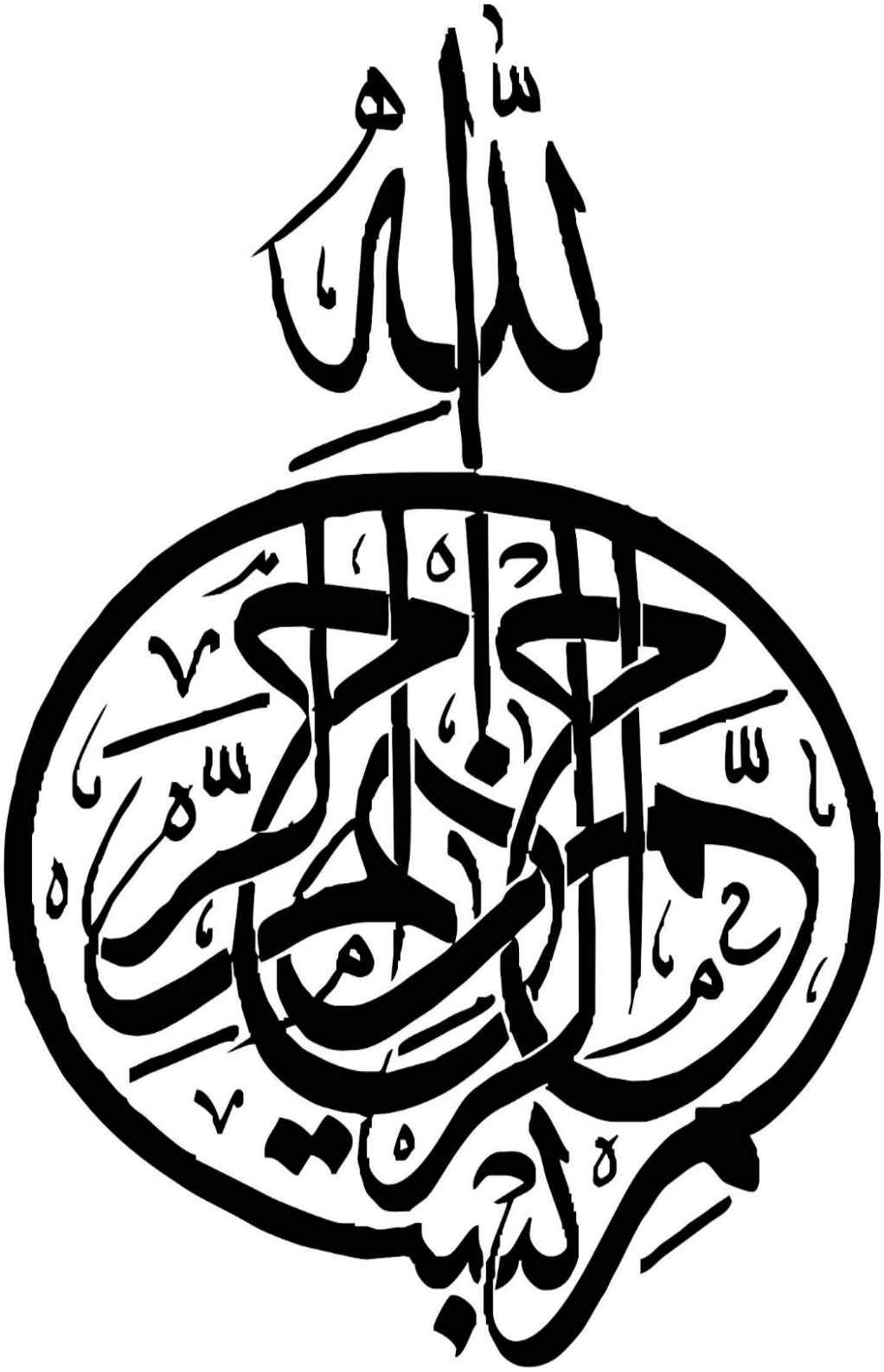

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه شاهرود
دانشکده کشاورزی
گروه آب و خاک

تاثیر غلظت‌های مختلف شوری و کروم بر خصوصیات شیمیایی خاک و ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه کارلا در حضور قارچ میکوریزا (*Glomus versiform*)

مهسا بهرامی

اساتید راهنما:
دکتر هادی قربانی
دکتر مصطفی حیدری

استاد مشاور:
دکتر حمیدرضا اصغری

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
بهمن ماه ۱۳۹۳

تقدیم به

پروردگارم، آفریننده ی زیبایی ها

آستان پر مهر و محبت پدر و مادر عزیزتر از جانم

و

همسر صبور و مهربانم

تشکر و قدردانی

هستم بدرقه راه کن ای طایر قدس که دراز است ره مقصد و من نو سفرم

سپاس و ستایش خداوندی را که خالق بی همتاست و او را هزاران درود که با قلم اراده و مشیت خویش بشر را به پشتوانه ی میثاق ازلی، سرآمد خلقت و اشرف کاینات گردانید و درود فراوان نثار بهانه خلقت و خواجه ی ملک لولاک، رسول آخرین، حضرت محمد (ص) باد. بار الها! من با یاد تو به تو تقرب می جویم و تو را به پیشگاه تو شفیع می آورم و از تو خواستارم به کرمت، مرا به خود نزدیک گردانی و بر من رحمت آوری و به آنچه بهره و نصیب من ساخته ای، خشنودم قرار دهی و در همه حال به فروتنی ام واداری.

اکنون که با یاری خداوند بزرگ مقطع دیگری از تحصیل خود را به پایان می برم، شایسته تر آن است که صمیمانه ترین مراتب قدردانی خود را از زحمات استاد بزرگوارم **جناب دکتر هادی قربانی** که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و نیز از استاد گرامی **جناب دکتر مصطفی حیدری** به سبب راهنمایی های علمی شان، به عمل آورم.

همچنین ارج می نهم زحمات استاد مشاور بزرگوارم **جناب دکتر حمیدرضا اصغری** که در سایه ی راهنمایی های عالمانه، همکاری های بی دریغ و دلسوزی های صبورانه ی ایشان این بار گران به منزل رسید. صمیمانه ترین مراتب قدردانی خود را از اساتید محترم داور آقایان **دکتر شاهین شاهسونی و دکتر حمید عباس دخت** و نیز از نماینده ی محترم تحصیلات تکمیلی **جناب دکتر خلیل اژدری** ابراز می دارم.

کمال تشکر را از کلیه ی مسئولین آزمایشگاه ها، آقایان مهندس شاکری، مهندس حسین پور، مهندس گلی و مهندس مطهری نژاد به خاطر همکاری و همیاری بی حد و حصر بانده در این کار، و نیز دوستان مهربان و همراهم ابراز می دارم.

مهسا بهرامی- بهمن ۹۳

تعهد نامه

اینجانب مهسا بهرامی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی _ علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه تاثیر غلظت‌های مختلف شوری و کروم بر خصوصیات شیمیایی خاک و ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه کارلا در حضور قارچ میکوریزا *(Glomus versiform)* تحت راهنمائی دکتر هادی قربانی و دکتر مصطفی حیدری متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

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

چکیده

درچند دهه اخیر مصرف نهاده‌های شیمیایی در اراضی کشاورزی موجب مشکلات زیست‌محیطی عمده‌ای از جمله کاهش حاصلخیزی، شوری خاک، برهم خوردن تعادل عناصر در خاک و نیز آلودگی به انواعی از عناصر سنگین شده است. از این‌رو، به منظور بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف شوری و کروم بر خصوصیات شیمیایی خاک و ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه کارلا در حضور قارچ میکوریزای *Glomus versiform*، آزمایش گلخانه ای به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل شوری از نوع کلرید سدیم در سه سطح صفر (شاهد)، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، کروم در سه سطح صفر (شاهد)، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک از منبع دی‌کرومات‌پتاسیم و قارچ میکوریزا (*Glomus versiform*) در دو سطح عدم تلقیح (شاهد) و تلقیح به مقدار ۱۰۰ گرم بودند. نتایج، نشان داد اثر تیمار اصلی شوری بر روی صفاتی از جمله رنگیزه‌های فتوسنتزی (به غیر از کارتنوئید)، آنزیم‌های آنتی اکسیدان، وزن تر گیاه و خصوصیات شیمیایی خاک از قبیل اسیدیته و هدایت الکتریکی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. همچنین اثرات متقابل میکوریزا و شوری بر فعالیت آنزیم کاتالاز، میکوریزا و کروم بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز معنی‌دار گشت. در این آزمایش، افزایش کاربرد کروم باعث کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی (به غیر از آنتوسیانین) و شاخص‌های رشد گیاه (وزن تر و وزن خشک گیاه) گردید. تلقیح میکوریزا در این گیاه، سبب جلوگیری از اثرات منفی تنش کروم و شوری بر صفاتی از قبیل میزان کربوهیدرات ریشه، کارتنوئید، فسفر و محتوای کروم گیاه گردید. در این تحقیق، همچنین اثرات متقابل سه گانه فاکتورهای مورد آزمایش بر روی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز معنی‌دار گردید. بنابراین با مصرف مقادیر مناسب قارچ‌های میکوریزا در مناطقی که میزان عناصر در حد بحرانی است، می‌توان عملکرد محصول را نسب به استفاده از کودهای شیمیایی و روش‌های پر هزینه بالا برده و نیز از آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی جلوگیری کرد.

کلمات کلیدی: کارلا، شوری، کروم، میکوریزا، صفات مورفولوژیکی.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

تاثیر شوری و قارچ میکوریزایی ماسه آ بر کربوهیدرات محلول و رنگدانه های فتوسنتزی گیاه کارلا، اولین همایش ملی مدیریت پایدار منابع خاک و محیط زیست، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۹ و ۲۰ شهریور ۱۳۹۳

بررسی اثر شوری و قارچ میکوریزایی گلوموس ماسه آ بر برخی از صفات فیزیولوژیکی گیاه کارلا، کنفرانس ملی علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۲۸ تا ۳۰ بهمن ۱۳۹۳

بررسی اثر غلظت های مختلف شوری و کروم بر میزان کربوهیدرات و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان گیاه کارلا، کنفرانس ملی علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۲۸ تا ۳۰ بهمن ۱۳۹۳

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

فصل دوم: کلیات و بررسی منابع

۲-۱- کارلا ۶
۲-۱-۱- مشخصات گیاه شناسی کارلا ۶
۲-۱-۲- پراکنش جغرافیایی کارلا ۷
۲-۱-۳- نیاز اکولوژیکی ۷
۲-۱-۳-۱- حرارت ۷
۲-۱-۳-۲- خاک ۷
۲-۱-۳-۳- اقلیم ۸
۲-۱-۴- شرایط کاشت کارلا ۸
۲-۱-۴-۱- کاشت مستقیم ۸
۲-۱-۴-۲- کاشت غیرمستقیم ۸
۲-۱-۵- ارزش غذایی ۹
۲-۱-۶- خواص دارویی ۹
۲-۲- تنش‌های محیطی ۱۰
۲-۲-۱- تنش شوری ۱۱
۲-۲-۲- اثرات تنش شوری در گیاه ۱۲
۲-۲-۳- تحمل گیاه به شوری ۱۳
۲-۲-۴- مکانیسم‌های تحمل به شوری در گیاهان ۱۳
۲-۳- عناصر سنگین ۱۴

۲-۳-۱- کروم ۱۵
۲-۳-۲- اشکال مختلف کروم ۱۶
۲-۳-۳- سمیت کروم در گیاه ۱۶
۲-۳-۴- سمیت کروم در خاک ۱۷
۲-۴- قارچ میکوریزا ۱۸
۲-۴-۱- مزایای تلقیح قارچ میکوریزا ۱۹
۲-۴-۲- طبقه‌بندی انواع قارچ میکوریزا ۲۰
۲-۴-۳- تاثیر قارچ میکوریزا بر عملکرد گیاهان ۲۱
۲-۴-۴- میکوریزا و اثرات تغذیه‌ای آن در گیاه میزبان ۲۱
۲-۴-۵- تاثیر قارچ میکوریزا و افزایش جذب آب ۲۵
۲-۴-۶- اثر میکوریزا آربوسکولار (AM) بر بهبود خواص فیزیکی خاک ۲۶
۲-۴-۷- رابطه همزیستی میکوریزی و تنش‌های محیطی ۲۸
۲-۴-۸- تاثیر قارچ میکوریزا در افزایش مقاومت گیاه به عوامل بیماری‌زای ریشه ۲۸

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- زمان و موقعیت جغرافیایی محل اجرای آزمایش ۳۲
۳-۲- خصوصیات خاک گلدان ۳۲
۳-۳- آماده‌سازی خاک گلدان‌ها ۳۳
۳-۴- طرح آزمایشی در شرایط گلخانه و شرایط رشد ۳۳
۳-۵- تعیین ظرفیت زراعی خاک گلدان ها و نحوه آبیاری ۳۴
۳-۶- نحوه کاشت ۳۴
۳-۷- مراحل نمونه برداری از گیاه ۳۴
۳-۸- اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات محلول در اندام هوایی و ریشه ۳۵
۳-۹- اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید ۳۶
۳-۱۰- اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین ۳۶

۳-۱۱- اندازه‌گیری برخی عناصر غذایی در اندام هوایی گیاه ۳۷
۳-۱۱-۱- اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم در اندام هوایی ۳۷
۳-۱۱-۲- اندازه‌گیری فسفر در اندام هوایی ۳۷
۳-۱۲- اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان ۳۸
۳-۱۲-۱- استخراج عصاره آنزیمی و روش اندازه‌گیری آنزیم‌ها ۳۸
۳-۱۲-۲- اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) ۳۸
۳-۱۲-۳- فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (GPX) ۳۹
۳-۱۳- اندازه‌گیری برخی خصوصیات شیمیایی خاک ۴۰
۳-۱۳-۱- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و اسیدیته (pH) خاک ۴۰
۳-۱۴- اندازه‌گیری غلظت کروم خاک ۴۰
۳-۱۵- اندازه‌گیری محتوای کروم در اندام هوایی گیاه ۴۰
۳-۱۶- اندازه‌گیری پارامترهای خاک اولیه ۴۱
۳-۱۷- محاسبات و تجزیه و تحلیل آماری ۴۱

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱ - تنظیم کننده‌های اسمزی ۴۴
۴-۱-۱- کربوهیدرات برگ ۴۴
۴-۱-۲- کربوهیدرات ریشه ۴۴
۴-۲- رنگدانه‌های فتوسنتزی ۴۶
۴-۲-۱- کلروفیل a ۴۶
۴-۲-۲- کلروفیل b ۴۹
۴-۲-۳- کارتنوئید ۵۰
۴-۲-۴- آنتوسیانین ۵۳
۴-۳ –برخی عناصر غذایی گیاه ۵۴
۴-۳-۱- محتوای سدیم ۵۴
۴-۳-۲- محتوای پتاسیم ۵۵
۴-۳-۳- نسبت سدیم به پتاسیم ۵۵

۴-۳-۴- محتوای فسفر ۵۶
۴-۴- فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان ۵۷
۴-۴-۱- آنزیم کاتالاز (CAT) ۵۷
۴-۴-۲- آنزیم گایاکول پراکسیداز (GPX) ۵۹
۴-۵- برخی شاخص‌های رشد ۶۱
۴-۵-۱- وزن تر اندام هوایی ۶۱
۴-۵-۲- وزن خشک اندام هوایی ۶۳
۴-۶- خصوصیات شیمیایی خاک ۶۴
۴-۶-۱- هدایت الکتریکی (EC) ۶۴
۴-۶-۲- اسیدیته (pH) ۶۵
۴-۷- اندازه‌گیری میزان کروم ۶۵
۴-۷-۱- غلظت کروم خاک ۶۵
۴-۷-۲- محتوای کروم گیاه ۶۶

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری ۷۰
۵-۲- پیشنهادات ۷۲

پیوست‌ها

پیوست‌ها ۷۳

منابع

منابع ۹۳

فهرست شکل‌ها

عنوان | صفحه

شکل ۲-۱- تصویری از میوه کارلا ۶

شکل ۳-۱- نمایی از گلدان های آزمایش ۳۳

شکل ۳-۲- تصویری از جمع آوری ریشه ۳۵

شکل ۴-۱- اثر متقابل کروم و میکوریزا بر میزان کربوهیدرات ریشه ۴۶

شکل ۴-۲- اثر متقابل کروم و میکوریزا بر کلرفیل a ۴۹

شکل ۴-۳- اثر متقابل کروم و میکوریزا بر کارتنوئید ۵۲

شکل ۴-۴- اثر متقابل شوری بر کروم بر کارتنوئید ۵۳

شکل ۴-۵- اثرات متقابل سه گانه شوری – کروم – میکوریزا بر فعالیت آنزیم کاتالاز ۵۹

شکل ۴-۶- اثرات متقابل سه گانه شوری – کروم – میکوریزا بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز ۶۱

شکل ۴-۷- اثر متقابل شوری و کروم بر وزن تر اندام هوایی گیاه ۶۳

شکل ۴-۸- اثر متقابل شوری و کروم بر وزن خشک اندام هوایی گیاه ۶۴

شکل ۴-۹- اثر متقابل کروم و میکوریزا بر محتوی کروم گیاه ۶۷

فهرست جدول‌ها

عنوان | صفحه

جدول ۳-۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش ۳۲
جدول ۴-۱- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر میزان کربوهیدرات گیاه ۷۴
جدول ۴-۲- مقایسه میانگین اثرات اصلی بر میزان کربوهیدرات گیاه ۷۵
جدول ۴-۳- مقایسه میانگین اثر متقابل کروم و میکوریزا بر میزان کربوهیدرات ریشه ۷۶
جدول ۴-۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر روی رنگدانه‌های فتوسنتزی ۷۷
جدول ۴-۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی ۷۸
جدول ۴-۶- مقایسه میانگین اثر متقابل کروم و میکوریزا برمیزان کلروفیل a و کارتنوئید ۷۹
جدول ۴-۷- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و کروم بر میزان کارتنوئید ۸۰
جدول ۴-۸- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر روی برخی عناصر غذایی گیاه ۸۱
جدول ۴-۹- مقایسه میانگین اثرات اصلی بر برخی عناصر غذایی گیاه ۸۲
جدول ۴-۱۰- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر میزان فعالیت آنزیم‌های CAT و GPX ۸۳
جدول۴-۱۱- مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه شوری-کروم- میکوریزا بر میزان فعالیت آنزیم-های CAT و GPX ۸۴
جدول ۴-۱۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر برخی شاخص‌های رشد گیاه ۸۵
جدول ۴-۱۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی بر برخی شاخص‌های رشد گیاه ۸۶
جدول ۴-۱۴- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و کروم بر برخی شاخص‌های رشد گیاه ۸۷
جدول ۴-۱۵- جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر برخی خصوصیات شمیایی خاک ۸۸
جدول ۴-۱۶- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد مطالعه بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک. ۸۹
جدول ۴-۱۷- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر غلظت کروم خاک و محتوای کروم گیاه ۹۰

جدول ۴-۱۸- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مــورد مطالعه بــر غلظت کروم خاک و محتوی کروم گیاه ۹۱

جدول۴-۱۹- مقایسه میانگین اثر متقابل کروم و میکوریزا بر محتوی کروم گیاه ۹۲

فصل اول:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

جمعیت جهان با یک روند تقریبا نمایی در حال رشد است. در سال‌های اخیر نگرانی‌های جهانی درباره عواقب و اثرات جانبی برخی فعالیت‌های کشاورزی بر محیط زندگی انسان افزایش یافته و محققان را به تفکر بیشتر و نگاهی عمیق‌تر وا داشته است. با توجه به مشکلات ناشی از محدودیت منابع آب و خاک در ایران امکان توسعه سطح زیرکشت برای افزایش تولیدات کشاورزی میسر نبوده و تنها راه عملی برای خودکفایی در محصولات کشاورزی و تهیه غذای کافی برای جمعیت در حـال رشد کشور، افزایش تولید در واحد سطح می‌باشد و این لازم، مقدور نمی‌باشد مگر با مدیریت پایدار بر خاک و شرایط محیطی آن (ملکوتی، ۱۳۷۵).

