
۲۳/۰۲۶	۶۷/۴۲۵	۴۶	خطا
۱۱/۳۱۱	۱۰/۸۴۶	-	ضریب تغییرات (CV)

ns، *، ** به ترتیب: بی‌معنی، معنی‌دار در سطح ۵ درصد، معنی‌دار در سطح ۱ درصد

نتایج حاصل از بررسی تأثیر ترکیب الکترولیت بر میزان غلظت و جذب کادمیم و نیز نتایج تجزیه واریانس در جدول (۵-۱) مربوط به میزان غلظت و جذب کادمیم در اندام هوایی گیاه نشان می‌دهد؛ که نوع الکترولیت مورد استفاده به عنوان آب آبیاری نقش زیادی در افزایش جذب فلزات سنگین توسط گیاهان در خاک‌های آلوده به این فلزات، دارد. دلیل افزایش غلظت و جذب کادمیم توسط گیاه می‌تواند ناشی از افزایش حلالیت کادمیم بر اثر شوری به علت تشکیل کمپلکس‌های کادمیم در محیط شور، باشد. همچنین، غلظت بیشتر کادمیم در نمونه‌های آبیاری شده با کلرید سدیم و سپس کلرید کلسیم، نسبت به نمک‌های دارای آنیون نیترات، تأثیر بسیار زیاد یون کلرید را در افزایش پویایی و حلالیت کادمیم در خاک نشان می‌دهد. افزایش جزئی در غلظت کادمیم موجود در نمونه‌های گیاهی آبیاری شده با محلول‌های الکترولیت سدیم‌دار نسبت به گیاهان آبیاری شده با ترکیبات حاوی کلسیم، می‌تواند نشان‌دهنده رقابت کلسیم و کادمیم برای جذب بیشتر توسط گیاه باشد. بیشترین میزان غلظت و جذب کادمیم در شوری ناشی از کلرید سدیم مشاهده شد؛ که احتمالاً به علت جایگزینی سدیم به جای کادمیم در محل‌های تبادل‌ی خاک می‌باشد. همچنین با افزایش میزان غلظت الکترولیت‌های مورد استفاده، میزان غلظت و جذب کادمیم در گیاه افزایش یافت. نتایج به دست آمده از این پژوهش با نتایج تحقیقات برخی محققین، همسویی داشت. در مطالعات نورول و همکاران (۲۰۰۰) افزایش جذب کادمیم در شرایط شور در بسیاری از غلات گزارش شد. در پژوهش خوش‌گفتارمنش و همکاران (۱۳۸۲) نیز شوری ناشی از کلرید سدیم و نیترات سدیم بر جذب کادمیم آزمایش شد، که نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار شوری ناشی از کلرید سدیم بر غلظت کادمیم محلول خاک و اندام هوایی بود، در حالی که شوری نیترات سدیم تأثیری بر غلظت کادمیم محلول خاک و گیاه نداشت. افزایش غلظت کلرید سدیم نیز باعث افزایش معنی‌دار غلظت کادمیم در اندام هوایی گیاه متناسب با سطوح شوری کلرید سدیم گردید. در پژوهش انجام شده توسط این محققین نیز بر نقش یون کلرید در افزایش حلالیت و نهایتاً پویاسازی و تحرک کادمیم در محلول خاک، تصریح شد.

همچنین در آزمایش ایوبی و همکاران (۱۳۸۸) نمک کلرید سدیم برای بررسی اثر شوری، مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این پژوهش نیز افزایش فرم کادمیم قابل استخراج با EDTA را با افزایش شوری، نشان داد. بر اساس مطالعات تمینگهاف و همکاران (۱۹۹۵) کمپلکس‌های کلر و کادمیم به مقدار بسیار کمی بر روی ذرات خاک و رس‌ها جذب می‌شوند. بنابراین کمپلکس‌های مذکور در خاک باقی مانده و قابلیت جذب این عنصر توسط گیاه افزایش می‌یابد. با افزایش میزان غلظت الکترولیت میزان این کمپلکس‌ها نیز افزایش می‌یابد.

همچنین، نتایج تجزیه واریانس موجود در جدول (۵-۱) کاهش معنی‌دار جذب کادمیم را در گیاهانی که در خاک زئولیت‌دار (در سطح ۱۰ درصد وزنی) رشد کرده بودند، نشان داد. این نتیجه نیز توانایی زئولیت را در تله‌اندازی فلزات سنگین به‌خوبی نشان می‌دهد که علت آن، ویژگی ساختاری و ترکیب شیمیایی زئولیت‌هاست؛ که منجر به ایجاد پدیده جذب گزینشی و تبادل کاتیونی بدون تغییر ساختمان آن می‌شود. چنین نتیجه‌ای را عثمان و همکاران (۲۰۰۵) نیز در گندم مشاهده کرده و عنوان کردند که افزودن زئولیت غلظت فلزات سنگین را در محلول خاک ۱۳ تا ۵۷ درصد کاهش داد. همچنین آبیاری با آب شور افزایش معنی‌داری در غلظت فلزات سنگین در قالب گونه‌های MCl^+ و MCl_2^0 در محلول خاک نشان داد. نتایج مطالعات طاهر شمسی و همکاران (۱۳۹۰) نیز تأثیر زئولیت را در کاهش جذب فلزات سنگین در خاک آلوده، نشان داد. روحانی و همکاران (۱۳۹۰) تأثیر زئولیت (سه سطح صفر، ۱ و ۲ تن در هکتار) بر غلظت کادمیم در گیاه کاهو را بررسی کردند. با افزایش مصرف زئولیت، از غلظت کادمیم در گیاه کاهو کاسته شد و بیشترین کاهش در سطح ۲ تن در هکتار بود.

از بررسی جداول تجزیه واریانس داده‌ها می‌توان دریافت نوع الکترولیت و درجات مختلف شوری ناشی از آن، تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و وزن خشک اندام هوایی و ریشه، میزان نسبی آب برگ و میزان کلروفیل دارد. کاهش محتوی نسبی آب برگ (RWC) از دست رفتن آماس را نشان می‌دهد که در نتیجه قابلیت دسترسی به آب برای فرایندهای توسعه سلول را محدود می‌کند (ده‌شیری و همکاران،