مدیریت پایدار خاک نیز شامل نوعی از مدیریت است که تامین کننده نیازهای فعلی است بدون آنکه توانایی نسل‌های آتی را برای تامین نیازهای خود از آن خاطر، به خطر اندازد. بنابراین مدیریت خاک، وقتی پایدار است که ظرفیت خاک برای تامین نیازهای آیندگان را تغییر ندهد (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۶ ; امامی و نیک نژاد، ۱۳۷۲). هدف اصلی کشاورزی پایدار که به وجود آمدن آن برای حیات انسان یک ضرورت است، کاهش نهاده‌های مصرفی، افزایش چرخه داخلی عناصر غذایی خاک از طریق کاهش خاکورزی و استفاده از کودهای زیستی به جای کودهای شیمیایی در جهت افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و تولید غذای بیشتر است (لاگرید و همکاران، ۱۹۹۹ ; کچاکی و همکاران، ۲۰۰۸). خاک یک محیط متخلخل و پیچیده است. خاک نه تنها محیط مناسبی جهت رشد گیاه محسوب می‌شود، بلکه به عنوان یک محیط زنده بسیاری از مواد زائد و آلوده کننده محیط را تجزیه می‌نماید. انسان‌های اولیه تا زمانی که مواد غذایی خود را از طریق شکار بدست می‌آوردند چندان توجهی به خاک نداشتند، ولی بتدریج که کشت و دامپروری جایگزین شکار شد، اهمیت خاک نیز افزایش یافت. این تغییر در حدود ۹۰۰۰ سال پیش در کوه‌های زاگرس و حوالی خوزستان و قسمتی از عراق امروزی بین رودخانه‌های دجله و فرات صورت گرفته و در واقع اولین انقلاب کشاورزی از سرزمین ما آغاز گردیده است (قربانی و همکاران، ۱۳۸۹).

امروزه زیان‌های اقتصادی و زیست محیطی ناشی از استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در کشاورزی در سطح جهانی شناخته شده و بدیهی است که باید جایگزین مناسبی برای این نوع کودها در نظر گرفته شود (آبوت و مورفی، ۲۰۰۷). برای افزایش تولید، از روش‌های گوناگون استفاده شده است، اما به کارگیری مستمر و زیاد این روش‌ها موجب تغییر در خواص فیزیکی و شیمیایی خاک شده است و در چند دهه اخیر مصرف نهاده‌های شیمیایی در اراضی کشاورزی موجب معضلات زیست محیطی عدیده‌ای از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش حاصلخیزی خاک‌ها گردیده است (شارما، ۲۰۰۲).

استفاده از کودهای بیولوژیک در کشاورزی از قدمت بسیار زیادی برخوردار است و در گذشته نه چندان دور تمام مواد غذایی مورد استفاده انسان با استفاده از چنین منابع ارزشمندی تولید می‌شده است. اگرچه کاربرد کودهای بیولوژیک به علل مختلف در طی چند دهه گذشته کاهش یافته است، ولی امروزه با توجه به مشکلاتی که مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی بوجود آورده است، استفاده از آن‌ها در کشاورزی مجددا مطرح شد. بدون تردید کاربرد کودهای بیولوژیک علاوه بر اثرات مثبتی که بر کلیه خصوصیات خاک دارد، از جنبه‌های اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی نیز مثمرثمر واقع شده و می‌تواند به عنوان جایگزینی مناسب و مطلوب برای کودهای شیمیایی باشد. در حال حاضر نگرش‌های جدیدی که در ارتباط با کشاورزی تحت عنوان کشاورزی پایدار، ارگانیک و بیولوژیک مطرح می‌باشد به بهره برداری از چنین منابعی استوار است (صالح راستین، ۱۳۸۰).

رفتار بیولوژیـکی خاک یک پـارامتر کلیدی موثر در سلامتی خاک، کیفیت و تولیدات زمینی می‌باشد کـه می‌تواند به عنوان معیار ارزیابی اکولوژی خاک و بازده کشاورزی باشد. ریزوسفر خاک یک محیط فعال است که بوسیله ریشه‌های گیاهان احاطه شده است. انواع مختلفی از میکروارگانیسم‌های خاک که با سایر میکروب‌های خاک و با ریشه گیاهان در تعامل هستند در این محیط حضور دارند، فعالیت و برهمکنش میکروارگانیسم‌های ریزوسفر می‌تواند روی خصوصیات خاک و تولیدات زراعی مطلوب مفید باشد. از کودهای زیستی به عنوان راه حلی برای زنده و فعال نگهداشتن سیستم حیاتی خاک در اراضی کشاورزی یاد می‌شود. کود زیستی به تأمین عناصر غذایی به صورتی کاملا متناسب با تغذیه طبیعی گیاهان، کمک به تنوع زیستی،

تشدید فعالیت‌های حیاتی، بهبود کیفیت و حفظ سلامت محیط زیست و در مجموع حفظ و حمایت از سرمایه‌های ملی (خاک، آب و منابع انرژی غیر قابل تجدید) می‌پردازد (صالح راستین، ۱۳۸۰). کودهای زیستی در برخی موارد به عنوان جایگزین و در بیشتر موارد به عنوان مکمل کودهای شیمیایی، پایداری تولید را در سیستم‌های کشاورزی تضمین می‌کنند (صالح راستین، ۱۳۸۰). از این رو استفاده از این کودها نظیر قارچ‌های میکوریزای وزیکولار آربوسکولار و میکروارگانسیم‌های تثبیت کننده نیتروژن در کشاورزی، علاوه بر افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانسیم‌های مفید خاک، در جهت فراهم کردن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم عمل می‌نمایند و سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌گردند (آرانسون و همکاران، ۲۰۰۴). قارچ‌های آربوسکولار در بهبود و توسعه گیاهی، جذب مواد مغذی، پایداری و مقاومت در شرایط محیطی سخت از قبیل فلزات سمی و سنگین، پاتوژن‌ها، خشکی، درجه حرارت بالای خاک، خاک‌های شور، خاک‌هایی با pH نامناسب و نشاء کاری‌ها مناسب هستند (رویز لوزانو و همکاران، ۲۰۰۱). قارچ‌های میکوریزای وزیکولار آربوسکولار در سال‌های اخیر برای مقابله با کم‌آبی و تنش‌های خشکی در بسیاری از گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است. از آنجایی که دستیابی به کشاورزی پایدار جز اهداف اصلی متخصصان کشاورزی به شمار میرود، برای نیل به این هدف، اقتصادی کردن امر تولید، استفاده از کودهای بیولوژیک، مصرف بهینه و صحیح کودهای شیمیایی، سموم، آفت‌کش‌ها و افزایش مواد آلی خاک و جلوگیری از افزایش غلظت‌های سمی عناصر سنگین لازم به نظر می‌رسد. به همین منظور، تحقیق حاضر جهت بررسی اثر تنش مخرب شوری تحت غلظت‌های مختلف عنصر سنگین کروم در حضور قارچ میکوریزا بر برخی از خصوصیات مورفولوژیکی و بیولوژیکی گیاه دارویی کارلا اجرا گردید.

فصل دوم:

کلیات و بررسی منابع

۲-۱- کارلا

۲-۱-۱- مشخصات گیاه شناسی کارلا

کارلا با نام علمی *Momordica charantia L* از خانواده کدوئیان (*Cucurbitaceae*) گیاهی گرمسیری است (حیدری و مقدم، ۲۰۱۲). کارلا ظاهری شبیه خیار داشته که روی سطح آن زگیل‌های فراوان وجود دارد (شکل ۲- ۱). کارلا گیاهی یکساله دارای تاک‌های طویل خزنده، بالا رونده و پر شاخ و برگ است (کریسان و همکاران، ۲۰۰۸). گل‌های زرد روشن، در محور برگ حمل می‌شوند و به ندرت بیشتر از یک روز باز می‌مانند. میوه‌ها در ابتدا سبز زمردی بوده و سپس تیره شده و در مرحله آخر به رنگ زرد یا نارنجی تغییر رنگ می‌دهند. وقتی میوه آن می‌رسد، ترک خورده و در سه قطعه باز می‌شود و به عقب پیچ می‌خورد و دانه‌های درون آن در قسمت گوشتی مخملی قرمز رنگی ظاهر می‌شوند. تمام قسمت‌های گیاه مثل میوه آن تلخ است و تلخی آن نیز به علت وجود کوئینین می‌باشد. میوه کارلا دارای مزه مطلوب (ترش مزه) می‌باشد، اما وقتی بطور کامل رسید، مزه آن تلخ می‌شود که به طور معمول در مرحله نارس مورد مصرف قرار می‌گیرد (نورزایی، ۱۳۸۸). بخش‌های مختلف این گیاه بخصوص میوه آن از گذشته برای درمان در طب سنتی مورد استفاده قرار می‌گرفته است (کریسان و همکاران، ۲۰۰۸). میوه‌ها زگیل‌دار و بعضا صاف، به رنگ سبز متمایل به زرد تا رنگ سبز تیره است و هنگامی که می‌رسد به رنگ زرد و نارنجی می‌باشد و داخل آن قطعات لوبیا شکل قرمز رنگی پدیدار می‌شود (مبارکی و همکاران، ۱۳۹۲).

شکل ۲- ۱- تصویری از میوه کارلا

۲-۱-۲- پراکنش جغرافیایی کارلا

کارلا یکی از سبزی‌های معروف مناطق گرمسیری به ویژه آسیایی می‌باشد (مبارکی و همکاران، ۱۳۹۲). این گیاه از گیاهان کهن است و منشا آن به شرق هندوستان و جنوب چین بر می‌گردد. اعتقاد بر این است که به هنگام تجارت بردگان، بذر کارلا از آفریقا به برزیل انتقال داده شده و با توجه به اهمیت دارویی آن به سایر نقاط دنیا منتشر شده است (نورزایی، ۱۳۸۸). رشد این گیاه برای اولین بار در ایران در دهستان کهیر شهرستان کنارک استان سیستان و بلوچستان مشاهده گردید (مبارکی و همکاران، ۱۳۹۲). با توجه به نیاز این گیاه به گرمای زیاد و دمای بالای محیطی، معمولا کاشت آن در مناطق استوایی همانند جنوب آمریکا، شرق و مرکز آفریقا، چین و هند رواج بیشتری دارد (رِیز و همکاران، ۱۹۹۴). این گیاه بیشتر در هندوستان و جنوب چین، بومی است و در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری یافت می‌شود. یکی از میوه‌های بومی جنوب و شرق آسیا از قبیل سریلانکا، ویتنام، تایلند، مالزی، فیلیپین، پاکستان و جنوب چین است (اسوبایی و الگاراونی، ۲۰۰۴).

۲-۱-۳- نیاز اکولوژیکی

۲-۱-۳-۱- حرارت

کارلا نیاز به دمای حداقل معادل ۱۸ درجه سانتی‌گراد برای رشد دارد. دمای مطلوب در محدوده ۲۴ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد است. این گیاه نسبت به سایر کدوها از تحمل دمای بالا برخوردار است، اما در زمستان و یخبندان آسیب پذیر بوده و گیاه از بین می‌رود (نورزایی، ۱۳۸۸).

۲-۱-۳-۲- خاک

کارلا در انواع خاک رشد می‌کند، اما خاک شنی لومی به خوبی زهکشی شده، برای کشت در هوای آزاد خوب است. pH مناسب خاک باید بین ۶ تا ۶/۷ باشد، اما تا pH برابر با ۸ را نیز تحمل می‌کند. استفاده از شبکه فوقانی و قیم به منظور بالا رفتن تاک‌های خزنده این گیاه استفاده می‌شود (نورزایی، ۱۳۸۸).

۲-۱-۳-۳- اقلیم

کارلا به طور طبیعی به صورت یکساله کشت می‌شود، اما در زمستان در بعضی مناطق به صورت دایمی، نوع وحشی آن نیز می‌روید. این گیاه در اراضی پست و مناطقی با ارتفاع ۱۰۰۰ متر از سطح دریا به خوبی رشد می‌کند (اسوبایی و الگاراونی، ۲۰۰۴).

۲-۱-۴- شرایط کاشت کارلا

۲-۱-۴-۱- کاشت مستقیم

برای کاشت مستقیم این گیاه در مزرعه عرض پشته‌ها حدود ۱۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع پشته‌ها ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر باید باشد. برای کاشت مستقیم بذر یا کاشت در مزرعه در اقلیم‌های خیلی سرد، بهتر است قبلاً در یک گلخانه کشت شوند و سپس در هوای مناسب به زمین اصلی منتقل گردند. برای کاشت بذرها هر ۵۰ سانتی‌متر یک سوراخ روی پلاستیک‌ها ایجاد می‌کنند و فاصله ردیف‌ها باید ۳ متر باشد. برای کاشت مستقیم بذر، در هر هکتار به ۲/۵ تا ۳ کیلوگرم بذر نیاز است. بذرها شب قبل از کاشت باید در آب خیسانده شوند. در داخل چاله‌ها تعداد ۲ تا ۳ بذر به عمق ۲ سانتی‌متر کاشته می‌شود. سرانجام بعد از یک هفته و حتی کمتر، سر از خاک درآورده و تا زمانی که چهار برگی می‌شود هنوز ضعیف است (نورزایی، ۱۳۸۸).

۲-۱-۴-۲- کاشت غیرمستقیم

در کشت غیرمستقیم، هر دانه بذر را در یک گلدان پلاستیکی کوچک می‌کارند. برای تهیه خاک، یک برابر خاک گلدان و یک برابر دیگر ترکیبی از شن، کمپوست و پوشال برنج، مناسب است. تعداد ۲ تا ۳ دانه بذر در هر گلدان کاشته و هر روز صبح آبیاری می‌شود. نهال‌ها بعد ۱۵ تا ۲۰ روز در حالی که ارتفاع آن‌ها ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر است، آماده انتقال به زمین اصلی می‌شوند، سپس گیاه را از گلدان خارج و داخل زمین آماده شده می‌کارند. کارلا به سرعت و بلافاصله پس از دو هفته بعد از کاشت رشد می‌نماید و ساقه‌های رونده آن به صورت پیچکی حرکت می‌کند. برای رشد بهتر و همچنین برداشت آسان‌تر، بهتر است از قیم‌ها و شبکه

داربستی استفاده شود تا از نظر اندازه و راندمان محصول، نتیجه کار بهتر باشد و برداشت محصول و نگهداری آن به راحتی انجام شود (نورزایی، ۱۳۸۸).

۲-۱-۵- ارزش غذایی

برگ‌ها و ساقه‌های کارلا، غنی از ویتامین A، C، کلسیم، آهن و فسفر می‌باشد. همچنین دارای ترکیبات فیتوشیمیایی مثل لوتئین، الاسترول و لیکوپن می‌باشد. ارزش غذایی آن برابر با ۶۲ گرم میوه پخته شده، ۱۲ کیلوکالری انرژی، ۹۴ درصد آب، ۱ گرم فیبر، ۳ گرم کربوهیدرات، ۱گرم پروتئین، ترکیبات معدنی شامل ۶ میلی‌گرم کلسیم، فاقد آهن، روی و منگنز، ۱۹۸ میلی‌گرم پتاسیم، ۱۰ میلی‌گرم منیزیم، ۲۲ میلی‌گرم فسفر و ویتامین‌ها شامل ۷ میلی‌گرم ویتامین A و ۲۰ میلی‌گرم ویتامین C می‌باشد (چودهاری و همکاران، ۲۰۱۲).

۲-۱-۶- خواص دارویی

این گیاه دارای خواص دارویی از جمله درمان دیابت، کاهش قند خون، کاهش فشار خون، کاهش کلسترول و درمان گال و جوش‌های خارش‌دار می‌باشد. ریشه گیاه به افزایش دهنده توان جنسی معروف است و از برگ‌های آن نیز در درمان درد معده، تب، سرماخوردگی و تهیه نوعی چای استفاده می‌شود. از میوه های نارس، برگ‌ها و ساقه‌های جوان نیز به عنوان سبزی، سالاد و ترشی استفاده می‌شود (نورزایی، ۱۳۸۸). طبق تحقیقات مشخص شده است که عصاره کارلا منجر به کاهش قند خون می‌شود (چودهاری و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین کارلا می‌تواند جهت کاهش سطح گلوکز در بیماران دیابتی استفاده گردد. دانشمندان سه گروه از ترکیبات را در کارلا شناسایی کردند که مسئول کاهش قند خون می‌باشند و یکی از آن‌ها گلوکوزید سیتواستریل و گلوکوزید استیگمااستریل می‌باشد که به طور بالقوه‌ای می‌تواند جایگزین درمان با انسولین باشد (گادانگ و همکاران، ۲۰۱۱).

ترکیب دیگر پلی‌پپتید پی (نوعی انسولین گیاهی) در دانه و میوه کارلا یافت شد و از لحاظ ترکیب شباهت بسیار زیادی به انسولین دارد، بنابراین می‌تواند در درمان دیابت نوع ۱ مفید واقع شود. ترکیب سوم

آلکالوئیدها می‌باشند که در کاهش قند خون اثر دارند (چودهاری و همکاران، ۲۰۱۲). درمان با آب میوه کارلا سبب کاهش سطح گلوکز خون، بهبود وزن بدن و تحمل گلوکز می‌گردد. کارلا همچنین دارای خواص ضد سرطان است. محققان یافتند که عصاره کارلا باعث از بین بردن سلول‌های سرطانی سینه می‌گردد و از ازدیاد آن‌ها جلوگیری می‌کند. کارلا در طب سنتی توگو، به عنوان دارویی برای درمان بیماری‌های دستگاه گوارش استفاده می‌شود و عصاره کارلا در شرایط آزمایشگاهی فعالیت‌هایی علیه کرم مارپیچی نماتد سینورهبدیتیس الگانس (*Caenorhabditis elegans*) نشان داده است. در توگو این گیاه به طور سنتی در مقابل بیماری‌های ویروسی از جمله آبله مرغان و سرخک استفاده می‌شود. آزمون با عصاره برگ کارلا در شرایط آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گرفت که فعالیت‌هایی علیه ویروس تبخال نشان داد. همچنین آزمایشات نشان می‌دهد که ترکیبات موجود در کارلا برای درمان عفونت ویروس ایدز موثر می باشد (چودهاری و همکاران، ۲۰۱۲).

۲-۲- تنش‌های محیطی

تنش‌های محیطی به دو دسته عمده زیستی و فیزیکوشیمیایی یا غیرزیستی تقسیم می‌شوند. از جنبه زیست شناختی به انحراف از حد مناسب عوامل محیطی موثر تنش گفته می‌شود. تنش‌های فیزیکوشیمیایی خود نیز به پنج دسته تقسیم می‌شوند که از بین آن‌ها خشکی، شوری و دما به علت برخورداری از گستردگی جهانی بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (سرمدنیا، ۱۳۷۲). اعمال این شرایط می‌توانند باعث فعال شدن پاسخ دفاعی گیاه شوند که توسط آن گیاهان عواقب مضر این شرایط را می‌توانند به حداقل برسانند که این برای بقا، رشد و تکثیر گیاهان از ضروریات است (گوتزات و اسشید، ۲۰۱۲). بر اساس برآورد محققان مختلف، فقط ۱۰ درصد از اراضی قابل کشت دنیا عاری از هرگونه تنش است. به طورکلی، تنش‌های محیطی عبارت هستند از عامل عمده در اختلاف موجود دربین عملکرد واقعی و عملکرد بلقوه (درنسکو، ۱۹۹۶). در بیشتر موارد تنش به عنوان تغییر و دور شدن از شرایط مطلوب در نظر گرفته می‌شود و شامل تغییر تمام اعمال حیاتی در سطوح مختلف موجودات است.

این اثر در ابتدا می‌تواند موقت باشد و ممکن است دائمی گردد (سرمدنیا، ۱۳۷۲). معمولا شدت عامل تنش‌زا در محل اعمال اثر خود کمتر از شدت اولیه آن در محل دیگر است (جئورینگ و سواِست، ۱۹۷۰). یعنی گیاه از طریق فرآیند تکامل دارای مکانیسم‌هایی از جمله مقاومت، تحمل و اجتناب گردیده که سبب تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و تغییرات ژنی شده که به آن‌ها در حفظ و پایداری خود کمک می‌کند و در نتیجه از میزان اثرات سوء تنش می‌کاهد (راکعی و معالی امیری، ۱۳۹۱).

۲-۲-۱- تنش شوری

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده محدودکننده رشد گیاه است. تقریبا یک سوم از خاک‌های سیراب دنیا و نیز بخش بزرگی از خاک‌های تحت کشت مناطق خشک، شور می‌باشند (چاچمن و لیو، ۱۹۹۹). کمبود جهانی منابع آب، آلودگی محیط زیست و افزایش شوری اراضی و منابع آب از ویژگی‌های برجسته قرن بیست و یکم هستند (دجیلیانوف و همکاران، ۲۰۰۵). بر طبق مطالعات FAO[1] شوری ۷ درصد زمین‌های جهان را تحت تاثیر قرار داده است (گلدانی و لطیفی، ۱۳۷۶ ; باقری و همکاران، ۱۳۶۷) و نیز تولید گیاهان زراعی را در بیش از ۸۰۰ میلیون هکتار یا به عبارت دیگر، ۲۵ تا ۳۳ درصد سطح کل اراضی زراعی جهان را تحت تاثیر قرار داده است (رنگاسامی، ۲۰۱۰).

علاوه بر این، آبیاری بیش از حد و زهکشی نامناسب خاک‌ها سبب افزایش شوری خاک می‌شود. شوری در واقع، یک ویژگی از خاک و یا آب است که با حضور بیش از حد یون‌ها ناشی می‌شود، که ترکیب این یون‌ها، شامل نمک‌های قابل حل و عناصر معدنی محلول در آب و خاک است که منجر به تجمع نمک در ناحیه ریشه می‌شوند و نیز در جذب آب و عناصر غذایی گیاه اختلال بوجود می‌آورند (اشرف، ۱۹۹۴). یکی از مهم‌ترین مشکلات کشاورزی ایران شوری اراضی است. حدود ۱۰ درصد خاک‌های ایران را خاک‌های شور و سدیمی تشکیل می‌دهند (برزگر، ۱۳۷۹). ایران کشوری است با نواحی ساحلی، مرداب‌های شور و وسیع،

[1] Food And Agriculture Organization Of The United Nations

همراه با اکوسیستم‌ها و رودهای شور و۹۰ درصد سطح کشور در نواحی خشک و نیمه خشک قرار گرفته است (آخانی، ۲۰۰۶ ; قریشی و همکاران، ۲۰۰۷).

خاک‌های شور و قلیا در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران توسعه یافته و سطحی معادل ۲۵ میلیون هکتار از اراضی کشور را پوشش می‌دهد (جعفری، ۱۳۷۹). در این مناطق بارندگی کافی برای آبشویی نمک‌ها از منطقه ریشه وجـود نداشته و اغلب به دلیـل بالا بودن میزان تبخیر بـر غلظت نمک در سطح خـاک افزوده می‌شود (المَسوری و همکاران، ۲۰۰۱ ; پسارکلی، ۱۹۹۹). در خاک‌های ایران آنیون غالب کلرید است، ولی سولفات‌ها نیز در بعضی مناطق در مقادیر قابل توجهی وجود دارند. کاتیون غالب این خاک‌ها سدیم است. بنابراین نمک‌ها در این خاک‌ها به صورت عمده، کلرید سدیم و یا سولفات سدیم می‌باشند (جعفری، ۱۳۷۹). به طورکلی برای بهره برداری از زمین‌های شور دو راه وجود دارد، یکی کاهش شوری خاک و دیگری استفاده از گیاهانی که قادر به تحمل و تولید اقتصادی در این شرایط هستند (قادری و همکاران، ۱۳۸۰).

۲-۲-۲- اثرات تنش شوری در گیاه

با آغاز تنش شوری، رویداد و حوادث مختلفی در گیاهان اتفاق می‌افتد. مثلا مهار فعالیت آنزیمی در مسیرهای متابولیکی، کاهش جذب عناصر غذایی در ریشه‌ها، کاهش کارایی مصرف کربن و دناتوره شدن پروتئین‌ها و ساختمان‌های غشایی (اشرف، ۱۹۹۴). بیشترین حساسیت اغلب گیاهان زراعی به شوری در مراحل جوانه‌زنی و رشد می‌باشد. شوری می‌تواند بر روی جوانه زدن بذور از طریق کاهش پتانسیل اسمزی محیط رشد، سمیت یون‌های خاص از قبیل سدیم و کلر و کاهش یون‌های غذایی مورد نیاز مثل کلسیم و پتاسیم تاثیر گذارد. این عوامل فعالیت بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی بذر را با ممانعت از تنفس هوازی یا تحریک مراحل کاتابولیکی تغییر می‌دهد. کاهش رشد بیوماس گیاهان تحت شرایط شوری با ترکیب نمک، غلظت نمک، مرحله رشد گیاه و گونه یا رقم گیاهی متغیر است (ریمن و همکاران، ۱۹۹۶).

از تغییرات بیوشیمیایی کـه تحت تنش شوری اتفـاق می‌افتد، تـولید انـواع اکسیژن فـعال اسـت. الکترون‌های تراوش شده از زنجیره انتقال الکترونی می‌توانند با اکسیژن مولکولی واکنش نشان داده و تولید

انواع اکسیژن فعال مانند سوپراکسید (O_2^-) و پراکسیدهیدروژن (H_2O_2) و رادیکال هیدروکسیل (OH) نمایند. این انواع اکسیژن برای سلول بسیار واکنشگر و سمی هستند و در غیاب یک مکانیسم حفاظتی قوی ایجاد شده و به متابولیسم عادی لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه می‌زنند (داویز، ۱۹۸۷ ; فرانسوآ و ماس، ۱۹۹۴).

۲-۲-۳- تحمل گیاه به شوری

تحمل گیاهان به شوری ویژگی ثابتی نیست و ممکن است در مراحل مختلف رشد برای گونه‌های مختلف متفاوت باشد (ریمن و همکاران، ۱۹۹۶). یکی از مشخصه‌های تحمل به شوری در گیاهان، توانایی در حفظ نسبت ثابتی از Na^+ و K^+ درون سلولی می‌باشد. در مقادیر بالای شوری مقدار یون‌های پتاسیم کاهش یافته و با سدیم جایگزین شده که این عمل علاوه بر به هم زدن تعادل یونی باعث اختلال در متابولیسم سلولی نیز می‌شود (بلوم والد، ۲۰۰۴). بر اساس تحقیقات گول و وبر (۱۹۹۹) بر روی گیاه *Allerolfea occidentalis*، با افزایش غلظت NaCl جوانه‌زنی متوقف شده و سرعت جوانه‌زنی نیز کاهش می‌یابد. همچنین مطالعات نشان دادند که درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور با افزایش شوری کاهش می‌یابند (باقری کاظم آباد و همکاران، ۱۳۶۷ ; گلدانی و لطیفی، ۱۳۷۶). آبید و همکاران (۲۰۰۱) بیان کردند که شوری ناشی از کلروسدیم در گیاه ذرت باعث کاهش میزان رشد نسبی و به طبع آن، کاهش ماده خشک کل گیاه می‌گردد. کایا و هیگز (۲۰۰۳) گزارش کردند که شوری موجب کاهش نیتروژن در خیار، گوجه فرنگی، کاهو و بادمجان می‌شود، در صورتی که غلظت بالای کلرید سدیم، پتاسیم را در اسفناج، گوجه فرنگی، ذرت و نخود کاهش می‌دهد.

۲-۲-۴- مکانیسم‌های تحمل به شوری در گیاهان

در بین مکانیسم‌های تحمل به شوری، شناخت فرایندهای Ion-Inclusion و Ion-Exclusion از دیرباز صورت گرفته است. گیاهان Ion-Inclusion (ممانعت کننده) از ورود یون‌ها یا نمک، به بخش هوایی گیاه جلوگیری می‌کنند و گیاهان Ion-Exclusion (حبس کننده) مقادیر زیادی از نمک جذب و به بخش هوایی

منتقل می‌کنند و بسیاری از آن‌ها را در واکوئل خود ذخیره کرده و آبدار یا گوشتی می‌شوند. برخی از گیاهان حبس‌کننده دارای غدد ویژه‌ای روی سطح برگ هستند که نمک اضافی را خارج می‌کند (اشرف، ۱۹۹۴).

بدون شک تنظیم اسمزی در مواجهه با تنش شوری به عنوان یکی از مکانیسم‌های مهم و موثر تحمل به شوری در گیاهان زراعی شناخته شده است. گیاهان مقاوم به شوری ممکن است به نسبت Na^+/K^+ در سلول بیشتر از غلظت Na^+ وابسته باشند. گیاه مقاوم با ساختن موادی با قابلیت انحلال زیاد که خاصیت اسمزی داشته باشند همانند گلسین بتائین، فری پرولین و قندهایی با وزن مولکولی کوچک فشار اسمزی خود را تنظیم کرده تا بتواند فشار تورژسانس را حفظ کند (جیمز، ۱۹۶۹). اشرف و مک نیلی (۲۰۰۴) بیان داشتند که واریته‌های متحمل به شوری در هنگام مواجه با شوری دارای غلظت سدیم و کلر کمتر و بالعکس غلظت پتاسیم، منیزیم و کلسیم بیشتر در بخش‌های هـوایی خود بوده و در نتیجه ایـن واریته‌ها در مقایسه بـا واریته‌های حساس نسبت Ca^{2+}/ Na^+ و K^+/ Na^+ بالاتری دارند.

۲-۳- عناصر سنگین

مهم‌ترین آلاینده‌های خاک شامل فلزات سنگین، بارش اسیدی و مواد آلی می‌باشند، از این بین، فلزات سنگین در سالیان اخیر به دلیل خصوصیات آلایندگی‌شان در خاک شدیدا مورد توجه قرار گرفته‌اند. تغییرات مکانی محتویات فلزات سنگین در خاک سطحی کشاورزی ممکن است تحت تأثیر مواد خاک مادری و منابع انسانی باشد، به عبارت دیگر این فلزات به طور طبیعی در خاک وجود دارند، اما در اثر فعالیت‌های انسانی هم، به خاک افزوده می‌شوند. در حقیقت فعالیت‌های انسانی ممکن است منجر به تجمع بیشتر فلزات سنگین در خاک شود (یالچین و همکاران، ۲۰۰۷). آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی ممکن است منجر به بی‌نظمی در ساختار خاک، دخالت در رشد گیاه و حتی آسیب به سلامت انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی گردد (لی و همکاران، ۲۰۰۶). مطالعات اخیر نشان داده است که قرار گرفتن انسان در معرض مقادیر بیش از حد نیکل، کروم، کادمیوم و آرسنیک، طیف وسیعی از عوارض جانبی از جمله اختلالات سیستم عصبی و گوارشی، اختلال در عملکرد طبیعی اندام‌های داخلی (به عنوان مثال، ریه‌ها،

کلیه‌ها، کبد، و غیره)، آسیب به عملکرد گردش خون (به عنوان مثال آسم و برونشیت مزمن) و بسیاری از عواقب نامطلوب دیگر را دربر خواهد داشت (لی و همکاران، ۲۰۰۶ ; جونگ و همکاران، ۲۰۰۶ ; بورگر، ۲۰۰۸).

۲-۳-۱- کروم

کروم هفتمین عنصر فراوان روی کره زمین (پاندا و چودهاری، ۲۰۰۵) و از جمله عناصر واسطه جدول تناوبی است که در دهه اخیر به عنوان یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های محیطی محسوب شده است. مطابق تعریف فلزات سنگین (پراساد و استرزاکا، ۲۰۰۲)، کروم با داشتن چگالی مخصوص ۷/۲ در دسته فلزات سنگین جـای می‌گیرد که به دلیل سمیتی که ایجاد می‌کند در مقادیر بالا می‌تواند باعث صدمه زدن به سیستم‌های زیستی شود. کروم یکی از فلزات سنگین است که در گروه عناصر ضروری برای گیاهان قرار ندارد (ابدول، ۲۰۱۱). در مطالعه‌ای که در کشور ترکیه انجام گرفته است، نشان داده‌اند که غلظت کروم در گیاهان، خاک و خون افراد اطراف کارخانه سیمان بیشتر از سایر نقاط است، ولی اثرات سمی کروم (آماس پوست) در افراد مشاهده نشد، اما محققین احتمال می‌دهند این اثرات با افزایش سن در افراد مشاهده گردد (ایکلی و همکاران، ۲۰۰۳). در تحقیقی محققین مقدار کروم، نیکل و کبالت در نمونه‌های محیط زیست و نرم مجاز آن را مقایسه نموده و نتیجه گرفته‌اند که این عناصر از طریق تکنولوژیکی به طور دائم در حال افزایش هستند و می‌توانند به حد سمی در محیط زیست برسند.

از یک سو این عناصر برای متابولیسم حیاتی مهم هستند و از طرف دیگر وقتی غلظت آن‌ها به حد بحرانی برسد، این عناصر تخریب کننده محیط زیست و عامل بیماری‌زایی در ارگانیسم‌ها خواهند بود. آن چه از همه مهم‌تر است، کارسیوژنیک و موتاژنیک بودن آن‌ها در حیوانات و انسان است (بارالکیوز و سیپاک، ۱۹۹۹). منشأ آلودگی به کروم بسیار متنوع می‌باشد که از جمله می‌توان به صنایع دباغی، آبکاری، فولاد، رنگ و معدن‌کاری (به عنوان منابع بشرزاد) و هوازدگی کانی‌های حاوی کروم (به عنوان منابع زمین‌زاد) اشاره نمود (ری و همکاران، ۱۹۸۸).

۲-۳-۲- اشکال مختلف کروم

کروم اساساً در دو حالت کروم سه ظرفیتی Cr(III) و شش ظرفیتی Cr(VI) یافت می‌شود. کروم شش ظرفیتی عمدتاً به صورت یون‌های هیدروکرومات ($HCrO^-_4$)، کرومات (CrO^-_4) و دی‌کرومات ($Cr_2O^{-2}_7$) در خاک و محیط‌های زیر سطحی یافت می‌شود. کروم سه ظرفیتی به علت جذب سطحی بالا به سطح ذرات خاک و تشکیل هیدروکسیدکروم غیر قابل حل در آب، سمیت و تحرک کمتری نسبت به کروم شش ظرفیتی دارد. آنیون کروم شش ظرفیتی به علت تحرک بالا در محیط‌های زیرسطحی و همچنین خاصیت سرطان‌زایی و مخربی که برای بافت‌های زنده دارد، توجه زیادی را در چند سال اخیر به خود معطوف کرده است (استپنیوزکا و بوسیور، ۲۰۰۱). در تحقیقی سمیت کروم در گیاهان بررسی شده مشخص شده است که کروم مورد استفاده در صنایع از آلاینده‌های محیط زیست است، به طوری که آلودگی آب و خاک با کروم نگران‌کننده است. بر اساس این تحقیق میزان آلودگی کروم در ارتباط با ظرفیت آن است به طوری که Cr(VI) خیلی سمی است، در حالیکه Cr(III) کمتر سمی می‌باشد (شانکر و همکاران، ۲۰۰۵). معمول‌ترین کانی کروم، کرومیت با فرمول شیمیایی $\{(Mg, Fe^{2+})(Cr, Al, Fe^{3+})_2O_4\}$ می‌باشد، اما این عنصر در اسپینل‌ها، گارنت، آمفیبول و پیروکسن هم دیده می‌شود (ریمن و کاریتات، ۱۹۹۸).

۲-۳-۳- سمیت کروم در گیاه

نشانه‌های سمیت کروم در گیاه به صورت‌های متوقف شدن رشد گیاه، آسیب دیدن ریشه و کلروسیز در برگ‌های جوان، نوارهای رنگی بر روی حبوبات و وجود برگ‌های قرمز مایل به قهوه‌ای در بعضی از گیاهان ظاهر می‌شود (زاید و تری، ۲۰۰۳). سمیت کروم در گیاهان به ظرفیت آن بستگی دارد. کروم شش ظرفیتی دارای درجه بالایی از سمیت و تحرک است، در حالی که کروم سه ظرفیتی سمیت کم‌تری دارد. اثرات سمی کروم بر رشد و نمو گیاه در مراحل جوانه‌زنی، رشد ریشه، ساقه و برگ مشاهده می‌شود (شانکر و همکاران، ۲۰۰۵). جوانه‌زنی دانه اولین مرحله فیزیولوژیکی است که تحت تاثیر کروم قرار می‌گیرد (پیلای، ۱۹۹۴).

طبق نظر زوراک (۲۰۰۱)، کاهش جوانه‌زنی دانه در اثر تنش کروم، ناشی از کاهش فعالیت آنزیم آمیلاز است. کاهش رشد ریشه تحت تاثیر فلزات سنگین در گیاهان می‌تواند به دلیل ممانعت از فرآیندهای تقسیم سلولی در ریشه باشد (آرون و همکاران، ۲۰۰۵). کروم بر رشد بخش هوایی، تاثیر نامطلوبی دارد. علت عمده این کاهش را می‌توان به کاهش رشد ریشه و متعاقب آن انتقال کم‌تر آب و مواد غذایی به بخش‌های هوایی گیاه نسبت داد. علاوه بر این، انتقال کروم به بخش هوایی اثر مستقیمی بر متابولیسم سلولی در بخش‌های هوایی دارد و منجر به کاهش ارتفاع گیاه می‌شود. کروم همچنین بر فرآیندهای فیزیولوژیکی نظیر فتوسنتز، روابط آبی و تغذیه معدنی تاثیر زیان‌باری دارد (شانکر و همکاران، ۲۰۰۵). کروم به دلیل شباهت ساختاری با بعضی عناصر ضروری، تغذیه معدنی گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد (آرون و همکاران، ۲۰۰۵).

تغییرات متابولیکی نیز توسط کروم در گیاهان ایجاد می‌شود. این تغییرات از طریق اثر مستقیم این فلز بر آنزیم‌ها، متابولیت‌ها و یا توانایی آن در تولید گونه‌های واکنشگر اکسیژن (ROS)[۲] و ایجاد تنش اکسیداتیو، اعمال می‌شود. تنش اکسیداتیو منجر به آسیب سلولی می‌شود (شانکر و همکاران، ۲۰۰۵). کروم همچنین بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سیتوکروم اکسیداز و نیترات ردوکتاز تاثیر دارد (ابدول، ۲۰۱۱). دامنه سمیت کروم برای گیاهان زراعی از ۰/۵ تا ۵ میلی‌گرم بر لیتر در محلول غذایی می‌باشد (پاندا و چودهاری، ۲۰۰۵).

۲-۳-۴- سمیت کروم در خاک

میانگین غلظت کروم در خاک‌ها ۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است و غلظت‌های بیشتر مربوط به خاک‌های مشتق شده از سنگ‌های مافیک و رسوبات آرژلیتی که تحت تاثیر فرسایش قرار گرفته‌اند، می‌باشند (گورتین و همکاران، ۲۰۰۵). جذب کروم بوسیله خاک، به درصد رس خاک و با قدرت کمتری به درصد هیدرواکسیدهای آهن و مواد آلی خاک بستگی دارد (بارتلت، ۱۹۹۹). بطور کلی خاک‌هایی که از

[2] Reactive Oxygen Species

سرپانتینیت‌ها منشأ می‌گیرند نسبت به دیگر سنگ‌ها بالاترین مقدار عناصر سنگین را دارا می‌باشند. دامنه سمیت کروم در خاک ۵ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است (پاندا و چودهاری، ۲۰۰۵).

۲-۴- قارچ میکوریزا

میکوریزا را می‌توان به عنوان یک ساختار زنده که در آن همزیستی بین قارچ و ریشه گیاه به وجود آمده و منجر به افزایش توان ماندگاری هـر دو موجود می‌گردد، نام برد. کلمه همزیستی اولین بـار توسط دی‌باری (۱۸۸۷) برای زندگی مشترک یک پارازیت با میزبان بکار رفت (علی اصغرزاده و صالح راستین، ۱۳۸۰). در این حالت دو موجود زنده با هـم رابطه متقابلی دارند که هر دو از آن سود می‌برند و بدون وجـود یکدیگر نمی‌توانند به زندگی ادامه دهند و در صورت دور بودن از یکدیگر هر دو زیان می‌بینند (اردکانی، ۱۳۸۴). اصطلاح میکوریزا اولین بار توسط فرانک (گیاه شناس آلمانی) در ۱۸۸۵ برای توصیف رابطه همزیستی بین ریشه گیاهان و قارچ‌ها مورد استفاده قرار گرفت. قبل از او نیز برخی بیولوژیست‌های گیاهی چنین ارتباطاتی را گزارش کرده بودند. ریسک در ۱۸۷۴ وجود ریسه‌های قارچی را در نهاندانگان مختلف و مخصوصا ارکیداسه شرح داد. او برای اولین بار عنوان کرد که در همزیستی میکوریزی، موادی که از خاک جذب گیاه می‌شوند بایستی از لایه قـارچی عبور کنند (اسمیت و رید، ۱۹۹۷).