۱۳۹۱). در مطالعه نعیم و همکاران (۲۰۱۰) شوری رشد ریشه و اندام هوایی را کند کرده و پتانسیل آب برگ و غلظت کلروفیل را کاهش داد. همانطور که قبلاً گفته شد و نتایج جدول (۲-۵) و (۳-۵) تجزیه واریانس هم نشان می‌دهد، بیشترین کاهش وزن اندام هوایی و ریشه در گیاهانی اتفاق افتاد که با محلول‌های الکترولیت نمک‌های کلرید سدیم آبیاری شده بودند که علت آن را می‌توان حلالیت بالای کلر در آب و سمیت بیشتر آن در مقایسه با آنیون نیترات، دانست. بیشترین میزان وزن تر و خشک ریشه در نمک‌های دارای کاتیون کلسیم مشاهده شد. مطالعات زیادی در زمینه اثرات بهبود دهنده کلسیم بر روی رشد گیاهان زراعی در محیط‌های شور از جمله در جو، لوبیا و بعضی محصولات دیگر انجام شده است (لینچ و لائوچلی، ۱۹۸۵؛ لاهایه و اپستین، ۱۹۶۹). مختاری و همکاران (۱۳۸۹) تأثیر بهبوددهنده کلرید و سولفات کلسیم بر برخی صفات کیفی و کمی گیاه گوجه فرنگی تحت تنش شوری را بررسی کردند. در این آزمایش از محلول‌های کلرید سدیم به عنوان سطوح مختلف شوری و از نمک‌های کلرید کلسیم و سولفات کلسیم به عنوان منبع کلسیم استفاده شد. بررسی‌ها نشان داد که وزن خشک بخش هوایی با افزایش شوری کاهش معنی‌داری یافت. تیمار با کلسیم با کاهش جذب سدیم و افزایش جذب پتاسیم و همچنین تحریک سنتز و تجمع پرولین موجب بهبود معنی‌دار رشد و کاهش اثرات نامطلوب شوری گردید. کلاته‌جاری و همکاران (۱۳۸۷) نیز اثرات نیترات کلسیم و کلرید کلسیم بر کیفیت و عمر گلجایی ورد (گل رز) رقم ردگانت را بررسی کردند. نتایج نشان داد که کلرید کلسیم با غلظت‌های ۰/۵ و ۱٪ موجب افزایش طول عمر گل‌ها، بهبود روابط آبی و تاخیر در پیری آنها گردید نیترات کلسیم توانست تنها در غلظت ۰/۵٪ اثر مثبت در افزایش طول عمر گل داشته و پیری را به تعویق اندازد.

بر اساس نتایج جداول تجزیه واریانس مربوط به صفات گیاه، افزایش میزان هدایت الکتریکی باعث کاهش معنی‌دار کلیه صفات کیفی و کمی گیاه، گردید. کاهش میزان وزن تر و خشک اندام هوایی با افزایش میزان هدایت الکتریکی نیز احتمالاً به علت کاهش میزان هورمون‌های رشد و یا افزایش مواد بازدارنده رشد در نتیجه افزایش میزان شوری می‌باشد. نتایج مشابهی نیز از آزمایش‌های دیگر محققین

به دست آمده است. . آزمایش شمس الدین و فرحبخش (۱۳۸۸) درباره اثر تنش شوری بر عملکرد و برخی خواص زراعی و فیزیولوژیک دو هیبرید ذرت نیز چنین نتیجه‌ای را نشان داد. به طوری که بالاترین مقدار صفات مورد مطالعه در تیمار شاهد و پایین‌ترین مقدار آن در تیمار حداکثر شوری مشاهده شد. همچنین نتایج آزمایش آنها نشان داد که غلظت‌های مختلف نمک، صفات مذکور را به نحو بسیار معنی‌داری تحت تأثیر قرار دادند، به طوری که بالاترین مقدار هر یک از این صفات در تیمار شاهد و کمترین آنها در تیمار تنش شدید بوده است. در پژوهش ده‌شیری و همکاران (۱۳۹۱) نیز علاوه بر اینکه تیمار شوری باعث کاهش وزن تر و خشک برگ، ساقه، ریشه و عملکرد گردید؛ افزایش میزان هدایت الکتریکی نیز کلیه صفات فوق را به طور معنی‌داری کاهش داد. در مطالعات بویراحمدی و همکاران (۱۳۹۰) شوری باعث کاهش شاخص‌های رشد گیاه مانند ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه گردید.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس در جدول (۴-۵)، استفاده از زئولیت تأثیر مثبت بسیار معنی‌داری بر محتوی نسبی آب بافت برگ داشت. دلیل این امر، احتمالاً به ویژگی دهیدراسیون برگشت‌پذیر و ظرفیت نگهداشت بالای آب زئولیت‌ها مربوط می‌باشد که گیاه می‌تواند در مواقع تنش خشکی یا شوری از آب ذخیره شده در شبکه ساختمانی زئولیت استفاده کند. مشابه چنین نتیجه‌ای از آزمایش میرزاخانی و سیبی (۱۳۸۹) نیز به دست آمد. به این ترتیب که کاربرد سطوح مختلف مصرف زئولیت (۰، ۳، ۶ و ۹ تن در هکتار) بر صفاتی چون، ناپایداری غشای سلولی، محتوی آب نسبی، محتوی آب اولیه و کمبود آب اشباع معنی دار بود.

همانطور که جدول (۴-۵) تجزیه واریانس نشان می‌دهد، استفاده از زئولیت بر میزان کلروفیل برگ، تأثیر معنی‌داری نشان نداد؛ اما تأثیر شوری و افزایش میزان هدایت الکتریکی بر کاهش میزان کلروفیل، معنی دار بود. کمتر بودن میزان کلروفیل برگ در نمونه‌های تیمار شده با نمک کلرید سدیم نسبت به نمک‌های دیگر، احتمالاً به علت تخریب کلروفیل توسط یون‌های سدیم و به دنبال آن کاهش غلظت آن در برگ در سطوح متوسط شوری می‌باشد. همچنین بر اساس مطالعات کوله لی و همکاران

(۲۰۰۴) به عنوان یک دلیل دیگر می‌توان تأثیر کادمیم را نیز بر تخریب و کاهش میزان کلروفیل ذکر نمود. نتایج مطالعه فرهنگیان کاشانی (۱۳۸۸) نیز درباره اثر تنش شوری بر میزان کلروفیل در اسپرس و یونجه، کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل را در سطح ۱ درصد نشان داد. تیمار زئولیت در آزمایش قاسم نژاد و همکاران (۱۳۸۸) نیز بر وزن خشک ساقه، میزان کلروفیل برگ کل و برخی خواص دیگر تأثیر نداشت.

فصل ششم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۶-۱- نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد؛ شوری می‌تواند نقش بسیار زیادی بر افزایش میزان غلظت و جذب کادمیم به وسیله گیاه داشته باشد. در این میان، نقش الکترولیت‌های دارای آنیون کلر در افزایش این قابلیت، بسیار برجسته و بارز است. یون کلرید به عنوان یک لیگاند می‌تواند باعث افزایش پویایی کادمیم در خاک گردد و از این طریق بر زیست فراهمی کادمیم در محلول خاک تأثیر بگذارد. میزان غلظت الکترولیت مورد استفاده نیز بر میزان غلظت و جذب کادمیم تأثیرگذار است. با افزایش میزان غلظت نمک در آب آبیاری، میزان جذب کادمیم توسط گیاه افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان دریافت، استفاده از مواد اصلاح کننده خاک مانند زئولیت می‌تواند تا حدودی بر کاهش میزان جذب کادمیم توسط گیاه تأثیرگذار باشد و تا حدی اثرات منفی شوری آب بر قابلیت جذب کادمیم به وسیله گیاه را تعدیل نماید. زئولیت می‌تواند با محبوس کردن کادمیم در شبکه ساختمانی خود، غلظت این فلز را در محلول خاک کاهش داده و در نتیجه جذب آن را توسط گیاه کاهش دهد.

با بررسی نتایج به دست آمده همچنین می‌توان چنین نتیجه گرفت که کیفیت آب آبیاری مورد استفاده برای آبیاری گیاه، بر خصوصیات کیفی و کمی آن تأثیر بسیار چشمگیری دارد. شوری آب آبیاری بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، محتوی نسبی آب برگ و نیز میزان کلروفیل تأثیرگذار است و باعث کاهش کلیه صفات فوق می‌گردد. تأثیر مخرب کاتیون سدیم نیز بر خواص فیزیولوژیک گیاه مشهود است. افزایش میزان غلظت نمک در آب آبیاری نیز باعث آسیب بیشتر گیاه و کاهش رشد آن و در نتیجه کاهش عملکرد گیاه می‌گردد و این موضوع می‌تواند از لحاظ اقتصادی برای کشاورزان حائز اهمیت باشد. همچنین با استفاده دراز مدت از زئولیت در زمین‌های کشاورزی، می‌توان به بهبود کیفیت گیاهان و محصولات کشاورزی کمک نمود.

در نهایت می‌توان چنین نتیجه گرفت که کنترل کیفیت آب مورد استفاده برای آبیاری محصولات کشاورزی و استفاده از زئولیت به خصوص در مناطقی که احتمال آلودگی خاک به فلزات سنگین وجود

دارد؛ سبب می‌شود گیاهان سالم‌تری تولید و به دست مصرف‌کنندگان برسد و با افزایش عملکرد گیاه، محصولات کشاورزی سالم و دارای صرفه بیشتر اقتصادی تولید گردد.

۶-۲- پیشنهادها

۱- اتخاذ راهکارهای مدیریتی مناسب جهت کنترل و کاهش اثرات شوری آب و خاک در کشت محصولات زراعی، از جمله اعمال روش‌های مختلف آبیاری محصولات زراعی، متناسب با موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی (مانند آبیاری تلفیقی، چرخشی، متوالی و...) و همچنین استفاده از مواد اصلاح‌کننده شوری خاک، مانند گچ و یا کلریدکلسیم و اعمال روشهای مخصوص اصلاح خاک‌های شور، مانند آبخویی املاح.

۲- شناسایی و کاشت گیاهان بومی مقاوم به شوری در هر منطقه و کاشت سبزیجات و محصولات کشاورزی که از نظر جذب فلزات سنگین کارا نیستند.

۳- انجام تحقیقات و آزمایشات لازم برای شناسایی و آمایش مناطق دارای خاک‌های شور و آلوده به فلزات سنگین، از طریق تکنولوژی‌های پیشرفته مانند سیستم اطلاعات جغرافیایی.

۴- استفاده از روش‌های بیولوژیکی جهت کاهش میزان فلزات سنگین در خاک مانند انواع روش‌های پالایش سبز فلزات سنگین.

۵- استفاده از جاذب‌های طبیعی و مصنوعی فلزات سنگین، که ارزان قیمت، فراوان و در دسترس باشند، مانند زئولیت.

۶- پیشنهاد می‌شود در خاک‌های مسئله‌دار، یعنی خاک‌هایی که دارای مشکل شوری و آلودگی به فلزات سنگین هستند، گیاهان غیر خوراکی و مقاوم به شوری کشت شود؛ تا با جذب بیشتر فلزات سنگین در شرایط شور توسط گیاه، بتوان تا حدی به پاکسازی خاک از فلزات سنگین کمک نمود.

۷- در پایان توصیه می‌شود با توجه به اهمیت موضوع و اثرات جبران‌ناپذیر دو معضل شوری و آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین، پژوهش حاضر در آینده توسط دیگر محققین، در شرایط مزرعه‌ای آلوده و آب شور تکرار شود.

منابع مورد استفاده

- ۱- اسماعیلی ساری، ع. ۱۳۸۱. آلاینده‌ها، بهداشت و استاندارد در محیط زیست. انتشارات نقش مهر. چاپ اول. ۷۶۹ صفحه.
- ۲- امینی، ح. و انصاری، ع. ۱۳۸۷. اثر لجن فاضلاب بر جذب فلزات سنگین به وسیله اسفناج. سومین کنگره ملی بازیافت و استفاده از منابع آلی تجدید شونده در کشاورزی. خوارسگان. ایران.
- ۳- ایوبی، م. فکری، م. فریور، م. ه. و محمودآبادی، م. ۱۳۸۸. بررسی کاربرد کود کادمیمی و شوری آب بر حلالیت کادمیم در خاک. دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. کرمان. ایران.
- ۴- 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.
- ۵- بنادر، م. نادری، ا. ۱۳۸۸. اثر شوری آب آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیکی نیشکر. فصلنامه علمی تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی، شماره ۲: ۸۵-۹۰.
- ۶- بنی‌هاشمی، م. لیاقت، ع. و متشرع‌زاده، ب. ۱۳۹۰. بررسی تاثیر تنش‌های زنده و غیر زنده (فلز سنگین کادمیم و شوری) بر غلظت کادمیم در گیاه آفتابگردان. اولین کنگره ملی علوم و فناوریهای نوین کشاورزی. زنجان. ایران.
- ۷- بویر احمدی، 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: ۳۵-۴۴.
- ۸- بهتاش، ف. طباطبائی، ج. ملکوتی، م. ج. سرورالدین، م. ح. 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). جلد ۲۴. شماره ۱: ۳۱-۴۱.

- ۹- بیجه کشاورزی، م. ح. و موسوی نیک، م. ۱۳۹۰. مطالعه اثر پتانسیلهای مختلف اسمزی شوری بر جوانه زنی و رشد گیاهچه های اولیه اسفناج (*Spinica Oleracea*). همایش منطقه‌ای اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. شوشتر. ایران
- ۱۰- پور اسماعیل، م. قربانلی، م. و خاوری نژاد، ر. ۱۳۸۴. اثر شوری روی جوانه زنی، وزن تر و خشک، محتوای یونی، برولین، قند محلول و نشاسته گیاه *Suaeda Fruticosa*. مجله بیابان، جلد ۱۰، شماره ۲: ۲۵۵-۲۶۵.
- ۱۱- ترابیان، ع. و بغوری، ا. ۱۳۷۳. بررسی آلودگیهای ناشی از کاربرد پسابهای شهری و صنعتی در اراضی کشاورزی جنوب تهران. مجله محیط شناسی، ۱۸: ۳۳-۴۵.
- ۱۲- 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، ۱۶(۲): ۵۲-۳۹.
- ۱۳- ثواقبی، غ. ر. و ملکوتی، م. ج. ۱۳۷۹. اثرات روی و کادمیم بر غلظت عناصر و ترکیب شیمیایی دانه گندم. مجله آب و خاک، ویژه‌نامه کشاورزی پایدار، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران. ۱۲(۹): ۶۵-۵۴.
- ۱۴- 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، تهران. ۳۰۳-۳۱۰.
- ۱۵- جعفرنژادی، ع. ر. ۱۳۸۷. مدل سازی روند انباشت کادمیم در مزارع گندم. پروپزال رساله دکتری گروه خاک شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
- ۱۶- جعفری، م. ۱۳۷۹. خاکهای شور در منابع طبیعی. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ اول. ۱۹۳ صفحه.
- ۱۷- جعفری، م. آذرینوند، ح. زهتابیان، غ. و جمشیدی، ع. ۱۳۸۱. بررسی نقش کیفیت آب آبیاری در بیابانی شدن اراضی کشاورزی حاشیه کویر دامغان. مجله بیابان، جلد ۷، شماره ۲: ۱۲۱-۱۲۸.