فرانک (۱۸۹۴) در مقاله خود نشان داد که درختان کـاج میکوریزی سریع‌تر از غیر میکوریزی رشد می‌کنند. میکوریزا به صورت تحت لفظی به معنی قارچ ریشه است (اسمیت و رید، ۱۹۹۷). ریشه گیاه و ریزوسفر، زیستگاه مناسبی را برای فعالیت بسیاری از میکروارگانیسم‌های خاک فراهم می‌نمایند. همزیستی میکوریزایی از رایج‌ترین و سابقه‌دارترین رابطه همزیستی در سلسله گیاهان است و یکی از مهم‌ترین انواع میکوریزاها، میکوریزای آرباسکولار (AM) می‌باشد که از نظر کشاورزی اهمیت فوق‌العاده زیادی دارد و به عنوان یک نوع کود زیستی برای افزایش محصولات کشاورزی با اهمیت می‌باشد، زیرا ریشه اغلب گیاهان مرتعی، زراعی و باغی با میکوریزا همزیست هستند (شارما و جوهری، ۲۰۰۲ ; نوربخش و حاج عباسی،

۱۳۷۸) و در اکثر اکوسیستم‌ها وجود دارد به طوری که اکثر گیاهان (در حدود ۹۵ درصد گونه‌های گیاهان آوندی) لااقل یکی از تیپ‌های میکوریزا را دارا هستند (صالح راستین، ۱۳۷۷).

همزیستی قارچ با گیاهان از حدود یک قرن پیش مشخص شده است و تا امروز اطلاعات فراوانی در مورد ویژگی‌های ساختاری، پراکنش، فیزیولوژی و بوم‌شناسی این همزیستی به دست آمده است. تأثیرات متنوع و مثبت ناشی از برقراری این نوع همزیستی بر بقاء و افزایش رشد گیاهان میزبان در مناطق مختلف جهان از اوایل دهه ۱۹۷۰ به بعد مورد توجه محققین قرار گرفته و تاکنون تحقیقات زیادی در این زمینه به انجام رسیده است. مطالعه روی ساختار میکوریزا اولین بار توسط آنگر در سال ۱۸۳۰ صورت گرفت و فرانک گیاه‌شناس آلمانی، در سال ۱۸۸۵ کلمه‌ی یونانی *Mycorrhizae* را که به معنی ریشه‌ی قارچی است، بکار برد که از دو بخش *Myco* به معنای قارچ و *Rhizae* به معنی ریشه تشکیل شده است.

۲-۴-۱- مزایای تلقیح قارچ میکوریزا

- افزایش جذب مواد غذایی مانند فسفر.
- افزایش تحمل گیاه میزبان به پاتوژن‌های ریشه‌ای.
- افزایش تحمل تنش‌های آبی و شرایط نامطلوب محیطی (آلودگی عناصر سنگین).
- افزایش کارایی تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌های رایزوبیوم (بهبود تشکیل غده‌های تثبیت کننده نیتروژن اتمسفر توسط لگوم‌ها).

میکوریزا به عنوان یک نمونه همزیستی گسترده کلاسیک است که در آن قارچ مواد غذایی را از خاک جذب و به گیاه انتقال داده و در مقابل گیاه کربن فتوسنتزی تثبیت شده را به قارچ منتقل می‌کند. بیشتر گیاهان از طریق این همزیستی ۵۰۰ میلیون سالی، بسیاری از مواد غذایی مورد نیاز خود را تامین نموده‌اند (اسمیت و رید، ۱۹۹۷).

۲-۴-۲- طبقه‌بندی انواع قارچ میکوریزا

میکوریزا به دو دسته کلی اکتومیکوریزا و اندومیکوریزا تقسیم می‌شود، که در حالت اندومیکوریزا، میسیلیوم قارچ به داخل بافت ریشه و سلول‌های روپوست و پوست نفوذ می‌کند، ولی هیچ نوع میسیلیومی بر سطح ریشه مشاهده نمی‌شود، در نتیجه هیف‌ها در داخل و یا در فضای سلول‌های میزبان قرار می‌گیرند. این قارچ به آندودرم و استوانه‌ی آوندی و مریستم‌های ریشه نفوذ نمی‌کند. در همه‌ی قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار هیف داخل سلول می‌تواند ساختاری مشابه با مکنده ایجاد کند که از نظر شکل ظاهری درختچه مانند است و آرباسکول نامیده می‌شود و وظیفه آن تبادل مواد غذایی مابین قارچ و گیاه میزبان است (اسمیت و رید، ۱۹۹۷).

عمر هر آرباسکول بین ۷ – ۱۴ روز است و پس از این مدت، آرباسکول تخریب و جذب سلول گیاهی می‌شود. هر آرباسکول توسط غشای پلاسمایی سلول‌های میزبان احاطه شده است. به غیر از آرباسکول، وزیکول‌ها که اندام‌های بیضوی یا تخم‌مرغی شکل و غنی از ترکیبات لیپیدی با دیواره نازک هستند، از متورم شدن سلول‌های میانی یا انتهایی هیف‌های درون ریشه‌ای تشکیل می‌شوند که در برخی جنس‌ها دیده نمی‌شود. احتمال می‌رود بعد از آن که اعمال متابولیسمی ریشه‌ی گیاه متوقف می‌شود، قارچ‌های میکوریزا با استفاده از منبع ذخیره شده در وزیکول رشد خود را از سر می‌گیرند. استقرار میکوریزا در ریشه باعث تغییر فیزیولوژی گیاه می‌شود، مانند تغییر در ترکیب عناصر در بافت‌های گیاهی، تعادل هورمونی و الگوی تخصیص منابع کربن (اسمیت و رید، ۱۹۹۷).

همچنین میکوریزا، ترکیب ترشحات ریشه را تغییر می‌دهد و گسترش میسیلیوم‌ها در خاک به عنوان منبعی از کربن برای جوامع میکروبی خاک عمل می‌کند و باعث تغییر فیزیکی محیط خاک می‌شود (گریندلر، ۲۰۰۰). همچنین کلونیزاسیون میکوریزا باعث تغییرات وسیع شاخص‌های مورفولوژیکی ریشه به ویژه افزایش شاخه‌دهی ریشه می‌شود (برتا و همکاران، ۲۰۰۲). ریسه‌های قارچ که در اطراف و در داخل ریشه پخش می‌شوند نقش یک ریشه‌ی ثانویه را برای گیاه میزبان بازی می‌کنند. در بسیاری موارد علاوه بر

اثر این نوع میکروارگانیسم‌ها بر افزایش محصول، نقش مهمی در حفظ تعادل اکولوژیک در خاک ایفا می‌کنند (ابوت و مورفی، ۲۰۰۷).

۲-۴-۳- تاثیر قارچ میکوریزا بر عملکرد گیاهان

نسیم و همکاران (۲۰۰۷) در یک بررسی گلخانه‌ای بر روی گیاه ماش نشان دادند که کلونیزاسیون میکوریزی به طور معنی داری وزن صد دانه را در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزی افزایش داد. همچنین هانگ و همکاران (۲۰۰۹) بیان داشتند که قارچ میکوریزا سبب افزایش میزان بیومس ذرت می‌شود. لیو و همکاران (۲۰۰۳) اظهار داشتند که ارقام برگ ایستاده ذرت و در سطوح پایین فسفر گیاهان میکوریزی در مقایسه با سایر تیمارها وزن بیشتری داشتند. الباس و دلیما (۲۰۰۵) گزارش کردند که تلقیح سویا با قارچ میکوریزا موجب افزایش وزن خشک ساقه و قطر ساقه گردید. روتور و دلیما (۲۰۱۰) در بررسی بر روی گیاه ذرت نشان دادنـد که کلونیزاسیون میکوریزی به طـور معنـی داری ارتفاع گیاه ذرت را افزایش می‌دهد. صالح و الگرین (۲۰۰۶) با مطالعه بر روی گیاه ذرت دریافتند که گیاهان میکوریزی در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزی دارای کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید برگ بیشتری بودند.

۲-۴-۴- میکوریزا و اثرات تغذیه‌ای آن در گیاه میزبان

این قارچ‌ها با ریشه ۸۰٪ گونه‌های گیاهی همزیستی برقرار می‌کنند (جیانینازی و پرسنو، ۱۹۸۶) و همزیستی آن‌ها با ریشه مرکبات (مهراوران و مینازیان، ۱۹۸۳)، پسته (مهراوران، ۱۹۸۹)، سویا (کیومرثی و همکاران، ۱۹۸۹)، زعفران (کیانمهر، ۱۹۹۱)، گندم، جو، ذرت و سورگوم (صدروی و همکاران، ۲۰۰۱)، مورد بررسی قرار گرفته است. جهان و همکاران (۱۳۸۶) اظهار داشتند که تلقیح بذور ذرت با انواع باکتری‌ها (قارچ میکوریزا، ازتوباکتر و آزوسپریلوم) سرعت فتوسنتز گیاه، ماده خشک تولیدی و شاخص کلروفیل را بصورت معنی داری افزایش می‌دهد.

راین و همکاران (۲۰۰۲) بیان داشتند که استفاده از قارچ‌های میکوریزا سرعت رشد گیاه را افزایش داده و بر تخصیص بیوماس بین ریشه و ساقه و نسبت آن‌ها اثر می‌گذارد، به طوری که با جذب بیشتر عناصر

غذایی و انتقال آن‌ها، وزن خشک اندام‌های هوایی افزایش می‌یابد (شریعتی و همکاران، ۱۳۹۰). بسریل و همکاران (۲۰۰۲) در بررسی اثر قارچ‌های میکوریزی بر روی گیاه لوبیا در خاک‌های آلوده به عنصرکادمیوم نشان دادند که با افزایش کادمیوم به خاک، بیوماس و رشد ریشه گیاه کاهش می‌یابد ولی در حضور قارچ‌های میکوریزی کادمیوم اثر منفی معنی‌دار بر بیوماس گیاه ندارد. قارچ‌های میکوریزی عملکرد گیاه لوبیا را در حضور کادمیوم نسبت به شاهد بدون قارچ افزایش دادند. قارچ میکوریزا رشد گیاه و سازگاری به تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهد (اینتری و همکاران، ۲۰۰۲ ; صالح الگارنی، ۲۰۰۶) و روی عملکرد گیاه اثر مثبتی دارد. در شرایط وجود مقادیر بالای فسفر در خاک، گیاهان نیازی به فسفر آماده شده از طریق قارچ ندارند، در این شرایط گیاهان ترجیح می‌دهند بدون صرف هزینه (انتقال کربن به میکوریزی آربوسکولار) فسفر مورد نیاز خود را از سیستم ریشه‌ای تأمین نمایند (خالیق و سندرز، ۲۰۰۰ ; کهیلوتو و همکاران، ۲۰۰۱) و در شرایطی که منابع کربن محدود باشد (نور پائین) قارچ به صورت انگل عمل می‌کند (سان و اسمیت، ۱۹۸۸). از شاخص‌های مهم فعالیت قارچ‌های میکوریزا، میزان کلونیزاسیون سیستم ریشه‌ای توسط این قارچ‌ها می‌باشد که به وسیله عوامل مختلفی از جمله خصوصیات ظاهری و ساختمانی سیستم ریشه‌ای، مقدار و کیفیت ترشحات ریشه‌ای، مصرف کودهای شیمیایی فسفر و غلظت‌های بالای عناصر سنگین تحت تأثیر قرار می‌گیرد (الکراکی و کلارک، ۱۹۹۸ ; گاویتو و میلر، ۱۹۹۸).

در یک آزمایش گلخانه‌ای با تلقیح دو گونه قارچ میکوریزا *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه گوجه‌فرنگی افزایش یافت. همچنین با بررسی روابط همبستگی بین خصوصیات اندازه‌گیری شده، مشخص گردید که درصد کلونیزاسیون ریشه با درصد فسفر بخش هوایی همبستگی مثبت و معنی‌داری ($\rho \leq ۰/۰۱$) داشت (علیزاده اسکوئی، ۱۳۸۰). در تحقیق دیگری تلقیح قارچ میکوریزایی *Glomus intraradices* در ذرت علوفه‌ای (رقم سینگل کراس ۷۰۴) عملکرد ماده خشک ($\rho \leq ۰/۰۵$) و درصد کلونیزاسیون ریشه ($\rho \leq ۰/۰۱$) را افزایش داد (امیرآبادی و همکاران، ۱۳۸۸). ارتاس و هریس (۱۹۹۶) اظهار داشتند که استفاده از قارچ میکوریزا سرعت رشد گیاه را افزایش داده و بر

تخصیص و انتقال عناصر غذایی بین ریشه و ساقه اثر گذاشته، به طوری که با افزایش جذب عناصر غذایی و انتقال آن‌ها وزن خشک اندام هوایی افزایش یافت.

الکراکی (۲۰۰۶) نیز گزارش کرد که تلقیح بذور گوجه‌فرنگی با *Glomus mosseae* باعث افزایش ماده خشک ریشه، اندام هوایی و همچنین غلظت فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس شد. همچنین سانازارو و همکاران (۲۰۰۶) اثر قارچ *Glomus intraradices* را بر نوعی عدس بررسی کردند، نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که قارچ میکوریزا رشد گیاه را بهبود بخشیده بود. ثواقبی و همکاران (۱۳۸۹) نیز در بـررسی روی گیاه گندم بـه ایـن نتیجه رسیدند که در رقـم سیستان با تلقیح *Glomus etunicatum* وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه افزایش یافت و تلقیح با *Glomus intraradices* منجر به افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه شد. تاکور و پانوار (۱۹۹۷) گزارش کردند که میکوریزا در گیاه لوبیا باعث ۹/۱ درصد افزایش در سطح برگ شد.

همچنین گزارش‌هایی وجود دارد مبنی بر اینکه قارچ‌های همزیست میکوریزا سطح برگ را مستقیماً افزایش نمی‌دهند، بلکه بر دوام سطح برگ و وزن مخصوص برگ تأثیر می‌گذارند (والنتین و همکاران، ۲۰۰۶ ; رایت و همکاران، ۱۹۹۸). یکی دیگر از فواید میکوریزا افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده می‌باشد. فنگ و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیق خود بر روی تأثیر تنش خشکی بر میزان تحمل گیاه ذرت میکوریزایی شده، مشاهده کردند که وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی در نتیجه همزیستی با میکوریزا (جنس گلوموس) افزایش یافت. آن‌ها این موضوع را به افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول و مقدار الکترولیت در ریشه‌ها نسبت دادند و آن را ناشی از ظرفیت بالای چنین گیاهانی برای تنظیم اسمزی دانستند. سوبرامانیان و همکاران (۲۰۰۵) نیز اثر قارچ میکوریزایی *Glomus intraradices* را بر تولید میوه، گل و همچنین کیفیت میوه گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی بررسی کردند. بر این اساس، قارچ میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار در تعداد گل و میوه شده بود و میوه‌ها از کیفیت بالاتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی برخوردار بودند و وزن خشک اندام هوایی، جذب فسفر و پتاسیم در ساقه و ریشه گیاهان میکوریزی به طور قابل توجهی افزایش یافته بود.

در سطوح مختلف شوری نیز کلونیزاسیون میکوریزا سبب افزایش شاخص‌های رشد (سطح برگ، ارتفاع گیاه و قطر ساقه) در سطح پایین فسفر خاک گردید. تأثیر مثبت این قارچ بر وزن خشک قسمت هوایی و ریشه گیاه نیز در سطح فسفر پایین معنی‌دار بود. اما با افزایش فسفر به خاک به دلیل کاهش درصد کلونیزاسیون ریشه اثر تلقیح میکوریزایی محدود گردید. همچنین همزیستی میکوریزا اثر بسیار معنی‌داری بر جذب عناصر غذایی توسط گیاه داشت و باعث افزایش جذب فسفر گردید (قول لرعطا، ۱۳۸۴). نتایج تحقیق حاجی‌بلند و همکاران (۲۰۰۹) بر روی گیاه برنج نشان داد که تلقیح میکوریزا به طور معنی‌داری جذب فسفر را افزایش داد و در شرایط غرقابی تلقیح گیاه برنج با *Glomus mosseae* باعث افزایش معنی‌دار جذب فسفر در هر دو تیمار کود فسفر شد ولی در شرایط غیر غرقابی تلقیح میکوریزا باعث کاهش آن شد. تحقیقات متعدد نشان می‌دهد که فسفر، ازت، پتاسیم، روی، مس، گوگرد، کلسیم و آهن توسط سیستم میکوریزا جذب می‌شوند و به گیاه منتقل می‌شوند (بریتو و همکاران، ۲۰۰۸).

بطور کلی مکانیسم جذب از طریق افزایش حجم خاک قابل دسترس توسط ریسه‌های قارچ است (اسمیت و رید، ۲۰۰۸). تلقیح بذر باقلا با میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار جذب مواد غذایی در مقایسه با شاهد شد. در بین عناصر غذایی بیش‌ترین نقش مایکوریزا در جذب فسفر است (اختر و صدیقی، ۲۰۰۸). تورک و همکاران (۲۰۰۶) اظهار نمودند که نقش اصلی قارچ‌های میکوریزی تأمین فسفر برای ریشه گیاه است، زیرا فسفر در خاک عنصری فوق العاده کم تحرک است. حتی در صورتی که فسفر به شکل محلول به خاک اضافه شود، به سرعت در اشکال فسفات کلسیم یا دیگر اشکال تثبیت شده و به صورت غیرمتحرک در می‌آید. لذا قارچ‌های میکوریزا در افزایش جذب مواد معدنی به ویژه فسفر و تجمع زیست توده بسیاری از محصولات در خاک‌هایی با فسفر کم، تأثیر مثبت دارند. بعلاوه هیف‌ها از راه افزایش سطح تماس یا از راه افزایش طول مؤثر ریشه جذب عناصر غذایی را به شدت افزایش می‌دهند (پل، ۲۰۰۷).

طبق اظهارات آلن و همکاران (۱۹۹۲) هر ۱ سانتی‌متر مکعب خاک دارای ۲ الی ۴ سانتی‌متر ریشه ۱ تا ۲ متر تارهای کشنده و بیش از ۵۰ متر هیف می‌باشد. قسمت اعظم فسفر موجود در خاک، غیرمحلول و غیرقابل استفاده مستقیم گیاه است. مطالعات متعدد نشان داده است که میکوریزا می‌توانند آنزیم فسفاتاز

سنتز کنند و از این راه امکان دسترسی به فسفر را افزایش دهند. برخی از انواع میکوریزا اسیدهای کلات کننده تولید می‌کنند و از این راه حلالیت فسفر را برای جذب افزایش می‌دهند (جز و همکاران، ۲۰۰۵). حضور فرآیندهای جذبی چون افزایش سطح جذب ریشه، کاهش pH محیط ریشه و فعالیت زیاد آنزیم فسفاتاز در میسلیوم قارچ‌های میکوریزا و اثر این قارچ در حلالیت فسفر آلی موجب شده که قارچ‌های میکوریزا از منابع فسفر غیر قابل استفاده گیاه نظیر سنگ فسفات، فسفات کلسیم و فسفات آلی استفاده کنند و از طریق همزیستی در اختیار گیاه قرار دهند. قارچ‌های میکوریزا، فسفات موجود در محلول خاک را توسط ناقل‌های فسفات موجود در میسلیوم و خارج ریشه جذب شده به صورت پلی‌فسفات در ریشه تجمع می‌یابد و توسط جریان پرتوپلاسمی سلول‌های میسلیوم به میسلیوم‌های داخلی ریشه انتقال می‌یابند. درون ریشه پلی فسفات هیدرولیز شده و به صورت فسفات در اندام‌های قارچی درون ریشه بخصوص آرباسکولار به داخل ریشه رها می‌شود، به همین دلیل در گیاهان میکوریزی فسفر بیشتری دیده می‌شود (فلاح و همکاران، ۱۳۸۵).

۲-۴-۵- تاثیر قارچ میکوریزا و افزایش جذب آب

شواهد بسیار زیادی وجود دارد که نشانگر این است که میکوریزا می‌توانند سبب تغییراتی در روابط آبی گیاه و بهبود مقاومت به خشکی و یا تحمل در گیاه میزبان شود (اوگ، ۲۰۰۱ ; عامریان و همکاران، ۲۰۰۱). بسیاری از محققین این خصوصیت را یک واکنش ثانویه در نتیجه بهبود جذب عناصر غذایی می-دانند (اوگ، ۲۰۰۱). افزایش جذب آب به دلیل افزایش سطح جذب کننده و توان جذبی بیشتر هیف‌ها نسبت به سیستم ریشه‌ای که نتیجه آن ایجاد مقاومت بیشتر گیاه نسبت به کمبود رطوبت و شرایط خشکی می‌باشد (ملکوتی، ۱۳۸۴). مطالعات بیشتر در خصوص تاثیر همزیستی میکوریزا در شرایط استرس خشکی نشان می‌دهد که این قارچ‌ها می‌توانند تاثیر مثبتی در روابط آبی و حتی به تاخیر انداختن نقطه پژمردگی در گیاهان داشته باشند (عامریان و همکاران، ۲۰۰۱).