- ۱۸- حق شناس گرگابی، م. و بیگی هرچگانی، ح. ا. ۱۳۸۹. اثر زئولیت میانه بر ظرفیت نگهداری آب و ضرایب مدل‌های منحنی رطوبتی دو بافت خاک شنی و لوم رسی. مجله پژوهش آب ایران. سال چهارم. شماره ۶: ۳۵-۴۲.
- ۱۹- 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). جلد ۲۲. شماره ۳۷: ۲-۲۵.
- ۲۰- 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). جلد ۲۵. شماره ۶: ۱۲۹۹-۱۳۰۹.
- ۲۱- خالقی، م و گلچین، ا. ۱۳۹۰. غیر متحرک کردن فلزات سنگین در یک خاک آلوده توسط افزودنی‌های مختلف. پنجمین همایش تخصصی محیط زیست. تهران. ایران.
- ۲۲- خان‌محمدی، ز. نوربخش، ف. و خوشگفتارمنش، ا. ح. ۱۳۸۷. مطالعه اثر متقابل تنش شوری و کادمیم بر فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز خاک. دومین همایش تخصصی محیط زیست. تهران. ایران.
- ۲۳- خانی، م. ر. ملکوتی، م. ج. و شریعت، س. م. ۱۳۷۹. بررسی رابطه بین تغذیه فسفر با کادمیم در خاکهای شالیزاری شمال کشور. مجله علوم خاک و آب. موسسه تحقیقات خاک و آب. ویژه‌نامه کشاورزی پایدار. جلد ۱۲. شماره ۹: ۱۸-۱۲. تهران - ایران.
- ۲۴- 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. علوم و فنون کشاورزی ۱۱ (۱): ۴۱-۵۴.
- ۲۵- خوش گفتار منش، ا. ح. شریعتمداری، ح. و کریمیان، ن. ۱۳۸۲. اثرهای شوری آب آبیاری و کاربرد روی بر حلالیت کادمیم خاک و غلظت آن در گندم. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال هفتم. شماره چهارم: ۵۳-۵۹.

- ۲۶- ده‌شیری، ع. مدرس ثانوی، م. ح. رضایی، ح. و شیرانی‌راد، ا. ح. ۱۳۹۱. اثر افزایش غلظت دی اکسید کربن هوا بر برخی صفات سه رقم کلزا در شرایط شور. مجله به‌زراعی بذر و نهال. شماره ۱: ۵۲-۳۵.
- ۲۷- روحانی، خ. و سماوات، س. ۱۳۹۰. اثر زئولیت بر غلظت کادمیم در گیاه سویا. اولین همایش ملی گیاه‌پالایی. کرمان. ایران.
- ۲۸- زوار موسوی، ح. ۱۳۸۷. استفاده از زئولیت‌های شهرستان سمنان در تصفیه پسابهای صنعتی. همایش بین‌المللی زئولیت ایران. تهران. ایران.
- ۲۹- سردشتی، ع. کاظمیان، ح. و اکرم زاده اردکانی، م. ۱۳۸۳. شناسایی زئولیت‌های منطقه حرملک زاهدان، بررسی امکان کاربرد آن در تصفیه فاضلاب‌های حاوی Zn, Pb, Cd, Cu, Ag. نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران. دوره ۱: ۳۲-۲۵.
- ۳۰- شریفی، م. افیونی، م. و خوشگفتارمنش، ا. ح. ۱۳۸۹. اثر کود گاوی، لجن فاضلاب و کلرید کادمیم بر جذب کادمیم در شاخساره ذرت. مجله آب و فاضلاب. شماره ۴: ۹۸-۱۰۳.
- ۳۱- شریعت، م. و فرش، ص. ۱۳۸۱. مقدار عناصر سنگین محصولات در جنوب تهران. مجموعه مقالات آب و خاک، جلد ۵ (۳-۴): ۱۳-۲۵.
- ۳۲- شمس‌الدین سعید، م. فرحبخش، ح. ۱۳۸۸. اثر تنش شوری بر عملکرد و برخی صفات زراعی و فیزیولوژیک دو هیبرید ذرت در منطقه کرمان. مجله علمی کشاورزی تولیدات گیاهی، جلد ۳۲. شماره ۱: ۱۳-۲۴.
- ۳۳- طاهرشمسی، ا. و حاجی محمد حسین تهرانی، م. ۱۳۹۰. حذف آلودگی فلزات سنگین خطرناک از خاک‌های آلوده، توسط زئولیت طبیعی. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران. سمنان. ایران.
- ۳۴- طباطبائی، س. ح. و خالدی، ه. ۱۳۸۰. اثرات کاربرد زئولیت در مسائل محیط زیست. نشریه علمی، اجتماعی و فرهنگی آب و محیط زیست. ۴۷: ۲۴-۳۰.

- ۳۵- عابدی، م. ح. نیریزی، س. ماهرانی، م. خالدی، ه. وچراغی، ع. م. ۱۳۸۱. استفاده از آب شور در کشاورزی پایدار. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. چاپ اول. ۲۲۴ صفحه.
- ۳۶- عابدی کوپایی، ج. و بگی، م. ۱۳۹۱. استفاده از زئولیت در سیستم تغذیه مصنوعی با پساب تصفیه شده به منظور حذف فلزات سنگین. نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران. اصفهان. ایران.
- ۳۷- عبدی، غ. خوشخوی، م. و محمودآبادی، م. ۱۳۸۵. تاثیر کادمیم و زئولیت بر رشد، ترکیب شیمیایی و گره زایی گیاه سویا. همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار. کرج. ایران.
- ۳۸- عقیلی، ف. خوشگفتارمنش، ا. ح. افیونی، م. و مبلی، م. ۱۳۸۷. وضعیت فلزات سنگین سرب و کادمیم در گلخانه‌های استان اصفهان. دومین همایش تخصصی محیط زیست. تهران. ایران.
- ۳۹- 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.
- ۴۰- غدیری، ک. غلامی، م. ایوبی مهریزی، ا. و ارغیانی، م. ۱۳۸۹. حذف فلزات سنگین از شیرابه زباله توسط زئولیت‌های اصلاح شده با سورفکتانت. پنجمین همایش ملی مدیریت پسماند. مشهد. ایران.
- ۴۱- فرهنگیان کاشانی، س. ۱۳۸۸. مطالعه اثر تنش شوری بر میزان کلروفیل در اسپرس و یونجه. شماره ۱۸: ۷۷-۸۹.
- ۴۲- قاسم‌نژاد، م. احمدی دهج، م. جنتی، م. ۱۳۸۸. اثر نسبت‌های مختلف زئولیت و پرلیت محیط کشت بر برخی خصوصیات کمی و کیفی گوجه‌فرنگی. ششمین کنگره علوم باغبانی ایران.
- ۴۳- قاسمی مبتکر، ح. کاظمیان، ح. زینالی دانالو، م. ع. ا. ملکی‌نژاد، ع. و پاکزاد، م. ح. ۱۳۸۵. بررسی پارامترهای موثر بر فرایند جذب همزمان برخی از کاتیون‌های سنگین به وسیله زئولیت‌های سنتزی A و P تهیه شده از کلینوپتیلولیت طبیعی ایران. نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران. دوره ۲. شماره ۲: ۸۷-۹۵.

- ۴۴- قهرمانی، ر. ۱۳۸۷. بررسی شدت آلودگی خاکهای جنوب تهران به کادمیم و میزان جذب آن توسط اسفناج. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس ایران، تهران.
- ۴۵- کاظمیان، ح. و فقیهیان، ح. ۱۳۷۷. بررسی امکان استفاده از زئولیت‌های طبیعی ایران جهت حفظ و افزایش رطوبت خاک و نیز تصفیه فاضلابهای شهری و صنعتی برای مصارف کشاورزی و صنعتی. مجموعه مقالات نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی. تهران. ایران.
- ۴۶- کافی، م. دابلیو، و استوارت، اس. ۱۳۷۷. اثرات شوری در رشد و عملکرد نه رقم گندم مجله علوم و صنایع کشاورزی. جلد ۱. شماره ۱۲.
- ۴۷- کافی، م. صالحی، م. و عشقی‌زاده، ح. ۱۳۸۹. کشاورزی شورزیست: راهبردهای مدیریت گیاه، آب و خاک. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. چاپ اول. ۳۸۰ صفحه.
- ۴۸- کشاورزی، ع. خرمالی، ف. ایوبی. ش. و فتوت، ا. ۱۳۸۶. مطالعه جذب سطحی آلاینده‌های فلزی سرب و کادمیم و مس در دو خاک شور و غیر شور در استان گلستان. دومین همایش ملی کشاورزی بوم‌شناختی ایران. گرگان. ایران.
- ۴۹- کلاته‌جاری، س. خلیقی، ا. مرادی، ف. و فتاحی مقدم، م. ر. ۱۳۸۷. اثرهای نیترات کلسیم و کلرید کلسیم بر کیفیت و عمر گلجایی ورد رقم ردگانت. مجله علوم و فنون باغبانی ایران. جلد ۹. شماره ۳: ۱۶۳-۱۷۶.
- ۵۰- محمدی ثانی، م. آستارایی، ع. فتوت، ا. لکزیان، ا. طاهری، م. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر زئولیت و سوپر فسفات تریپل بر توزیع سرب، روی و کادمیم در ضایعات معدن. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۵. شماره ۴: ۴۲-۵۰.
- ۵۱- مختاری، ا. گنجعلی، ع. و ابریشم‌چی، پ. ۱۳۸۹. تأثیر بهبوددهنده کلرید و سولفات کلسیم بر رشد، میزان پروتئینهای محلول، قندهای محلول، پرولین و برخی عناصر معدنی (سدیم، پتاسیم) در برگ گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum var Mobile*) تحت تنش شوری. مجله زیست‌شناسی ایران. جلد ۲۳: شماره ۱: ۶۲-۷۲.

- ۵۲- مستشاری، م. ۱۳۸۰. بررسی شدت و گسترش آلودگی خاکها به عناصر سنگین و تعیین مقدار آنها در گیاهان آبیاری شده با فاضلاب در قزوین. مجموعه مقالات هفتمین کنگره علوم خاک، شهرکرد، ۱۵۲-۱۶۵.
- ۵۳- ملکوتی، م. ج. ۱۳۷۷. رابطه بین مصزف کودهای فسفاته و افزایش تولیدات کشاورزی در کشور. نشریه فنی ۱، نشریه علمی پژوهشی موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران
- ۵۴- ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۹. رابطه مصرف بهینه کود و تولید محصولات کشاورزی سالم. مجله علمی-پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی و علف های هرز، سال چهارم، شماره ۱۶: ۱۳۳-۱۵۱.
- ۵۵- 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 مدرس. شماره ۱۰۲. ۷۵۵ صفحه.
- ۵۶- ملکوتی، م. ج. و همایی، م. ۱۳۸۳. حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک (مشکلات و راه حل ها). چاپ دوم با بازنگری کامل. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۴۸۲ صفحه. تهران. ایران.
- ۵۷- میرزاخانی، م. و سیبی، م. ۱۳۸۹. پاسخ صفات فیزیولوژیک گلرنگ به تنش آبی و مصرف زئولیت. دومین همایش ملی کشاورزی و توسعه پایدار (فرصت ها و چالش های پیش رو). شیراز. ایران.
- ۵۸- مینویی، س. مینایی تهرانی، د. سمیعی، ک و فریورف ش. ۱۳۸۷. مطالعه تغییرات ماکروسکوپی و میکروسکوپی گیاه گندمی (*Chliroophytum Comosum*). مجله زیست شناسی ایران. جلد ۲۱. شماره ۴: ۷۳۷-۷۴۶.
- ۵۹- ناظم، ز. نجفی، پ. و طباطبائی، ح. ۱۳۸۶. بررسی کاربرد زئولیت در افزایش آب خاک در شرایط استفاده از شیرابه کارخانه کود آلی کمپوست اصفهان. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. کرمان. ایران.
- ۶۰- ناظمی، س. و خسروی، ا. ۱۳۸۹. بررسی وضعیت فلزات سنگین در خاک، آب و گیاه اراضی سبزیکاری. فصلنامه دانش و تندرستی، دوره ۵، شماره ۴: ۳۱-۲۷.