۲-۴-۶- اثر میکوریزا آربوسکولار (AM) بر بهبود خواص فیزیکی خاک

خواص فیزیکی خاک در تعیین قابلیت استفاده از آن برای مقاصد گوناگون حائز اهمیت می‌باشد. قدرت ذخیره رطوبت، سهولت نفوذ ریشه گیاهان در خاک، تهویه و قابلیت نگهداری عناصر غذایی گیاهان در خاک همگی ارتباط نزدیکی با خـواص فیزیکی خاک دارند. خـاک ترکیبی از ذرات شـن، لـوم و رس است کـه با اندازه‌های متفاوت بوسیله مواد آلی و غیرآلی به یکدیگر چسبیده‌اند. در طبیعت، پایداری این دانه‌ها نسبت به آب و خلل و فرج بین آن‌ها بر نفوذپذیری، زهکشی، ذخیره آب، فعالیت زیستی، فرسایش سطحی و رشد گیاهان در خاک اثر می‌گذارد. برای حفظ یک سیستم پایدار و سودمند کشاورزی، باید خاک را به عنوان یک سیستم اکولوژیکی مدیریت کنیم. به عبارتی باید بهترین ساختمان خاک را برای گیاهان فراهم نمود (شارما و جوهری، ۲۰۰۲). خاکدانه‌ها که از ذرات اولیه و عامل پیوستگی آن‌ها بوجود آمده‌اند، واحدهای پایه-ای ساختمان خاک‌اند (بتی، ۱۹۷۴). اندازه، شکل و پایداری خاکدانه‌ها، وسعت منافذ خاک را تعیین می‌کنند و به نوبه خود بر خصوصیات فیزیکی خاک اثر می‌گذارند. میزان پایداری خاکدانه‌ها، توانایی خاک در حمایت از سرعت نفوذ خوب آب، زراعت خوب و هوادهی کافی برای رشد گیاه است (امرسون و همکاران، ۱۹۸۶ ; کمپر و روزمن، ۱۹۸۶). خاکدانه، یک ترکیب پیچیده است که با ادغام ذرات خاک در خاکدانه‌های میکرو (با قطر ۰/۲۵ میلی‌متر) شروع می‌شود و به طرف تشکیل خاکدانه‌های ماکرو از این واحدهای کوچک، پیش می-رود (تیس دال و اُدس، ۱۹۸۲). قـارچ میکوریزا آربوسکولار ریشه گیاهان را کـلونیزه کـرده و تـوده خـاک را فرا می‌گیرد. ریسه‌های قارچ میکوریزا آربوسکولار علاوه بر نفوذ به داخل و بین سلول‌های ریشه، از سطح ریشه‌ها نیز به داخل توده خاک اطراف گسترش یافته و به ذرات خاک متصل شده و میکرو و ماکرو دانه‌های خاک را افزایش می‌دهند (اگه، ۲۰۰۱). ریسه‌های میکوریزا آربوسکولار با یک پوشش پلی ساکاریدی میکرودانه‌ها را به طور فیزیکی گرفتار نموده و آن‌ها را محکم به یکدیگر می‌چسباند (جفریز و بارآ، ۲۰۰۱ ; جفریز و همکاران، ۲۰۰۳). میلر و جسترو (۱۹۹۰) عنوان کردنـد که ریسه‌های قارچ میکوریزا، دانـه‌های خـاک را از طریق سـه فرآیند تشکیل و پایدار می‌کنند:

۱- ریسه قارچ ذرات اولیه خاک را به طور فیزیکی گرفتار می‌کند.

۲- ریشه‌ها و ریسه‌ها شرایطی را برای قادر کردن میکرو ذرات به تشکیل خاک می‌آفرینند.

۳- ریشه‌ها و ریسه‌ها میکرو ذرات و ماکرو ذرات کوچک‌تر را گرفتار کرده و پس از اتصال آن‌ها به یکدیگر ماکرو ذرات بزرگ‌تر را می‌سازند.

در خاک زیر پوشش گیاهان، ماکرو ذرات بوسیله ریشه‌ها و ریسه‌ها به شکل کاملی پایدار می‌شوند (تیس دال و اودس، ۱۹۸۲). بیشتر قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار، ریسه‌های کم انشعاب یا رشته‌های ریسه‌ای را در خاک تولید می‌کنند و سیستم ریشه‌ای گیاهان را گسترش می‌دهند. پایداری چندین نوع خاک با طول این ریسه‌ها در خاک رابطه دارد (تیس دال و اودس، ۱۹۸۰ ; میلر و جسترو، ۱۹۹۰). در داخل هر ماکرو ذره، ریسه‌های قارچ یک شبکه را با بیشتر از ۵۰ متر ریسه در هر گرم دانه پایدار و یا بیشتر از ۱۴ متر ریسه خارجی در هر سانتی‌متر ریشه تشکیل می‌دهند (بارآ، ۱۹۹۱ ; تیس دال، ۱۹۹۱). قارچ میکوریزا آربوسکولار می‌تواند ذرات خاک را به خاطر رشد متراکم میسلیوم‌ها به یکدیگر چسبانده و متراکم کند. میسلیوم خارجی میکوریزا، خاکدانه‌های پایدار در آب تشکیل می‌دهد که برای یک خاک خوب زراعی ضروری است (میلر و جسترو، ۲۰۰۰ ; جفریز و بارآ، ۲۰۰۱ ; جنیفر و همکاران، ۲۰۰۲).

مطالعات انجام شده، وجود ارتباطی قوی بین پایداری خاکدانه‌ها و گلومالین که یک گلیکوپروتئین تولید شده بوسیله ریسه‌های قارچ میکوریزا آربوسکولار است، را نشان داده است (رایت و اپادهیایا، ۱۹۹۸). این قارچ‌ها با گسترش ریشه خود در خارج از بافت ریشه، توان آن را برای جذب آب و عناصر غذایی افزایش داده و سهم مهمی نیز در بهبود ساختمان خاک و گردش هوا و آب در آن دارند، در نتیجه میزان فتوسنتز در گیاه افزایش می‌یابد. کمیت و کیفیت تراوشات ریشه گیاه و در نتیجه ترکیب میکروارگانیسم‌های موجود در ریزوسفر تغییر می‌کند. نتیجه کلی تمام این تغییرات، گیاهی سالم‌تر و مقاوم‌تر در برابر تنش‌های محیطی و عوامل بیماری‌زا می‌باشد (تیس دال، ۱۹۹۱).

۲-۴-۷- رابطه همزیستی میکوریزی و تنش‌های محیطی

در همزیستی قـارچ‌های میکوریزا بـا گیاه میزبان، قسمتی از کربـن حاصل از فتوسنتز گیـاه در اختیار قـارچ همزیست قرار می‌گیرد و در ازای آن شبکه گسترده هیف قارچ‌های میکوریزا، جذب و انتقال آب و عناصر معدنی را از مناطقی که برای سیستم ریشه‌ای غیرقابل دسترس می‌باشد، به گیاه تسریع بخشیده و این همزیستی به گیاهان کمک می‌کند تا قادر به رشد در شرایط دشوار باشند (آمریان و استیوارت، ۲۰۰۱). چو و همکاران (۲۰۰۶) در طـی آزمایشی دریافتند کـه همزیستی میکوریزایی و عکس‌العمل سـورگـوم به تنش‌های خشکی و شوری سبب افزایش مقاومت گیاه میزبان به این تنش‌ها می‌شود. از طرف دیگر، قارچ‌های میکوریزا به طور مستقیم با ایجاد یک مانع فیزیکی روی ریشه و یا تولید مواد ضد رشد عوامل بیماری‌زای گیاهی مانند بعضی آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیبات شیمیایی دیگر رشد میکروارگانیسم‌های پاتوژن را محدود نموده و در نتیجه موجب افزایش مقاومت گیاه به عوامل بیماری‌زای ریشه نیز می‌شوند (کافی و همکاران، ۱۳۸۸).

۲-۴-۸- تاثیر قارچ میکوریزا در افزایش مقاومت گیاه به عوامل بیماری‌زای ریشه

همزیستی میکوریزی به طور مستقیم از طریق ایجاد یک مانع فیزیکی بر روی ریشه (ایجاد غلاف قارچی در مورد اکتومیکوریزا) و یا تولید مواد ضد رشد پاتوژن مانند بعضی آنتی‌بیوتیک‌ها و به طور غیرمستقیم باعث بهبود تغذیه گیاه و تسریع رشد آن می‌شود.

برخی از مهم‌ترین فواید میکوریزا به طور خلاصه در زیر بیان شده است:

- تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه مانند اکسین، سیتوکینین و ...
- کمک به کاهش تنش‌های محیطی مانند حرارت، شوری و آلودگی خاک به سموم یا فلزات سنگین.

- ایجاد خـاکدانه‌های پایا در مجـاورت سیستم ریشه‌ای گیاه، به وسیله شبکه هیفی ظـریف و گسترده‌ای که موجب اتصال ذرات خاک به یکدیگر می‌شوند.
- تشدید فعالیت تثبیت ازت توسط انواع دی‌آزوتروف‌های همزیست و همیار گیاهان که به دلیل بهبود تغذیه گیاه میزبان و امکان عرضه بیشتر عناصر غذایی و بخصوص فسفر به همزیست میکروبی صورت می‌گیرد (ملکوتی، ۱۳۸۴).

فصل سوم:

مواد و روش‌ها

۳-۱- زمان و موقعیت جغرافیایی محل اجرای آزمایش

این آزمایش در سال ۱۳۹۲ در دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود واقع در منطقه بسطام، تحت شرایط گلخانه‌ای به اجرا درآمد. شهرستان شاهرود با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی دارای اقلیم سرد و خشک می‌باشد و همچنین ارتفاع مرکز شهرستان از سطح دریا ۱۳۶۷ متر است. براساس اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی، میانگین بارندگی سالیانه ۱۶۰ میلی‌متر گزارش شده است و عمدتا در بهار و پاییز رخ می‌دهد. ایستگاه هواشناسی شاهرود، میانگین درجه حرارت سالیانه را ۳۵ درجه سانتی‌گراد اعلام کرده است. در سال زراعی آزمایش حاضر، میانگین درجه حرارت ۱۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالیانه ۱۳۰ میلی‌متر گزارش شد.

۳-۲- خصوصیات خاک گلدان

نتایج حاصل از تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش قبل از کاشت در جدول ۳-۱ نشان داده شده است.

جدول ۳-۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

هدایت الکتریکی	اسیدیته	درصد اشباع	شن	رس	لای	کربن آلی	ازت کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	وزن مخصوص ظاهری خاک
دسی‌زیمنس بر متر				درصد				میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک		گرم بر سانتی‌مترمکعب
۱/۲۳	۷/۶۵	۳۰/۲	۲۴/۳	۳۴/۴	۴۱/۳	۰/۸۱	۰/۰۵۴	۱۳	۱۴۸	۱/۴۲

۳-۳- آماده‌سازی خاک گلدان‌ها

جهت آزمایش گلخانه‌ای نیاز به خاکی بود که علاوه بر فراهم نمودن شرایط دسترسی آسان به ریشه بدون صدمه دیدن آن، شرایط جوانه‌زنی بذر را به سهولت فراهم سازد، یعنی آنکه بافت خاک حتی الامکان سبک باشد. بدین منظور، پس از الک نمودن مقدار کافی از خاک مزرعه و ماسه آبرفتی شسته شده (با الک ۲ میلی‌متری) و جدا نمودن ذرات اضافی مخلوط شده با خاک، مخلوط کافی از خاک مزرعه و ماسه آبرفتی شسته شده به نسبت ۱ به ۱ تهیه شد. ابتدا گلدان‌ها با خاک الک شده و سپس قسمت بالایی گلدان (خاک سطحی)، با مخلوطی از خاک مزرعه و ماسه آبرفتی شسته شده پر شد.

۳-۴- طرح آزمایشی در شرایط گلخانه و شرایط رشد

این آزمایش جهت بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف شوری و کروم بر خصوصیات شیمیایی خاک و ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه کارلا در حضور قارچ میکوریزایی *Glomus versiform*، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح شوری ۰، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، کروم در سه سطح ۰، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک و قارچ میکوریزا در دوسطح تلقیح با قارچ *Glomus versiform* و عدم تلقیح بودند. با توجه به تعداد تیمار و تکرار، تعداد ۵۴ گلدان پلاستیکی به قطر ۲۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰/۵ سانتی‌متر لحاظ شدند (شکل ۳- ۱).

شکل ۳-۱- نمایی از گلدان های آزمایش

۳-۵- تعیین ظرفیت زراعی خاک گلدان ها و نحوه آبیاری

برای تعیین مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری و جلوگیری از آبشویی ناخواسته، از روش تعیین ظرفیت زراعی سیلویا (۱۹۹۳) استفاده شد. میزان آب گلدان‌ها با توزین تعدادی از آن‌ها کنترل شده و همواره سعی گردید که رطوبت خاک آن‌ها در حد ۸۰ درصد ظرفیت زراعی باقی بماند. در مرحله ۴ برگی، آبیاری با آب شور حاوی نمک NaCl جهت اعمال تنش شوری انجام گردید.

۳-۶- نحوه کاشت

پس از پر کردن گلدان‌ها از خاک (به میزان ۸ کیلوگرم و تا ارتفاع پایین‌تر از ۳ سانتی‌متری لبه گلدان)، ابتدا فاکتور کروم طبق طرح آزمایشی، تهیه و قبل از کاشت با خاک مخلوط گردید، سپس مقادیر میکوریزا به قسمت‌های بالایی خاک اضافه و بذرها (تعداد ۵ بذر در هر گلدان)، با فاصله مناسب از یکدیگر در گلدان‌ها کاشته شدند. سپس خاک سطحی بر روی آن‌ها ریخته شد. گلدان‌ها آبیاری و رطوبت آن‌ها همواره در حد ۸۰ درصد ظرفیت زراعی باقی نگه داشته شد.

۳-۷- مراحل نمونه برداری از گیاه

حدود ۸ هفته پس از کاشت، اولین نمونه‌برداری از همه تیمارها انجام شد، بدین صورت که برخی از پایه‌های گیاهی از سطح خاک بریده و در داخل نایلون شماره‌دار ریخته و سپس به آزمایشگاه منتقل و جهت انجام آزمایش‌های مربوطه در فریزر نگه‌داری شدند. نمونه‌برداری دوم، یک ماه پس از نمونه‌بردای اولیه صورت گرفت و همه پایه‌های گیاهی از سطح خاک بریده شدند و در پاکت‌های کاغذی شماره‌دار قرار گرفتند. سپس به آزمایشگاه منتقل شده و پس از اندازه‌گیری وزن تر آن‌ها بوسیله ترازو، در داخل دستگاه آون، در حرارت ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت نگهداری شده تا کاملاً خشک شوند. پس از خروج از آون، جهت به دست آوردن وزن خشک و پس از گذشت مدت زمان ۲۰ دقیقه‌ای جهت رسیدن به تعادل دمایی با محیط، با ترازوی حساس با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. برای نمونه‌گیری ریشه سعی گردید حتی الامکان، ریشه‌ها دست نخورده و سالم باقی بمانند (شکل ۳- ۲). پس از خارج کردن خاک رویی گلدان‌ها،

ریشه‌های گیاه با دقـت بسیار از گلدان‌ها خـارج گـردید و در نایلون‌های پلاستیکی شماره‌دار، در فریزر نگه-داری شدند.

جهت نمونه‌گیری خاک، هر گلدان در دو عمق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری نمونه‌گیری شد و خاک نمونه-گیری شده، جهت انجام آزمایش‌های مربوطه به آزمایشگاه منتقل گشت.

شکل ۳-۲- تصویری از جمع آوری ریشه

۳-۸- اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات محلول در اندام هوایی و ریشه

جهت اندازه‌گیری کربوهیدرات، با استفاده از اتانول ۹۵٪ و بر اساس روش اسیدسولفوریک میزان کربوهیدرات برگ و ریشه استخراج شد (ایریگوئن و همکاران، ۱۹۹۲). در این روش ۰/۱ گرم از بافت تازه برگ یا ریشه داخل لوله‌های آزمایش استریل شده، قرار گرفت. سپس به هر کدام ۱۰ سی‌سی الکل اتانول ۹۵٪ اضافه گردید و سپس به مدت یک ساعت در حمام بن‌ماری در دمای۷۰-۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس ۱ سی‌سی از محلول سبز رنگ به دست آمده با ۱ سی‌سی فنل (۱ گرم فنل جامد که در ۲۰۰ سی‌سی آب به حجم رسانده شد) و ۵ سی‌سی اسید سولفوریک (۹۸- ۹۵ ٪) مخلوط و پس از سرد شدن محلول، جذب در طول موج ۴۸۳ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد. در انتها میزان کربوهیدرات نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز محاسبه گردید.

۳-۹- اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید

محاسبه غلظت کلروفیل و کاروتنوئیدهای (کاروتن و گزانتوفیل) برگ با استفاده از روش آرنون (۱۹۶۷) انجام شد. در این روش ۰/۱ گرم از بافت تر برگ توزین و همراه با استون ۸۰٪ در هاون ساییده شد. محتوای هاون در لوله فالکون تخلیه و به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ با تنظیم سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. جذب محلول بالایی فالکون، در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۷ و ۴۷۰ نانومتر، به ترتیب برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید بوسیله دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. در نهایت مقدار آن‌ها، با استفاده از فرمول زیر برحسب میکروگرم بر گرم وزن تر، محاسبه شد.

$C_a= (19.3\times A_{663}- 0.86\times A_{647})\ V/100W$

$C_b= (19.3\times A_{647}- 3.6\times A_{663})\ V/100W$

$C_{x+c} = 100(A_{470}) – 3.27(C_a) – 104(mg\ C_b)/227$

C_a مقدار کلروفیل a، C_b مقدار کلروفیل b، C_{x+c} مقدار کل کارتنوئید، V حجم محلول فوقانی حاصل از سانترفیوژ، W وزن تر نمونه بر حسب گرم در تک بوته و A جذب نور در طول موج‌های مربوطه می‌باشند.

۳-۱۰- اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین

میزان آنتوسیانین بافت تر، با استفاده از روش وانگر (۱۹۷۹) انجام شد. در این روش، ۰/۱ گرم از بافت برگی را در هاون همراه با ۱۰ سی‌سی متانول اسیدی (متانول خالص و کلریدریک اسید خالص به نسبت حجمی ۱:۹۹) که به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی قرار گرفت، کاملا ساییده و عصاره در فالکون ریخته شد. سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانترفیوژ گردید و جذب محلول بالایی در طیف جذبی۵۵۰ نانومتر در دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت و اندازه‌گیری شد. مقدار آنتوسیانین با استفاده از رابطه زیر بدست آمد.

$A=\varepsilon bc$

در رابطه فوق، ε ضریب خاموشی معادل $mM.cm^{-1}$ ۳۳۰۰، A میزان جذب خوانده شده در ۵۵۰ نانومتر، b عرض سلـول مورد استفاده برابر با ۱ سانتی‌متر و c مقـدار آنتوسیانین بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر بافت گیاهی می‌باشد.

۳-۱۱- اندازه‌گیری برخی عناصر غذایی در اندام هوایی گیاه

۳-۱۱-۱- اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم در اندام هوایی

به منظور اندازه‌گیری میزان سدیم و پتاسیم به روش چاپمن و پرات (۱۹۶۱)، نمونه‌های خشک شده گیاهی بوسیله آون، با استفاده از آسیاب پودر گردید. سپس به مقدار ۱ گرم از بافت خشک در داخل بوته چینی ریخته و در داخل کوره در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت قرار داده شد. پس از آن به هرکدام از نمونه‌ها ۱۰ سی‌سی اسید کلریک ۲ نرمال اضافه گردید و پس از قرار گرفتن در حمام بن‌ماری به مدت ۲۰ دقیقه و صاف شدن توسط کاغذ صافی، به حجم ۱۰۰ سی‌سی رسانده شدند. سپس نمونه‌ها با دستگاه فلیم فتومتر (نورسنج شعله) قرائت شده و با استفاده از منحنی استاندارد به غلظت تبدیل شدند.

۳-۱۱-۲- اندازه‌گیری فسفر در اندام هوایی

به منظور اندازه‌گیری میزان فسفر اندام هوایی، گیاه خشک شده بوسیله آون، آسیاب و با روش خاکسترگیری خشک (مشابه روش اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم) استخراج شد. سپس خاکستر حاصل در ۵ سی‌سی اسیدکلریدریک ۲ نرمال حل شده و پس از عبور از کاغذ صافی مناسب (واتمن ۴۲) با آب مقطر به حجم ۱۰۰ سی‌سی رسانده شد . غلظت فسفر در عصاره حاصل به روش آمونیوم مولیبدات وانادات تعیین شد. بدین منظور، ۵ سی‌سی از عصاره بدست آمده را با ۵ سی‌سی از محلول آمونیوم هپتا مولیبدات وانادات ترکیب کردیم و به حجم ۲۵ سی‌سی رساندیم. سپس نمونه‌ها با دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت شد و عدد قرائت شده با استفاده از منحنی استاندارد فسفر به میلی‌گرم برکیلوگرم تبدیل و در نهایت مقدار فسفر گیاه محاسبه شد (چاپمن و پرات، ۱۹۶۱).

۳-۱۲- اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان

۳-۱۲-۱- استخراج عصاره آنزیمی و روش اندازه‌گیری آنزیم‌ها

مواد و محلول ها :

بافرice-cold extraction: این محلول شامل محلول بافر پتاسیم فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (pH = ۷) و محلول ۰/۱ میلی‌مولار EDTA در حجم ۴ سی‌سی می‌باشد. محلول پتاسیم فسفات از دو نمک KH_2PO_4 و K_2HPO_4 تهیه شد. ابتدا محلول ۱ مولار از هرکدام از این نمک‌ها تهیه و سپس ۲۵ سی‌سی از هریک برداشته، مخلوط و به حجم ۱۰۰ سی‌سی رسانده شد و pH آن در حد ۷ تنظیم گردید. تنظیم pH با استفاده از NaOH و HCl و نیز دستگاه pH متر صورت گرفت.

روش کار: ۰/۲ گرم بافت تر برگ، بوسیله ۴ سی‌سی بافر ice-cold extraction در هاون سرد کاملا ساییده شد و به صورت همگن درآمد. مخلوط همگن به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۶۰۰ دور سانترفیوژ گردید. پس از سانترفیوژ، فاز بالایی به عنوان عصاره پروتئینی برای سنجش فعالیت آنزیمی در دمای ۲۵ درجه سانتی-گراد مورد استفاده قرار گرفت (آزودو نتو و همکاران، ۲۰۰۶).

۳-۱۲-۲- اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT)

مواد و محلول‌ها :

بافر فسفات سدیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH = ۷): این بافر از دو نمک NaH_2PO_4 و Na_2HPO_4 تهیه شد. ابتدا محلول ۱ مولار هرکدام از این نمک‌ها در حجم ۱۰۰ سی‌سی تهیه شد و سپس ۲۵ سی‌سی از هر کدام برداشته، مخلوط کرده و به حجم ۱۰۰ سی‌سی رسانده شد.

EDTA (۰/۱ میکرومولار): محلول ۰/۰۰۱ مولار این ماده در حجم ۱۰۰ سی‌سی تهیه شد.

H_2O_2 (۲۰ میلی مولار): محلول ۰/۱ مولار آن در حجم ۱۰۰ سی‌سی تهیه شد.

روش کار: جهت تعیین فعالیت آنزیم کاتالاز، ۵۰ میکرولیتر (۰/۰۵ سی‌سی) عصاره آنزیمی، ۶۰۰ میکرولیتر بافر فسفات سدیم (pH = ۷) ، ۰/۱۵میکرولیتر EDTA ، ۵۴۹/۸۵ میکرولیتر آب را در تیوپ ریخته و سپس ۳۰۰ میکرولیتر آب‌اکسیژنه به آن اضافه شد. بلافاصله پس از افزودن آب اکسیژنه، جذب نور توسط دستگاه اسپکتوفتومتر با طول موج ۲۴۰ نانومتر قرائت گردید و پس از سپری شدن مدت زمان ۱ دقیقه بار دیگر میزان جذب خوانده شد. تغییر جذب به دست آمده در زمان ۱ دقیقه، به ضریب خاموشی مولی این واکنش که برابر $mM^{-1}.cm^{-1}$ ۳۶ است تقسیم شد و سپس میزان فعالیت آنزیم بر حسب میکرومول H_2O_2 در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین بیان شد (پریرا و همکاران، ۲۰۰۲).

۳-۱۲-۳- فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (GPX)

مواد و محلول‌ها :

بافر فسفات (pH = ۷) ۱۰۰ میلی‌مولار و محلول EDTA ۰/۰۰۱ مولار در حجم ۱۰۰ سی‌سی ساخته شد. محلول ۰/۲ مولار گایاکول در حجم ۱۰۰ سی‌سی با استفاده از گایاکول ۵ میلی‌مولار ساخته شد. همچنین محلول ۰/۱ مولار H_2O_2 با استفاده از ۰/۱ میلی‌مولار H_2O_2 به حجم ۱۰۰ سی‌سی ساخته شد.

روش کار: ابتدا ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، ۸۰۰ میکرولیتر بافر فسفات سدیم (pH = ۷) ، ۰/۲ میکرولیتر EDTA، ۵۰ میکرولیتر گایاکول ، ۷۹۹/۸ میکرولیتر آب در تیوپ ریخته و سپس ۳۰۰ میکرولیتر آب‌اکسیژنه به آن اضافه شد. در مرحله بعدی، جذب محلول ساخته شده بلافاصله در دستگاه اسپکتوفتومتر با طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید و پس از گذشت مدت زمان ۱ دقیقه، جذب نور دوباره قرائت شد. تغییرات جذب به دست آمده در زمان ۱ دقیقه، به ضریب خاموشی مولی این واکنش که برابر $mM^{-1}.cm^{-1}$ ۲۶/۶ است تقسیم شد و فعالیت آنزیمی بر حسب میکرومول H_2O_2 در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین بیان شد (فیلدینگ و هال، ۱۹۷۸).

۳-۱۳- اندازه‌گیری برخی خصوصیات شیمیایی خاک

۳-۱۳-۱- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و اسیدیته (pH) خاک

جهت اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و اسیدیته (pH) خاک، ۴۰ گرم خاک نمونه برداری شده را پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری، در ارلن ریخته و به حجم ۱۰۰ سی‌سی رساندیم. پس از پوشاندن دهانه ارلن، آن را در دستگاه شیکر، تنظیم شده با سرعت ۲۰۰ دور به مدت ۱۲۰ دقیقه، قرار دادیم تا عمل بهم خوردن سوسپانسیون ۲/۵ : ۱ تهیه شده، به خوبی صورت گیرد. سپس محلول حاصل را از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ عبور داده و هدایت الکتریکی عصاره به دست آمده توسط دستگاه EC متر کالیبره شده (هدایت سنجش) (روآدز، ۱۹۹۶) و pH آن، بوسیله دستگاه pH متر کالیبره شده (توماس، ۱۹۹۶)، اندازه‌گیری شد.

۳-۱۴- اندازه‌گیری غلظت کروم خاک

برای اندازه‌گیری غلظت کروم خاک از روش جذب اتمی استفاده شد. نمونه‌های خاک در دمای محیط خشک و کوبیده و پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری برای آنالیز آماده شدند. عصاره‌گیری هر یک از نمونه‌ها با اسید کلریدریک و اسید نیتریک انجام شد. این مواد با کمپلکس کردن برخی عناصر سنگین از جمله کروم، باعث خروج آن‌ها از خاک می‌شوند. در نهایت پس از تنظیم و کالیبراسیون دستگاه جذب اتمی، غلظت کروم در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (APHA[3]، AWWA[4] و WEF[5]، ۲۰۱۱).

۳-۱۵- اندازه‌گیری محتوای کروم در اندام هوایی گیاه

به منظور اندازه‌گیری تجمع یون کروم در اندام هوایی، ابتدا همانند روش استخراج عناصر غذایی گیاه، نمونه‌های گیاهی خشک شده بوسیله آون، آسیاب و ۱ گرم از هر نمونه پودر شد. برای بدست آوردن خاکستر خشک نمونه‌ها، آن‌ها را در کوره در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار دادیم. برای عصاره‌گیری از روش هضم با اسیدنیتریک ۴ نرمال در حرارت ۹۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. پس از صاف کردن

[3] American Public Health Association
[4] American Water Works Association
[5] Water Environment Federation

عصاره‌ها، غلظت کروم در هر یک از نمونه‌های گیاهی با استفاده از دستگاه جذب اتمی معین گردید (جیمز و وِلز، ۱۹۹۰).

۳-۱۶- اندازه‌گیری پارامترهای خاک اولیه

در نمونه مربوط به خاک اولیه (قبل از اعمال تیمارهای آزمایشی)، اندازه‌گیری بافت خاک به روش جی و بودر (۱۹۸۶)، درصد کربن آلی به روش والکلی و بلک (۱۹۳۴)، نیتروژن کل به روش کجلدال (برمنر، ۱۹۹۶)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (اولسن و همکاران، ۱۹۵۴) و دستگاه اسپکتوفتومتر، پتاسیم قابل جذب توسط دستگاه فلیم فتومتری (چاپمن و پرات، ۱۹۸۲) و وزن مخصوص ظاهری خاک به روش‌های مرسوم انجام شد (جدول ۳-۱).

۳-۱۷- محاسبات و تجزیه و تحلیل آماری

در پایان پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، نتایج با استفاده از نرم افزارهای SAS و MSTATC مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) و در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد انجام گرفت. نمودارها نیز با کمک برنامه EXCEL رسم شدند.

فصل چهارم:

نتایج و بحث

۴-۱ - تنظیم کننده‌های اسمزی

۴-۱-۱- کربوهیدرات برگ

نتایج حاصل از آنالیز داده‌های جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) نشان داد که اثر تیمارهای این آزمایش بر کربوهیدرات برگ معنی‌دار نبوده است. جدول (۴-۲) روند نسبتا کاهشی میزان این صفت را بر اثر افزایش کاربرد شوری و کروم و همچنین افزایش آن در شرایط تلقیح با میکوریزا را نشان می‌دهد، اما از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشند.

۴-۱-۲- کربوهیدرات ریشه

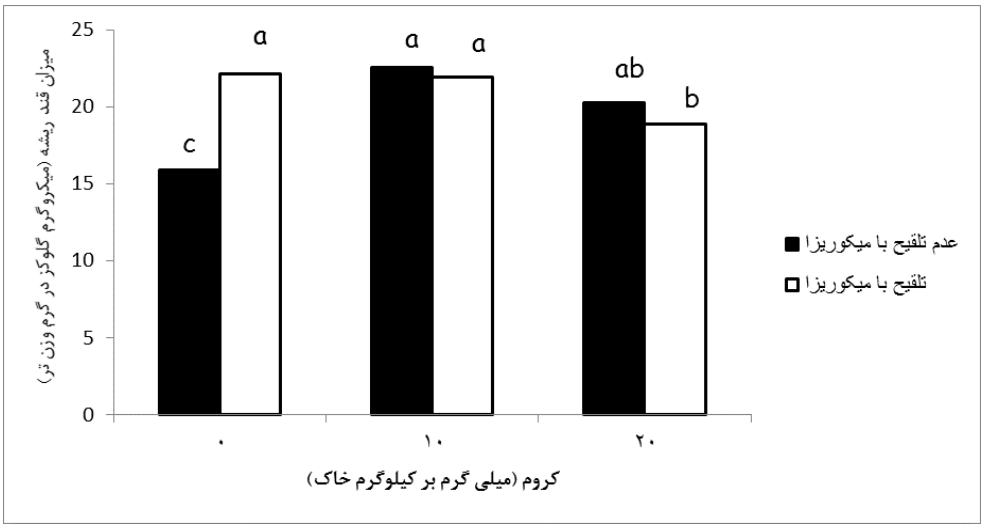
بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) اثر اصلی تیمار کروم بر روی کربوهیدرات ریشه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر دوگانه میکوریزا و کروم نیز در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین اثر اصلی تیمار کروم (جدول ۴-۲) نشان داد که میزان کربوهیدرات محلول ریشه با افزایش مصرف کروم در گیاه، افزایش معنی‌داری داشته است. به ترتیب مصرف ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک سبب افزایش ۱۹/۶۲ ٪ و ۱۶/۴۸ ٪ صفت مورد نظر نسبت به شاهد شده است.

قندها سبب تنظیم اسمزی همچنین پایداری غشاها و پروتئین‌های موجود در سلول می‌شوند. این عمل می‌تواند از طریق تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های کربوکسیل قندها و زنجیره‌های قطبی پروتئین‌ها و بالاخره پایدارسازی پروتئین‌ها صورت گیرد. برای مثال تجمع ساکارز موجب حفظ فسفولیپیدهای غشاء شده و از تغییرات ساختاری در پروتئین‌های محلول سلول نیز جلوگیری می‌کند (کوستر و لئوپولد، ۱۹۸۸). تجمع بیشتر قندها در ریشه‌ها نیز می‌تواند نشان دهنده اهمیت تنظیم اسمزی در مکان‌های جذب باشد. گیاهان برای مقابله با تنش اسموتیک ایجاد شده در اثر فلز سنگین، مکانیسم‌های سازشی متفاوتی به کار می‌گیرند. گروهی از گیاهان که مقاومت بالاتری دارند، برای حفظ تعادل اسمزی خود، سنتز تعدادی از متابولیت‌های محافظ اسمزی مانند پرولین، بتائین و کربوهیدرات‌های احیا کننده را افزایش می‌دهند (گوش و سینگ، ۲۰۰۵ ; سینها و همکاران، ۲۰۰۵). علاوه بر نقش قندها در تنظیم فشار

اسمزی، تصور می‌شود با افزایش قندهای حل شونده، گیاه بتواند ذخیره کربوهیدراتی خود را برای حفظ متابولیسم پایه سلول در شرایط محیطی تحت تنش، در حد مطلوب نگه دارد (وارنا و دوبری، ۲۰۰۱).

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل کروم و میکوریزا بر کربوهیدرات ریشه (جدول ۴-۳) نشان از اختلاف معنی‌دار بین تیمار شاهد و سایر تیمارها داشت. کاربرد میکوریزا به تنهایی ۳۰/۲۹ ٪، کاربرد ۱۰ میلی‌گرم کروم برکیلوگرم خاک به تنهایی ۴۲/۱۲ ٪ و کاربرد توام ۱۰ میلی‌گرم کروم در خاک - ۱۰۰ گرم میکوریزا ۳۷/۹۷ ٪ نسبت به شاهد افزایش نشان دادند (شکل ۴-۱). همچنین در شکل (۴-۱) نشان داده شد که کاربرد عنصر کروم بدون حضور قارچ میکوریزا بیش‌ترین تاثیر را در افزایش کربوهیدرات ریشه داشته است و این می‌تواند به علت تاثیر زیاد عنصر کروم در ایجاد تنش اکسیداتیو و آغاز آن از منطقه ریشه باشد.

آندره و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین، قارچ‌های میکوریزی جذب این عناصر را در گیاه سویا افزایش داده و این عناصر در ریشه‌ها تجمع یافته و کمتر به بخش هوایی یا بذرها انتقال می‌یابند. جانوسکوا و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که تلقیح قارچ‌های میکوریزا در خاک‌های آلوده به برخی عناصر سنگین، غلظت این عنصر را در ساقه گیاه توتون کاهش می‌دهد. بسیاری از فلزات سنگین با تغییر در فعالیت پروتئین‌های کانالی انتقال آب و با بستن روزنه‌های برگ، جریان آب را در گیاه متوقف می‌سازند (ژانگ و تیرمان، ۱۹۹۹). با کاهش انتقال آب به برگ‌ها و به دنبال آن تجمع عنصر سنگین در سلول‌ها، میزان قندهای محلول در گیاه افزایش می‌یابد. این ویژگی یک روش سازگاری گیاه برای حفظ شرایط اسمزی است. علاوه بر این افزایش قندهای محلول به گیاه کمک می‌کند تا بتواند ذخیره کربوهیدراتی خود را برای حفظ متابولیسم پایه در شرایط تنش در حد مطلوب نگه دارد. این نتایج با نتایج ورما و همکارش بر روی برنج نیز همخوانی دارد (ورما و دوبی، ۲۰۰۱).



شکل ۴-۱- اثر متقابل کروم و میکوریزا بر میزان کربوهیدرات ریشه

۴-۲- رنگدانه‌های فتوسنتزی

۴-۲-۱- کلروفیل a

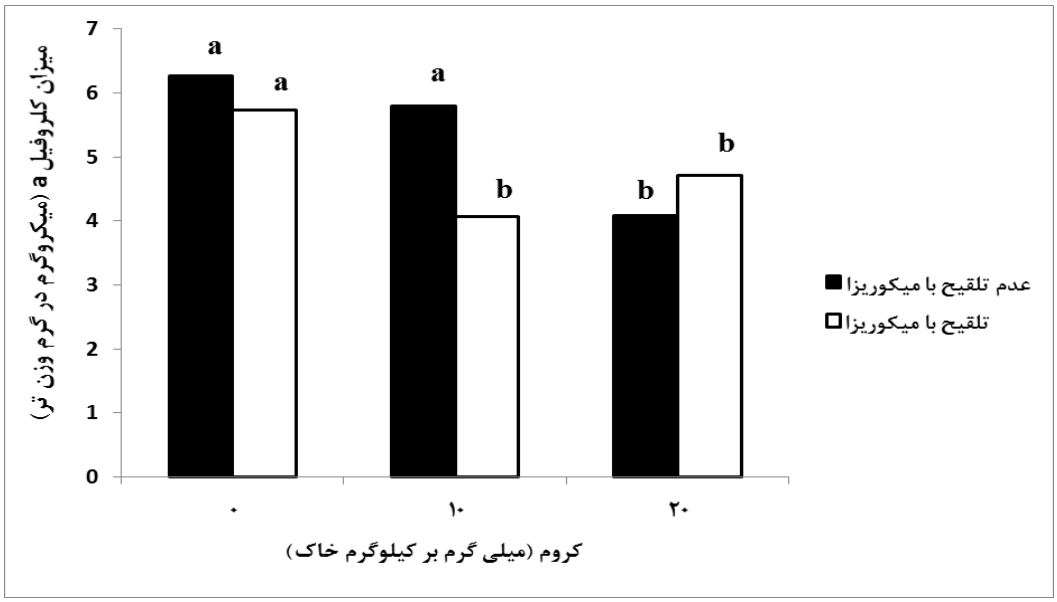
تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، گویای آن است که اثر اصلی تیمارهای شوری و کروم، هر کدام به طور جداگانه، در سطح ۱ درصد معنی‌دار بودند و همچنین اثر متقابل تیمارهـای میکوریزا و کروم، در سطح ۵ درصـد معنی‌دار شد (جدول ۴-۴). نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴-۵) بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمار فاقد شوری (شاهد) با سایر سطوح شوری می‌باشد که نشان دهنده کاهش ۱۵/۷۸ ٪ میزان کلروفیل a در سطح شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد و کاهش ۳۹/۶۸ ٪ این صفت در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد می‌باشد. رشد گیاهان در شرایط تنش شوری ممکن است از راه اسمزی و بر اثر پایین رفتن پتانسیل آب در محیط ریشه، یا به دلیل تاثیر ویژه یون‌ها در فرآیند متابولیسمی کاهش یابد و یکی از بارزترین اثرات کاهش رشد گیاه، کاهش سطح برگ است (گرین وی و مانز، ۱۹۸۰). بنابراین حتی در صورتی که میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ تغییر نکند، میزان رشد به دلیل کاهش میزان فتوسنتز در کل گیاه کاهش خواهد یافت (مانز و پاسیورا، ۱۹۸۴) و کاهش فتوسنتز، یکی از دلایل کاهش میزان کلروفیل a است. رومروراندا و همکاران در سال (۲۰۰۱) گزارش کردند

که انباشته شدن یون‌های Cl^- و Na^+ در برگ با بستن روزنه‌ها و کاهش میزان کلروفیل باعث کاهش محصول فتوسنتزی درگیاه گوجه فرنگی می شود. همچنین بنا به گزارش لئونگ و گیرادات (۱۹۹۸)، شوری تاثیر بازدارنده‌ای بر فتوسنتز، رشد و انتقال آسیمیلات‌ها دارد.