- ۶۱- نورافکن، ح. ۱۳۸۶. مزایای استفاده از استاکوسورب و زئولیت در آمیخته‌های خاکی گخانه‌ها. اولین کارگاه فنی ارتقا کارآیی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه‌ای. شماره ۱۸. ۹ صفحه.
- ۶۲- واثقی، س. شریعتمداری، ح. افیونی، م. و میلی، م. ۱۳۸۰. اثر لجن فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین در گیاهان کاهو و اسفناج در خاکهای با pH متفاوت. مجله علوم و فنون باغبانی ایران. جلد ۲. شماره ۳ و ۴: ۱۲۵-۱۴۲.
- ۶۳- یارقلی، ب. عظیمی، ع. ا. باغوند، ا. عباسی، ف. لیاقت، ع. و اسدالله فردی، غ. ۱۳۸۸. بررسی جذب و تجمع کادمیم در اندامهای مختلف محصولات غده‌ای در خاکهای آلوده. نشریه آب و فاضلاب. شماره ۴: ۶۰-۷۰.
- ۶۴- یدرلرلو، ل. مجیدی هروان، ا. ۱۳۸۷. بررسی تاثیر شوری بر صفات مورفولوژیک چند رقم گندم متحمل به شوری. جلد ۶. شماره ۱: ۲۰۵-۲۱۵.
- 65- Abood, M. A. 1978. Analysis of corn yield component for salinity and moisture treatments. Dissert. Abstract International, 38(12):5683.
- 66- Abu-Kassem, F., Sharaf-El-Din, A., Rosema, B., and Foda, E.A. 1995. Synergistic effects of cadmium and nacl on growth, photosynthesis and iron content in wheat plants. Biol Plant. 37: 241-249.
- 67- Adriano, D. C. 1986. Trace elements in the terrestrial environment. Springer, Verlage, New York.
- 68- Alexander. R. 1990. Explanding compost market. Biocycle. 31(8): 54-63.
- 69- Alloway, B.J. 1995. Heavy Metals in soils, published by Blackie Academic and Professiona, Glasgow, U.K., 50 PP.
- 70- Andersen, M. K., A. Refsgaard, K. W. Raulund-Rasmussen, B. Strobe and C. B. H. Hansen. 2002. Content, distribution and solubility of cadmium in arable and forest soils. Soil Sci. Am. J. 66:1829-1835
- 71- Anderson, C.W. n., Brooks, R. R., Stewart, R. B., and Simcock, R. 1998. Harvesting a crop of gold in plant. Nature 395: 550-553.
- 72- Andersson, A., and Bingsfors, S. 1985. Trends and annual Variations in Cd concentration in grain of winter wheat. Acta Agriculture Scandinavia, 35:339-344

- 73- Antcliff, A.j., Newman, H.P., and Barret, H.C.1983. Variation in chloride accumulation in some American species of grapevine. *Vitis*. 22: 357-362.
- 74- Awad, A.S., Edward, D.G., and Campbell, L.C. 1990. Phosphorus enhancement of salt tolerance of tomato. *Crop Sci*. 30: 123-128.
- 75- Balba. A.M., 1995. Managenment of problem soil in arid ecosystems. Lewis publishers. 250 p..
- 76- Bierman, P.M., and J. Rosen. 1994. Sewage sludge incinerator ash effects on soil chemical properties and growth of lettuce and corn. *Soil Sci. Plant Anal*. 25:2409-2437
- 77- Bingham, F.T., G. Spsito and J.E. Strong. 1984. The effect of chloride on the availability of cadmium. *J. Environ. Qual*. 13:71-74.
- 78- Boekhold, A., E. Temminghoff, E, J, M., and Vanderzee, T.M. 1993. Influence of electrolyte composition and Ph on cadmium sorption by an acid sandy soil. *Journal of soil science*. 44: 85-96.
- 79- Bouyoucos, C.J., X .1977. Hydrometer method improved for making pariticle size analysis of soil. *Agron. J*. 54:464-465.
- 80- Breck, D. W. 1974. Zeolite Molecular Seives. Willey interscience New York.
- 76- Brown, S. L., Chaney, R. L., Angle, J. S., and Rayan, J. A. 1998. The phytotoxicity of cadmium to lettuce in long term biosolids-amended soils. *J. Environ. Qual.*, 27(1): 1071-1078.
- 81- Chaney, R. L., and Rayan, J. A. 1994. Risk based standards for arsenic, lead and cadmium in urban sols, DECHEMA, Frankfurt, Germany.
- 82-Chang, A. C., Page, A. L., Warneke, G. E., and Jhnsn, G. B. 1982. Effect of sludge application on the Cd, Pb, Zn levels of selected vegetable plants. *Hilgardi.*, 50: 1-14.
- 83- Cholpecka. A. and Adriano D.C. 1996. Influence of Zeolite, apatite, and Fe-oxide on Cd and Pb uptake by crops.*Sci. total environ*. 207: 195-206.
- 84- Chug, L.K. and S.K.Sawhney. 1999. Phtosynthetic activites of Pisum sativum seedlings grown in presence of cadmium. *Plant Physiol. BIOCHEM*.37(4): 297-303.
- 85- Davis, R.D. Calton-Smith, C.(eds), 1980. Crops as Indicator of the significance of contamination of soil by heavy metals. WRC, Stevenge TR 140.
- 86- Davis, R.D. 1984. Cadmium in sludge used as fertilizer. *Environ. Protect. Direct*. 40:171-126.

- 87- Dinesh, M. Sharma, B., and Kumar, C. 2007. Phytoaccumulation, interaction, toxicity and remediation of Cadmium from *Helianthus annuus* L. (sunflower), *J. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 79(1):71-79.
- 88- Eriksson, J.E. 1990. Factors influencing adsorption and plant uptake of from agricultural soils. Swedish University of Agricultural Science., Department of soil science, Reports and Dissertation, 4. ISBN 91-576-411-0. ISSN 1100-4525.
- 89- Fisher, R. A., D. Ress, K. D. Sayer, Z. M. Lu, A. G. Candon, and A. L. Saavedra. 1998. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Sci.* 38: 1467-1475.
- 90- Ghassemi, F. Jakeman. A. J., Nix. H. A. 1995. Salinisation of Land and Water Resources: Human Causes, Extent, Management and Case Studies. CABI Publishing: Wallingford.
- 91- Gracia-Miragaya, j. and Page, A.L. 1976. Influence of ionic strength and inorganic complex formation on the sorption of trace amounts of Cd by montmorillonite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40, 658-663.
- 92- Grant, C., Bailey, L. McLaughlin, M., and Singh, B. 1999. *Management factors which influence cadmium concentration in crops*. In: M. McLaughlin and B. Singh (editors) : *Cadmium in soils and plants*. Kluwer Academic publishers Netherlands.
- 93- Hahne, H. C. H., and Kroontje, W. 1973. Significance of pH and chloride concentration on behavior of heavy metal pollutants: Mercury (II), Cadmium (II), Zinc (II), and Lead (II). *J. Environ. Qual.* 2: 444-450.
- 94- Hapkins, B. G., D. A. Horneck. R. G. Horneck, R. G. Stevens, J. W. Ellsworth, D. M. Sullivan. 2007. Managing irrigation water quality for crop production in Pacific Northwest Extension publication
- 95- Hattori, H., Kuniyasu, K., Chiba, K., and Chino, M. 2006. Effects of chloride and low pH on cadmium uptake from soil by plants. *J. Soil Sci.* 329-344.
- 96- 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.
- 97- Helal, H.M. 1983. Effects of sodium chloride on ionic relations, energy status and dry matter synthesis by various crop plant species. D. Sc. (HABIL) thesis, Justus-Liebig university, Giessen, Germany.

- 98- 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.
- 99- Helal, H.M., S.A. Haque, A.B. Ramadan and E. Schung. 1996. Salinity-Heavy metal interactions as evaluated by soil extraction and plant analysis. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27(5-8): 1355-1361.
- 100- Hirsch, D., Nir, S., and Banin, A. 1989. Predication of cadmium complexation in solution and adsorption to montmorillonite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53, 716-721.
- 101- IFDC. 1996. The Basics of Zinc in crop production, Technical Bulletin T-43, International-Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, Alabama, USA, 19p.
- 102- Iskandar.i.k. 2001. Environmental restoration of metals contaminated soils. Lewis publishers.
- 103- JECFA. 1989. Evaluation of certain food additives and contaminants. Thirty-third report of the joint FAO/WHO expert committee on food additives. WHO Technical Report Series No.776
- 104- John, M.K., C.J. Valaerhoven and H.H. Chuah. 1972. Factors effecting plant uptake and phytotoxicity of Cd assed to soil organic carbon. *J. Environ. Qual.* 27:329-334.
- 105- Kabata-Pendias, A., and Pendias, F. 1992. Trace elements in soils and plants, 2 nd Ed., CRC press, Inc., Boca Rotan, Florida.
- 106- Karataglis. S., Moustakas. M., Symeonidis. L. 1991. Effects of heavy metals on isoperoxidases of wheat. *Biol plant(praha).* 33:3-9.
- 107- Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D., Satali, K. 2002. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield strawberry cultivars grown at hight (NaCl) Salinity. *Scientia Horticulture*, 93: 65-74.
- 108- Kingston, G. And G.Mc Mahon. 1990. Saline and sodic soils restrict yields. *BSES Bull.* No.32: 4-8.
- 109- Koleli, N., S. Eke.r and I.Cakmak. 2004. Effect of Zinc fertilization on Cadmium toxicity in durum and bread wheat in zinc deficient soil. *Environ. Pollut.* 131:453-459.
- 110- Krebs, R., S.K. Gupta and R.Sehulin. 1998. Solubility and plant uptake of metals with and without liming of sludge-amened soils. *J. Environ. Qual.* 27:18-23.

- 111- Lagrifful, A., B. mocquot, M. Mench, and J.Vangronsveld. 1998. Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll content, and activities of stressing related enzymes in young maize plant (zea mays). *Plant Soil*. 200: 241-250.
- 112- La Haye, A. and Epstein, E. 1969. Salt torelation by plants: enhancement with calcium. *Science*, 166: 395-396.
- 113- Lee, S., Lee, j.u.,Choi, H., and Kim, K.W. 2004. Sorption behaviors of heavy metals in SAT(soil aquifer treatment) system. *Water science and Technology*, 50 (2): 263-268.
- 114- Li, Z., Rayan, J. A., Chen, J. L., and Al-Abed, S. R. 2001. Adsorption of cadmium on biosolids-amended soils. *J. Environ. Qual.*, 30(3): 903-911
- 115- Lie, Y., R.L. Chaney and A. A. Schneiter. 1994. Effect of soil chloride level on cadmium concentration in sunflower kernels. *Plant soil*. 167: 275- 284
- 116- Lin, J. and M. Schorr.1977.A challenger for the phosphate industry: Cd removal. *Phosphorous and Potassium*. 208:27-31.
- 117- Lynch, J. and Laeuchli, A. 1985. Salt stress disturbs the Ca nutrition of barley (*Hordeum vulgare L.*). *New Phytologist*, 99:345-354
- 118- Ma, J., Hiradate, F., Norvell, S, P. 2000. Form of cadmium for uptake and translocation in durum wheat under salty condition. *Planta*, 211: 355- 360.
- 119- Mass, E. V. and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance current assessment, *Journal irrigation and Drainage Division, A S CE 103 [IR]*: 115-134.
- 120- Matigad, S.V. and Sposito, G. 1997. Estimated association constants for some complexes of trace metals with inorganic ligands. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41, 1092-1097.
- 121- McGrath, S.P., A. M. Chaudri and K.E. Giller. 1995. Long term effect of metals in swage slodge soils, microorganisms and plants. *J. Ind. Microbial.* 14: 94-104.
- 122- McLaughlin, J. J., L.T. Palmer, K.G. Tiller, T.A. Beech and M.K. Smart. 1994. Increased soil salinity causes elevated cadmium concentrations in field grown potato tubers. *J. Environ . Qual.* 23:1013-1018.
- 123- McLean. E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. In: Page, A. L. (ed.): *Methods of soil analysis. Part2. Chemical and microbiological properties*. Madison, Wisconsin, USA, P:199-224.
- 124- McLean. J. E. and Bledsoe, B. E. 1992. *Behaviour of mtals in soils*. EPA Ground Water Issue. EPA 540- S- 92-018: 25pp.

- 125- Miller, J. J., and Curtin, D. 2006. Soil sampling and method of analysis. (M.R. Carter and E. G. Gregorich, Eds.) . 2nd ed. CRC Press. Boca Raton. p:161:171.
- 126- Ming D. W., and Mumpton F. A. 1989. Zeolites in soil In: Minerals in soil environments (2nd ed).(Diaxon, J. B. and Weed, S.B., Eds.). Soil Science Society of American, Madison, WI, 873-911.
- 127- Naeem, M. S., Jin, Z. L., Wan, G. L., Liu, D., Liu, H. B., Yoneyama, K., and Zhou, W. J. 2010. 5-A minolevulinic acid improves photosynthetic gas exchange capacity and ion uptake under salinity stress in oilseed rape () Plant SOIL 332: 405-415.
- 128- 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: 2162-2168.
- 129- Oste, L.A., Lexmond, T.M., and Van Riemsdijk W.H. 2002. Metal immobilization in soils using synthesis zeolites. J. Environ.Qual. 31, 813-821.
- 130- Ostman, G. 1996. Salix formage att ta upp kadmiumen faltsudie. Swedish University of Agricultural Science. Department of Ecology and Environmental research, Section of Short Rotation Forestry, Report, 55:71-73.
- 131- Padmaja, K., Prasad, D.D.K., Prasad, A. R.K. 1990. Inhibition of chlorophyll synthesis in Phaseolus vulgaris seedlings by cadmium acetate. Photosynthetica 24: 399-405.
- 132- Pansini, m. 1996. Natural Zeolite as cation exchangers for environment protection. Mineraliom deposita.31: 563-575
- 133- Papadopoulos, L., and Rendig, V.V. 1983. Interactive effects of salinity and nitrogen growth and yield of tomato plants. Plant Soil. 73: 47-57.
- 134- Parkpian, P., Tet Leong, Sh., Laortanakul, P., and Trotoro, J. 2001. Influence of salinity and acidity on bioavailability of sludge-borne heavy metals(A case study of Bangkok municipal sludge). J. Water, Air and soil pollution 139: 43-60.
- 135- Pessarakli, M. 1999. Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker Incorporation. New York. 1254p.
- 136- Rengasamy, p., 2006. "World salinization with emphasis on Australia" . journal of Experimental Boteny. Vol. 57, No .5 , pp . 1017-1023.
- 137- Rhoadoz, J.D. 1982. Methods of soil analysis. (In: A.L. Page et al(ed)). 2nd ed. Part2. P: 149-158.