مقایسه میانگین مربوط به اثر عامل کروم بر میزان کلروفیل a (جدول ۴-۵) نشان داد که میزان این صفت در سطح ۱۰ میلی‌گرم کروم برکیلوگرم خاک ۲۰/۹۰ ٪ نسبت به شاهد و در سطح ۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک ۲۳/۷۱ ٪ نسبت به شاهد کاهش داشته است. کاهش میزان کلروفیل و جلوگیری از فتوسنتز توسط فلزات سنگین در گیاهان عالی به ویژه گیاهان C3 به خوبی مشخص شده است (کونل و الهمدانی، ۲۰۰۱). حضور فلزات سنگین باعث ایجاد تنش اکسیداتیو و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود که به نوبه خود باعث ایجاد اثرات سمی مختلف در گیاهان نظیر کاهش رشد، کاهش محتویات کلروفیل و فتوسنتز، مهار فعالیت‌های آنزیمی، آسیب به مولکول‌های زیستی نظیر لیپیدها، پروتئین‌ها و نوکلئیک اسیدها بخصوص DNA می‌شود (میشرا و همکاران، ۲۰۰۶). کاهش محتوای کلروفیل بر اثر تیمار کروم در گیاهان مختلفی مانند گندم، والیسنریا، سالوینیا، کودزو، نیلوفر آبی، ذرت، لوبیا، نلومبو و کلم گزارش شده است (بولان و تیاگاراجان، ۲۰۰۱ ; مور، ۱۹۷۴ ; نیکلاس و همکاران، ۲۰۰۰ ; شارما و همکاران، ۱۹۹۵ ; شارما و همکاران، ۱۹۹۶ ; شیرونگ و ایکس لی، ۲۰۰۲ ; وجپای و همکاران، ۱۹۹۹ ; وجپای و همکاران، ۲۰۰۰).

مقایسه میانگین حاصل از داده‌ها (جدول ۴-۶) بیانگر تفاوت معنی‌داری بین تیمار شاهد با تیمارهای ۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک - ۱۰۰ گرم میکوریزا، ۲۰ میلی‌گرم کروم برکیلوگرم خاک - فاقد میکوریزا و ۲۰ میلی‌گرم کروم برکیلوگرم خاک - ۱۰۰ گرم میکوریزا می‌باشد و باعث ایجاد گروه‌های آماری متفاوت شده است. همانطور که در شکل (۴-۲) مشاهده می‌شود تیمارهای ۲۰ میلی‌گرم کروم (در حضور میکوریزا) و ۲۰ میلی‌گرم کروم (فاقد میکوریزا) و ۱۰ میلی‌گرم کروم (در حضور میکوریزا) به ترتیب ۲۴/۸۸ ٪، ۳۴/۷۶ و ۳۵/۰۸ ٪ سبب کاهش میزان کلروفیل a نسبت به شاهد شده‌اند.

کاهش محتوای کلروفیل می‌تواند دلیلی مستقیم برای کاهش فعالیت فتوسنتزی و در نتیجه کاهش تثبیت کربن در اثر غلظت های بالای فلزات سنگین باشد (باکر و والکر، ۱۹۹۰). ممانعت از بیوسنتز کلروفیل و فتوسنتز در اثر کروم به طرق متعددی صورت می‌گیرد. یکی از این عوامل، بازداری از فعالیت آنزیم‌های مربوط به بیوسنتز کلروفیل مانند ALAD (دلتا آمینو لولینیک اسید دهیدراتاز) و پروتوکلروفیلید ردوکتاز می‌باشد. برخی از محققین ممانعت از بیوسنتز کلروفیل را به کاهش فعالیت ALAD نسبت می‌دهند. کاهش فعالیت آنزیم مزبور درگیاهان در اثر تیمار فلزات سنگین روی می‌دهد (شیرونگ و ایکس لی، ۲۰۰۲). کاهش فعالیت این آنزیم موجب کاهش مقدار پورفوبیلینوژن (PBG) می‌شود که برای بیوسنتز کلروفیل ضروری است. تحقیقات نشان داده است که تشکیل پورفوبیلینوژن به شدت به کروم حساس است. بنابراین به نظر می‌رسد که سمیت کروم با اثر بر روی ALAD و با کاهش تولید فرآورده یعنی PBG، در نهایت موجب کاهش مقدار کروفیل می‌گردد (وجپای و همکاران، ۱۹۹۹). همچنین در اثر همزیستی با قارچ‌های میکوریزایی، گیـاه قادر به تعدیل تنش‌هـای محیطی مانند خشکی، سرما، گرما، شوری و حمله عوامل بیماری‌زای گیاهی می‌باشد (آگ، ۲۰۰۱ ; کالوت و همکاران، ۲۰۰۱ ; گولاراتا و رایسی، ۲۰۰۷ ; رایسی و گولاراتا، ۲۰۰۶). در راستای تحقیقات انجام شده می‌توان چنین احتمال داد که کاهش میزان کلروفیل تحت تنش شوری و کروم، سبب کاهش سطح برگ در گیاه کارلا و درنتیجه کاهش فتوسنتز در این گیاه و جلوگیری از تکامل آن شده است. به طور کلی تنش‌های محیطی با عث ایجاد مشکلات بسیاری در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه می‌شوند، امـا گونه‌های مختلف گیاهی، از نـظر توانایی بـرخورد با ایـن تنش‌هـا متفاوت می‌باشند.



شکل ۴-۲- اثر متقابل کروم و میکوریزا برکلروفیل a

۴-۲-۲- کلروفیل b

نتایج حاصل از تجزیه واریانس گویای آن بود که تاثیر اثرات اصلی شوری و کروم به تنهایی در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید(جدول ۴-۴). بر اساس مقایسه میانگین انجام شده (جدول ۴-۵)، با افزایش سطوح شوری میزان کلروفیل b کاهش پیدا کرده است که این کاهش، در بالاترین سطح شوری (۸ دسی‌زیمنس بر متر) با اختلاف ۵۴/۴۴ ٪ نسبت به تیمار شاهد بوده است. نتیجه حاصل، با نتایج دیگر محققان همسویی دارد. یارنیا (۱۳۸۶) در ازریابی تعدادی از شاخص‌های فیزیولوژیک ارقام سورگوم علوفه‌ای در شرایط تنش، گزارش داد که تنش شوری موجب کاهش کلروفیل b شده است. هم چنین رضایی و همکاران (۱۳۸۳) نیز در بررسی پاسخ فیزیولوژیک گیاه پنبه به شوری‌های مختلف خاک نشان دادند که مقادیر کلروفیلی b، a، a+b تحت تنش، کاهش بسیاری داشتند. در برخی گزارشات تخریب کلروفیل توسط یون‌های سدیم و به دنبال آن کاهش غلظت آن در برگ در سطوح متوسط شوری مطرح شده است (پاندی و ساکزنا، ۱۹۸۷). تردیدی نیست که افزایش غلظت یون‌های سمی از جمله یون سدیم در بافت برگ در اثر افزایش شوری محیط موجب تخریب کلروفیل می‌شود (اش و همکاران، ۲۰۰۰).

جدول مقایسه میانگین اثر اصلی کروم بر میزان کلروفیل b (جدول ۴-۵) نشان داد که میزان این صفت با افزایش غلظت کروم، کاهش معنی‌داری دارد، به طوری که میزان کلروفیل b در سطح ۱۰ میلی‌گرم کروم برکیلوگرم خاک، ۱۹/۸ ٪ و در سطح ۲۰ میلی‌گرم کروم، ۲۹/۴۳ ٪ نسبت به سطح شاهد کاهش پیدا کرد. ذاکر (۱۳۸۳)، با کشت گیاهچه‌های جعفری در محیط هیدروپونیک حاوی غلظت‌های مختلف کروم نشان داد که جذب کروم، رشد و میزان کلروفیل را درگیاهان به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد، بطوریکه با افزایش غلظت کروم در محیط، طول ریشه، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و میزان کلروفیل به تدریج به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. اندرسون (۱۹۹۵) نشان داد که حساس‌ترین هدف کروم در فتوسنتز PSII[6] است که شاخص عملکرد آن در اثر تیمار کروم کاهش می‌یابد. کاهش بارز در کلروفیل b بطور بالقوه به کارایی به دام اندازی انرژی توسط PSII آسیب می‌رساند و انتقال الکترون را کاهش می‌دهد (داب و همکاران، ۲۰۰۳). از علل دیگر کاهش کلروفیل در شرایط تنش فلزات سنگین، تغییر مسیر متابولیسمی به سمت تولید پرولین است، زیراگلوتامات که پیش‌ساز سنتز کلروفیل و پرولین است به سمت تولید پرولین بیشتر می‌رود (پراساد، ۱۹۹۵). با توجه به نتایج تحقیق حاضر، احتمالا کاهش کلروفیل بر اثر تنش شوری یکی از عوامل افزایش فعالیت آنزی‌های آنتی اکسیدان می‌باشد.

۴-۲-۳- کارتنوئید

از نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۴) چنین استنباط می‌گردد که اثر اصلی تیمار کروم در سطح ۱ درصد و اثرهای متقابل تیمارهای میکوریزا - کروم و همچنین تیمارهای کروم - شوری در سطح ۵ درصد، روی میزان کارتنوئید معنی‌دار گشت. با توجه به داده‌های جدول مقایسه میانگین (جدول ۴-۵)، با افزایش کاربرد کروم، میزان کارتنوئید کاهش یافته و این میزان در بیش‌ترین سطح کروم، ۳۰/۱۶ ٪ نسبت به شاهد کمتر می‌باشد. کاهش آن به دلیل فرونشانی غیرفتوشیمیایی کلروفیل‌های برانگیخته است که توسط کاروتنوئیدها انجام و در نتیجه سبب بر هم ریختن ساختارشان می‌گردد (سانتیا و گابریلی، ۱۹۹۹). همچنین

[6] Photosystem II (photosynthesis)

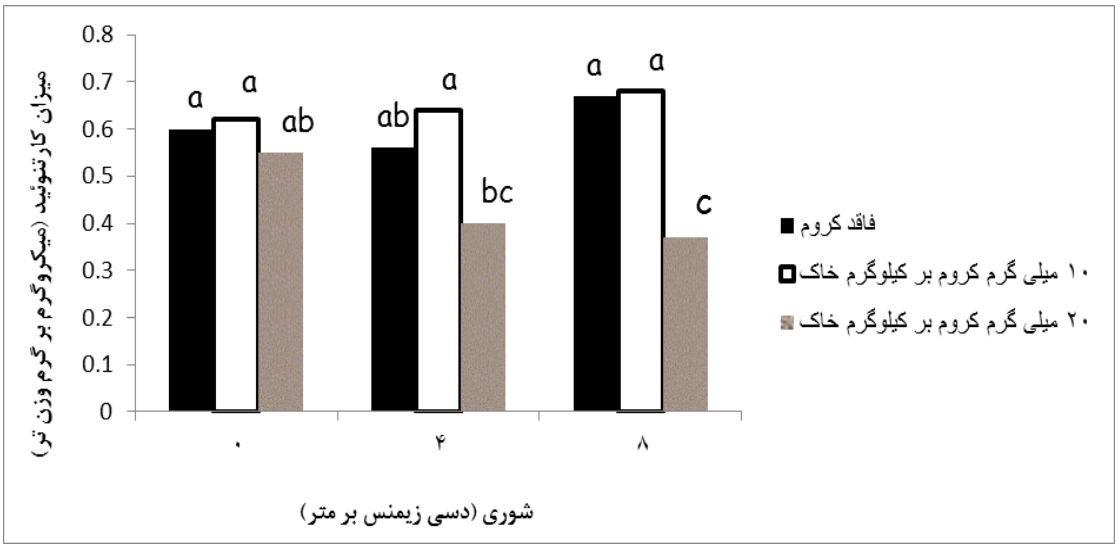
در تحقیق دیگری اثر غلظت فلز سنگین کروم بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه آفتابگردان نشان داد که محتوای کارتنوئیدهای گیاه در غلظت‌های مختلف آن نسبت به گروه شاهد کاهش معنی‌داری داشته است (سادات و منوچهری، ۱۳۹۱). به دنبال تخریب رنگیزه سبز بر اثر تنش عنصر سنگین، گیاه رنگی به نظر می-رسد که دلیل آن افزایش و قابل رؤیت شدن رنگیزه‌های محافظ مانند کاروتنوئیدها (کاروتن، گزانتوفیل و لیکوپن) و آنتوسیانین‌ها است. فلاونوئیدها و ترکیب‌های فنلی متابولیت‌های ثانویه بوده و دارای نقش محافظتی و آنتی اکسیدانی هستند (پاسمیک و همکاران، ۲۰۰۷ ; اسکورزینسکا و همکاران، ۲۰۰۴).

نتایج جدول مقایسه میانگین اثر متقابل کروم و میکوریزا بر میزان کارتنوئید (جدول ۴-۶) گویای آن است که میزان کارتنوئید در تیمار سطح دوم کروم (۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک) به همراه میکوریزا نسبت به تیمار شاهد ۲۰٪ کاهش داشته است. این کاهش بیانگر تاثیر منفی کاربرد کروم بر میزان کارتنوئید می‌باشد، بطوریکه تلقیح با میکوریزا، اثر چشمگیری در کاهش این اثر منفی نداشته است. همچنین تیمار سطح اول کروم (فاقد کروم) به همراه میکوریزا نسبت به شاهد ۱۱/۶۶ ٪ افزایش داشته است (شکل ۴-۳). این افزایش در شرایط عدم کاربرد کروم، نشان‌دهنده عملکرد مثبت میکوریزا بر میزان کارتنوئید می‌باشد. تاسانگ و مایوم (۱۹۹۹) گزارش کردند که گیاه *Strophostyles helvala* تلقیح شده با گونه گلوموس ماسه‌آ به طور معنی‌داری وزن خشک اندام هوایی، ریشه و کلروفیل بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی داشت. همچنین در فلفل تلقیح شده با قارچ گلوموس اینترا، میزان کارتنوئید به طور معنی‌داری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی افزایش یافت (دمیر، ۲۰۰۴). گزارشات مختلفی حاکی از کاهش میزان کارتنوئید بر اثر افزایش غلظت برخی عناصر سنگین از جمله کروم در خاک، هستند. جلیل و همکاران (۲۰۰۹)، با بررسی غلظت‌های مختلف برخی عناصر سنگین نشان دادند که با افزایش آن‌ها در خاک، میزان کلروفیل‌های a و b و کلروفیل کل و کاروتنوئید کاهش می‌یابد.

جدول مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای شوری و کروم (جدول ۴-۷) نشان می‌دهد که غلظت کارتنوئید در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر و ۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک به میزان ۳۸/۳۳ ٪ نسبت به شاهد کاهش داشته است. با توجه به نمودار مربوطه (شکل ۴-۴)، بیشترین میزان کارتنوئید که

تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت، در تیمار فاقد شوری و کروم مصرف شده به میزان ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (با ۳/۳۳ ٪ افزایش نسبت به شاهد) مشاهده شد. همچنین افزایش مصرف کروم سبب کاهش این رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاه شده است (شکل ۴-۴). نتایج تحقیقات شریعت و همکاران (۲۰۱۰) نیز با نتایج این تحقیق همسو بود. او علت این کاهش را تا حد زیادی، تجمع یون‌های فلزات در سلول‌های برگ دانست که موجب تنش در برگ می‌شوند.

شکل ۴-۳ – اثر متقابل کروم و میکوریزا برکارتنوئید



شکل ۴-۴- اثر متقابل شوری و کروم برکارتنوئید

۴-۲-۴- آنتوسیانین

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۴) نشان می‌دهد که اثر اصلی تیمار شوری بر میزان آنتوسیانین در سطح ۱ درصد معنی‌دار گشت. جدول مقایسه میانگین مربوطه (جدول ۴-۵) بیانگر کاهش ۲۴/۵ ٪ میزان آنتوسیانین در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متـر نسبت به شاهـد می‌باشد. اگرچه این رنگیزه‌ها برای رشد و بقا گیاهان همانند رنگیزه‌های فتوسنتزی ضروری نیستند، ولی حساسیت آن‌ها به شرایط شوری می‌تواند یک شاخص تلقی گردد. تحقیق روی تغییرات و نقش این رنگیزه‌ها به هنگام شوری کمتر است. مـانز و پاسیورا (۱۹۸۴) گـزارش کردند که تخریب مولکول‌های رنگیزه‌هـای فتوسنتزی توسط یون‌های سدیم به تنهایی موجب کاهش غلظت آن‌ها در واحد سطح برگ می‌شود. کاهش آنتوسیانین‌ها به هنگام تنش شوری ممکن است با گشودن پنجره در رسیدن مقادیر بیشتری از پرتوهای فعال فتوسنتزی به سلول‌های مزوفیل مؤثر باشد، زیرا بخش اعظم آنتوسیانین‌ها در لایه‌های سطحی مزوفیل و اپیدرم برگ‌ها انباشته می‌شوند (احمد و همکاران، ۲۰۰۹).

تفاوت‌های مشاهده شده در میزان سنتز کلروفیل گیاهان مختلف به هنگام شوری نتیجه عملکرد مسیرهای مختلف سنتزی است که با آنزیم‌های متفاوت قابل پیگیری بوده و این آنزیم‌ها پاسخ‌های متفاوت

به شوری نشان می‌دهند. وجود رقابت برای استفاده از پیش‌سازها بین مسیر سنتز کلروفیل و پرولین مسأله دیگری است، مزید بر اینکه شوری نقش بازدارندگی روی مسیرهای سنتز کلروفیل می‌گذارد (لی دیلی و همکاران، ۱۹۹۳). تخریب ساختار ظریف کلروپلاست و ناپایداری کمپلکس‌های رنگدانه - پروتئین، تجزیه کلروفیل‌ها و تغییر در محتوی و ترکیب آنتوسیانین‌ها نیز از نتایج شوری است. کاهش در سطوح رنگیزه‌ها در گیاهان تحت تنش می‌تواند به افزایش فعالیت آنزیم تخریب کننده کلروفیل (کلروفیلاز) مربوط باشد (برترند و شوفز، ۱۹۹۹).

۴-۳ – برخی عناصر غذایی گیاه

۴-۳-۱- محتوای سدیم

نتایج جدول تجزیه واریانس داده ها (جدول ۴-۸) نشانگر معنی‌دار بودن اثر اصلی تیمار شوری و تیمار کروم بر روی محتوای سدیم گیاه در سطح ۱ درصد است. داده‌های حاصل از مقایسه میانگین (جدول ۴-۹)، تفاوت چشمگیری بین اثر سطوح مختلف تیمار شوری بر محتوای سدیم را نشان می‌دهد. با افزایش میزان شوری، محتوای سدیم در گیاه نیز افزایش یافته است که این افزایش برای تیمار شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر با اختلاف ۳۰/۲۴ ٪ از تیمار شاهد و برای تیمار شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر با اختلاف ۹۷/۲۲ ٪ از تیمار شاهد بوده است. افزایش سدیم در شرایط شور در گیاه پنبه (لیدی و سایبز، ۱۹۹۷)، کلم (اشرف و نیلی، ۱۹۹۰)، گندم و چغندر (کرامر، ۱۹۹۷) و آفتاب گردان (اشرف و نیلی، ۱۹۹۰) گزارش شده است که با نتایج حاصل از این تحقیق هم‌پوشانی دارد. در گیاهان، سدیم از طریق غشا پلاسمایی سلول‌های اپیدرم و یا سلول‌های پوست ریشه به شکل غیرفعال تحت اثر تفاوت شیب غلظت به درون سلول‌ها منتشر می‌شود (تیرمن و همکاران، ۱۹۹۷).

طبق جدول مقایسه میانگین اثرات اصلی (جدول ۹-۴) با افزایش میزان کروم خاک، محتوای سدیم نیز افزایش چشمگیری داشته است. ملاحظه می‌شود که تحت تنش کروم، محتوای سدیم در سطح دوم کروم (۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک)، ۱۶/۹۱ ٪ و در سطح سوم کروم (۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم

خاک)، ۵۷/۳۶ ٪ نسبت به شاهد افزایش داشته است. عناصر سنگین می‌توانند بر عناصر کم‌مصرف و پرمصرف در گیاه اثر گذاشته و بنابراین باعث تاثیر قابل توجه بر جذب عناصر غذایی شوند. این اثرات بستگی به غلظت یون‌ها، pH و حضور کلات‌ها دارد (رائی و همکاران، ۲۰۰۵). تنش فلزات سنگین از جمله عوامل محدود کننده رشد ریشه است و از آنجا که تعیین مقدار آب و عناصر غذایی قابل دسترس برای گیاه از روی حجم خاک یا محلول در تماس با ریشه‌ها صورت می‌گیرد، کاهش رشد ریشه، سایر فعالیت‌های رشدی گیاه را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد (علیزاده، ۱۳۸۱).

۴-۳-۲- محتوای پتاسیم

داده‌های به دست آمده از جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۸) نشان می‌دهد که هیچ کدام از تیمارهای مورد مطالعه اثر معنی‌داری بر روی محتوای پتاسیم نداشتند. با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۴-۹) در حقیقت با افزایش میزان شوری و کروم در خاک، محتوای پتاسیم کاهش یافت، اما این کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود.