- 138- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. US Department of Agriculture, Washington, D. C.
- 139- Sakari, K. and Huang, P. M. 1996. Influence of potassium chloride on desorption of Cd sorbed on hydroxyaluminosilicate montmorillonite complex. Soil Science and Plant Nutrition 1996.
- 140- Salardini. A. A., Sparrow. L., Hollowly. R., and Brrow. N. 1993. Effects of potassium and zinc fertilizers, gypsum and leaching on Cd in the seed of poppies, Plant Nutrition from genetic engineering to feild practice. Proceedings of the international Plant Nutrition Colloquium., 1993, Perth Australia, 795-798.
- 141- Sanders, J.R. McGrath, S. P. and Adams, T. MCM. 1987. Zinc, copper and nickel concentration in soil extracts and crops grown on four soils treated with metal loaded sewage sludge. Environmental Pollution. 44: 193-210.
- 142- Scheffer, F. and Schachtschabel, P. 2002. Lehrbuch der Bodenkunde, 15. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berline
- 143- Sharma, R. K. and M. Agrawal. 2006. Singel and combined effects of cadmium and zinc on carrots: Uptake and bioaccumulation J. of Plants Nutrition.31:19-34.
- 144- Simmons, R. W., and Pongsakul, P. 2002. Toward the development of an effective sampling protocol to rapidly evaluate the distribution of cd in contaminated, irrigated rice-based agricultural systems. In: *kheoruenromne I, ed. Tranceaction of the 17th word congress of soil science*, International union of soil science, Bangkok, Vienna.
- 145- Smith, S.R. 1994. Effect of soil Ph on availability to crops of metals in sewage sludge treated soil. I: Nickel, copper and zinc uptake and toxicity to tyegrass. Environ. Pollut.85: 321-327.
- 146- 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, 426-431.
- 147- Stover, R.C., L.E. Sommers, and D.J. Silviera. 1976. Evaluation of metals in wast water sludge. Water Pollut. 48: 2165-2175.
- 148- Street, J.J,B.R.Sabey and W.L. Lindsay. 1978. Influence of PH. Phosphorus, cadmium, sewage sludge, and incubation time on the solubility and plant uptake of cadmium. J. Environ. Qual. 7:286-290.

- 149- Temminghoff, E. J. M., Van Der Zee, S.E.A.T.M., and DeHaan, F.A. M. 1995. Speciation and calcium competition effects on cadmium sorption by sandy soil at various pHs. *Eur. J. Soil Sci.* 46:649-655.
- 150- Torabian. A. and Mahjouri. M. 2002. effect of sewage irrigation on heavy metal uptake by leaf vegetables south of Tehran. *Soil and Water Journal* .16(2): 188-196.[Persian].
- 151- Ueno, D., Ma, J. F., Iwashita, T., Zhao, F. J. and McGrath, S. P. 2005. Identification of the form of Cd in the leaves of a superior Cd-accumulating ecotype of *Thlaspi caerulescens* using ¹¹³Cd- NMR. *J. Planta.*, 221: 928-936.
- 152- Usman, A.R.A., Kuzyakov, Y. , and Stahr, K. 2005. Effect of immobilizing substances and Salinity on Heavy Metals Availability to Wheat Grown on Sewage Sludge-Contaminated Soil. *Soil & sediment Contamination.* 14: 329-344.
- 153- Wagner, G.J. 1993. Accumulation of cadmium in crop plants and consequence to human health. *Adv. Agron.*51:173-212.
- 154- Weggler-Beaton, K., M.J. McLaughlin and R.D. Graham. 2000. Salinity increases cadmium uptake by wheat and Swiss chard from soil amended with biosolids. *Aust. J. Soil Res.* 38:37-45.
- 155- WHO (World Health Organization). 1992. Environmental Health Criteria. 134. Cadmium. Ipc. Geneva.
- 156- Yasuda. H. Takuma, K. Fukuda, T. Suzuki, J. and Fukushima, Y. 1998. Effect of Zeolite amendment on water and characteristics in soil proceedings of the International Agricultural Engineering Conference, Bangkok. Thailand. 837-842.
- 157- 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. 399 pp.
- 158- Zhao, Z. Q., Y. G. Zhu, R. Kneer, and S. E. Smith. 2005. Effect of zinc on cadmium toxicity induced oxidative stressing winter wheat seedling. *J. of Plant NUTR.* 28: 1947-1959.

Abstract

Environmental pollution by heavy metals has been covered a developing global problems. Among heavy metals cadmium is more significance because it is more toxic than other metals. This problem is exacerbated when it combined with soil and water salinity. Since the influence of salinity on bioavailability of heavy metals in soil is significant, it is considered as an important factor in food security threat. In order to investigate the effect of electrolyte composition and zeolite on cadmium plant uptake a factorial experiment based on a randomized complete block design with two levels of zeolite (zero and ten percent) and three levels of salinity (2, 4 and 6 dS/m) of electrolytes NaCl, CaCl₂, NaNO₃ and Ca(NO₃)₂ was performed in three replication based on greenhouse planting. Spinach seeds at 70 °C, digestin was performed on plants samples and then cadmium concentration in shoots was measured by the ICP. the Cadmium uptake in shoots was obtained by multiplying cadmium concentration in plant dry matter yield. The highest amount of cadmium concentration was related to the plant samples which were irrigated with sodium chloride salt and then calcium chloride. Also significantly difference in the concentration of heavy metals were not found between calcium nitrat and sodium nitrat salts at the %5 level. In the case of cadmium uptake, between two sodium chloride and calcium chloride salts were not significantly different at the %5 level. While the lowest amount of uptake was related to sodum nitrat salt. Increasing amount of the used electrolytes concentration also decreased significantly amount of the cadmium concentration and uptake in shoot. Using the zeolite as heavy metals immobilizing substance decreased the cadmium consentration and uptake in shoots. Besides the survey of amount of cadmium uptake in shoots influenced by salinity and zeolite factors, the effect of these factors on some important physiologic characteristic including dry and wet weight of the shoot, dry and wet weight of the root, relative water content of the leaf tissue and the amount of the chlorophyll in leaf was investigated. Treatments with calcium electrolyte as the cation had less destructive effects on any of the investigated properties. Increasing the amount of the salinity reduced significantly the above properties. Using of the zeolite had significantly effect on the relative water amount of the leaf tissue, but its effect on dry and wet weight of shoot and root and chlorophyll content was not significant.



Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture

**The Effect of Electrolyte Composition and Zeolite on Cadmium
Adsorption in Soil**

Fahime Khizab

Supervisor(s):

Dr. Hadi Ghorbani

Advisor(s):

Dr. Hamid Abbasdokht

Eng. Faramarz Faeznia

Date:

Feb 2013