۴-۳-۳- نسبت سدیم به پتاسیم

بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴-۸) اثر تیمار شوری و تیمار کروم بر نسبت محتوای سدیم به پتاسیم در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. با توجه به مقایسه میانگین مربوطه (جدول ۴-۹)، مشاهده می‌شود که اثر سطوح مختلف شوری با یکدیگر و نیز با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری بر این صفت داشته‌اند. این نسبت در تیمار شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، ۳۲ ٪ نسبت به شاهد و در تیمار شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، به اندازه ۲ برابر تیمار شاهد افزایش یافت. با توجه به نتایج حاصل شده قبلی، تنش شوری باعث عدم تعادل تغذیه‌ای گیاه شده و افزایش سدیم بر اثر تنش شوری و همچنین کاهش محتوای پتاسیم، می‌تواند منجر به افزایش نسبت سدیم به پتاسیم شده باشد. به اعتقاد فرشید و همکاران (۲۰۰۹) هر چه این نسبت بیشتر باشد تحمل گیاه به شوری کمتر است. محمد و همکاران (۲۰۰۳) نیز اعلام کردند که همبستگی زیادی بین نسبت سدیم به پتاسیم و مقاومت به شوری در گیاه جو وجود دارد، به طوریکه با

افزایش شوری در گیاه جو، غلظت سدیم محتوی بافت افزایش و محتوای پتاسیم، کاهش می‌یابد. به گفته جوانمردی و همکاران (۲۰۰۰) علت افزایش این نسبت در تنش شوری در خربزه، اثر متقابل یون سدیم بر جذب یون پتاسیم و حامل‌های انتقال دهنده این دو یون می‌باشد.

همچنین با توجه به مقایسه میانگین (جدول ۴-۹)، افزایش این صفت، بر اثر افزایش مصرف کروم ملاحظه می‌گردد. اُزکوتلو و همکاران (۲۰۰۷) که آزمایشی تحت تیمارهای شوری و کادمیم انجام دادند، گزارش نمودند با افزایش کلرید سدیم و افزایش محتوای سدیم، غلظت کادمیم در برگ افزایش می‌یابد. در این آزمایش به نظر می‌رسد با افزایش غلظت کروم خاک، یون‌های سدیم فرصت بهتری برای ورود به ریشه گیاه پیدا کرده و با حلالیت بیشتر سدیم، ورود این یون به گیاه تسهیل بخشیده شده است.

۴-۳-۴- محتوای فسفر

آنالیز واریانس داده‌های مربوط به عناصر غذایی گیاه حاکی از معنی‌دار بودن تاثیر شوری و میکوریزا بر محتوای فسفر برگ در سطح ۱ درصد می‌باشد (جدول ۴-۸). جدول مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴-۹) بیانگر کاهش قابل توجه میزان فسفر بر اثر افزایش شوری و در نتیجه ایجاد گروه‌های آماری مختلف می‌باشد. بر اساس این جدول (جدول ۴-۹)، شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، ۱۰/۹۶ ٪ و شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، ۲۱/۹۲ ٪ میزان فسفر را نسبت به شاهد کاهش دادند. در شرایط شور غلظت‌های یون‌های سدیم و کلر معمولا بیشتر از عناصر غذایی پرمصرف است و در مورد عناصر کم‌مصرف، این تفاوت بسیار بیشتر است. بنابراین گیاهان به علت اثرات اسمزی و آسیب یون‌های خاص و ایجاد اختلالات تغذیه‌ای دچار افت کیفیت و کمیت محصول می‌شوند (کافی و مهدوی دامغانی، ۱۳۷۹). گراتان و گریو (۱۹۹۲) اعلام داشتند کاهش فسفر محلول به دلیل افزایش قدرت یونی محلول و کاهش غلظت فسفر محلول خاک به دلیل ایجاد کانی‌های کلسیم - فسفر از جمله دلایل کاهش جذب فسفر توسط گیاهان در شرایط شور می‌باشد. در بررسی اثر تنش شوری بر میزان جذب فسفر در گیاه گندم محققین اعلام کردند که با افزایش شوری میزان جذب فسفر کاهش می‌یابد (پوستینی و ابوطالبیان، ۱۳۸۰).

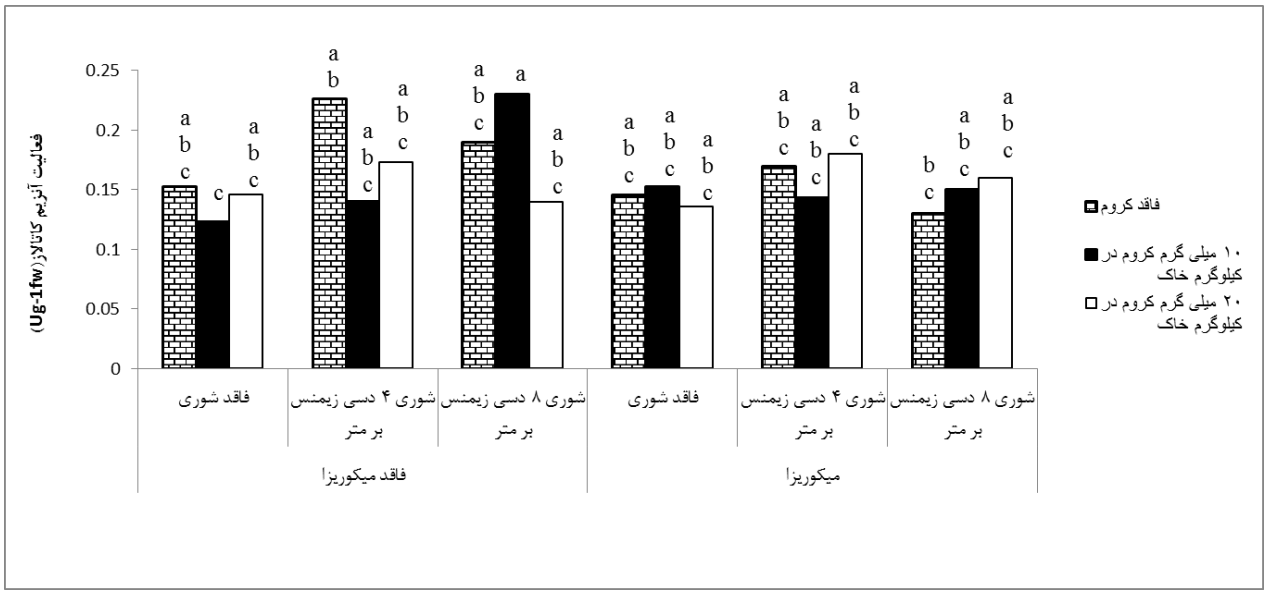
مطابق با داده‌های جدول مقایسه میانگین (۴- ۹)، ملاحظه می‌گردد که تلقیح میکوریزا باعث افزایش فسفر به میزان ۱۶/۶۶ ٪ نسبت به شاهد شده است. ماهاوار و الوک (۲۰۰۰) بیان نمودند که تلقیح پیاز با قارچ‌های میکوریزا موجب افزایش معنی‌دار فسفر اندام هوایی نسبت به گیاهان تلقیح نشده گردید. افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر به دلیل انتشار از طریق میسلیوم‌های میکوریزایی مرتبط با بافت‌های درونی ریشه و تشکیل یک سیستم جذب اضافی، مکمل سیستم ریشه‌ای گیاه باشد که بهره‌برداری از حجم بیشتر خاک را ممکن می‌سازد که ریشه‌های تغذیه کننده به آن دسترسی ندارند (علیزاده، ۲۰۰۷). نتایج بسیاری از تحقیقات با نتایج حاصل از این پژوهش همخوانی داشته و بر افزایش فسفر بوسیله گیاهان تلقیح شده با میکوریزا تاکید دارند. (آزکون و همکاران، ۱۹۷۹ ; دیوپ و همکاران، ۲۰۰۳).

۴-۴- فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان

۴-۴-۱- آنزیم کاتالاز (CAT)

نتایج منعکس شده در جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۰) گویای آن است که اثر شوری و نیز اثر توام میکوریزا - شوری بر روی میزان فعالیت آنزیم کاتالاز اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشت. همچنین با توجه به جدول (۴-۱۰)، اثر دوگانه کروم – شوری و اثر سه گانه میکوریزا – شوری – کروم بر روی این صفت در سطح ۵ درصد معنی‌دار گشت. با استنباط از جدول (۴-۱۱)، کاربرد توام شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر - ۱۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک – فاقد میکوریزا، فعالیت آنزیم کاتالاز را ۵۰/۳۲ ٪ نسبت به شاهد، افزایش داد. همچنین از کاربرد توام فاقد شوری – ۱۰ میلی گرم کروم در کیلوگرم خاک – فاقد میکوریزا ، فعالیت آنزیم کاتالاز ۱۹/۶۰ ٪ نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد. با توجه به شکل (۴- ۵) با افزایش شوری از سطح صفر به سطح ۸ دسی‌زیمنس بر متر بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز افزوده شده است. به عبارتی برای کاهش اثرات سمی تنش اکسیداتیو ناشی از تنش شوری، مکانیسم‌های متنوعی در گیاه فعال می‌شود. در این شرایط میزان آنتی اکسیدان ها افزایش می‌یابد. مقایسه میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در شکل (۴- ۵) ملاحظه شد که در شرایط فاقد شوری، افزایش کروم به میزان ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک،

فعالیت این آنزیم را به مقدار جزئی کاهش داد. چنین به نظر می‌رسد که وجود قارچ میکوریزا، اثرات منفی ناشی از افزایش شوری و کروم را تا حدی از بین برده و بنابراین در این شرایط، افزایش فعالیت آنزیمی، چندان قابل توجه نمی‌باشد. بر اساس نتایج گالکو و همکاران (۱۹۹۶) رادیکال‌های آزاد اکسیژن که در شرایط تنش ناشی از فلزات سنگین به وجود می‌آیند با حمله به آنزیم‌های آنتی اکسیدان باعث مهار این آنزیم‌ها می‌شوند. بنابراین با کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز، تجمع H_2O_2 افزایش می‌یابد که این فرآیند نیز باعث مهار آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز می‌گردد (دل ریو و همکاران، ۲۰۰۳). اما افزایش چشمگیر این آنزیم در بیش‌ترین سطح شوری صورت گرفت. محققین بیان کردند که با افزایش شوری و افزایش سن گیاه مقدار آنزیم افزایش می‌یابد (ردی و سریواستاوا، ۲۰۰۳). در سطح دوم کروم (۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، افزایش شوری باعث افزایش فعالیت کاتالاز گردید (شکل ۴-۵). سلول‌های گیاهی برای حفاظت در مقابل آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش فلزات سنگین، مجهز به یک سیستم جاروب کننده رادیکال‌های آزاد می‌باشند. این سیستم شامل آنزیم‌های آنتی اکسیداسیون مانند کاتالاز و نیز سیستم آنتی اکسیدانی غیر آنزیمی می‌باشد (چو و پارک، ۲۰۰۰). با توجه به تحقیقات انجام شده، می‌توان اینگونه بیان کرد که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در سطوح بالای تیمارهای شوری و کروم در آزمایش مورد بحث، جهت ایجاد یک سیستم محافظتی در برابر تنش وارد شده بوده است. گزارش شده است که فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در شرایط شور در پنبه‌های محتمل به شوری (ملونی و همکاران، ۲۰۰۳)، برنج (فادزیلا و همکاران، ۱۹۹۷)، خیار (لکنو و همکاران، ۱۹۹۷)، گندم (منوگئوزو و ناواری ایزو، ۱۹۹۹) و نخود (هرماندز، ۱۹۹۹) افزایش می‌یابد. تنش اکسیداتیو ایجاد شده بر اثر تنش اسمزی باعث اختلال در عمل غشا سلولی و در صورت تداوم، باعث مرگ سلول می‌شود. گیاهان بوسیله القا فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیداتیو خاصی همچون کاتالاز، پراکسیداز، گلوتاتیون رداکتاز و سوپراکسید دیسموتاز که پالاینده انواع اکسیژن فعال هستند، با چنین اکسیژن‌های فعالی مقابله می‌نمایند (سایرام و همکاران، ۲۰۰۲).



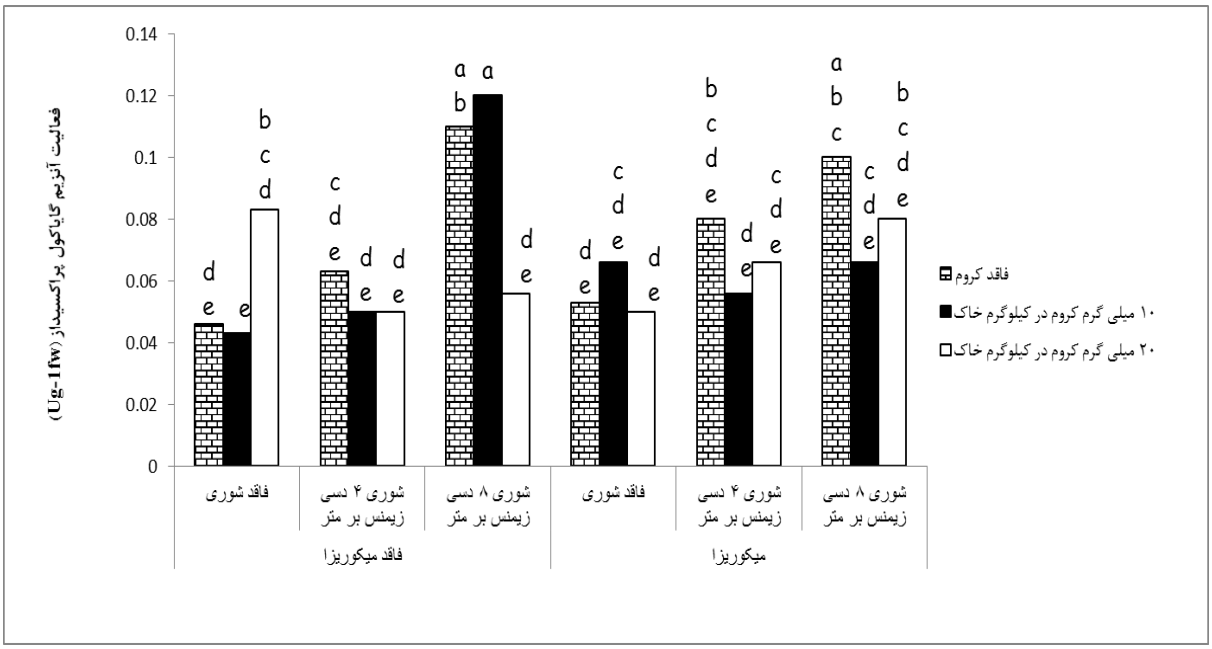
شکل ۴-۵ – اثرات متقابل سه گانه شوری – کروم – میکوریزا بر فعالیت آنزیم کاتالاز

۴-۴-۲- آنزیم گایاکول پراکسیداز (GPX)

از نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان (جدول ۴-۱۰)، چنین استنباط می‌شود که اثر هر یک از تیمارهای شوری و کروم بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید. داده‌های حاصل همچنین بیانگر معنی‌دار شدن اثرات متقابل دو گانه میکوریزا - کروم و کروم – شوری و نیز اثر سه گانه شوری – کروم – میکوریزا در سطح ۱ درصد بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴-۱۱)، تیمار فاقد شوری – ۱۰ میلی گرم کروم در کیلوگرم خاک – فاقد میکوریزا ۶/۵۲ ٪ نسبت به شاهد کاهش یافته است که علت آن می‌تواند ناشی از تجمع عنصر سنگین در گیاه باشد. کاهش فعالیت آنزیم گایاکول همراه با افزایش غلظت برخی عناصر سنگین در برخی گیاهان به علت کاهش در میزان پروتئین‌های گیاه در اثر سمیت این فلز و تنش اکسیداتیو گزارش شده است (فریرا و همکاران، ۲۰۰۲). کاهش در فعالیت آنزیم گیاهان تحت تیمار با کروم همچنین می‌تواند به اثر متفاوت گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مربوط باشد. فلزات سنگین سبب تولید گونه‌های ROS مانند پراکسید هیدروژن، رادیکال

پراکسیل و رادیکال هیدروکسیل شود که این پدیده پاسخی بر تنش محسوب می‌شود (کاراپاناپاندین و همکاران، ۲۰۰۹).

بر اساس شکل ۴-۶ تیمار شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر – ۱۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک – فاقد میکوریزا، فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز را ۱/۵ برابر نسبت به شاهد افزایش داد. به نظر می‌رسد که افزایش شوری با کاربرد ۱۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک باعث افزایش معنی‌دار فعالیت این آنزیم گشته است. احتمالا شرایط ایجاد شده، با توجه به عدم حضور میکوریزا، برای گیاه بحرانی تلقی شده و از طریق مکانیزم دفاع آنزیمی، سلول‌ها را در برابر استرس ایجاد شده، محافظت می‌کند. با افزایش میزان شوری، سیستم آنتی اکسیدان گیاه فعال شده و به عنوان سد دفاعی در مقابل حمله رادیکال‌های اکسیژن، در مقابل خسارات ناشی از تنش شوری مقاومت می‌نماید (میر محمدی میبدی و قره یاضی، ۱۳۸۱) و تا زمانی که گیاه قادر به مهار حجم سوپر اکسید تولید شده در گیاه باشد این فرایند ادامه دارد. مطالعه کلروپلاست‌های دو رقم حساس و بردبار نخود نشان داد که فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاهان بردبار افزایش و درگیاهان حساس بدون تغییر می‌ماند (هرماندز و همکاران، ۱۹۹۹). یکی از روش‌های از بین رفتن H_2O_2 توسط پراکسیدازهاست. این آنزیم‌ها که در سرتاسر سلول یافت می‌شوند، میل ترکیبی بیشتری با H_2O_2 نسبت به کاتالاز دارند. بر این اساس، تغییر غلظت آنزیم گایاکول پراکسیداز یک مکانیزم حمایتی جهت انهدام موثر سوپراکسیدها و هیدروژن پراکسیدها محسوب می شود. در گیاه ترب در شرایط شور، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز افزایش یافت. گزارش شده است افزایش فعالیت این آنزیم‌های به علت افزایش mRNA ژن به رمز درآورنده آن‌ها در شرایط شور است (دیونیزیو و توبیتا، ۱۹۹۸).



شکل ۴-۶- اثرات متقابل سه گانه شوری – کروم – میکوریزا بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز

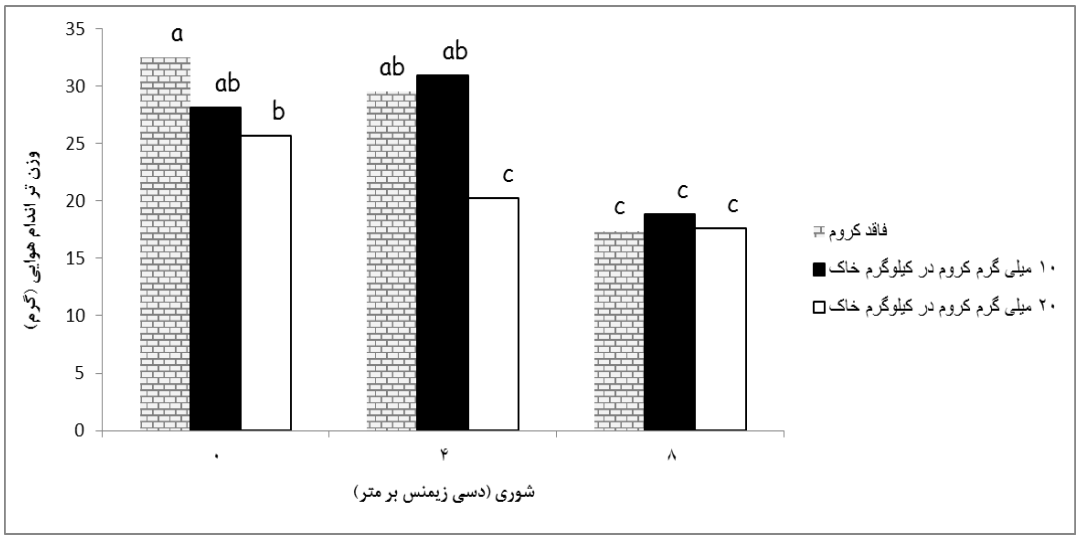
۴-۵- برخی شاخص های رشد

۴-۵-۱- وزن تر اندام هوایی

مطابق داده‌های جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۲)، کاربرد شوری و کروم هر کدام در سطح ۱ درصد بر روی وزن تر گیاه معنی‌دار گشتند. علاوه بر آن، کاربرد توام شوری – کروم تاثیر معنی‌داری بر این صفت در سطح ۱ درصد داشت. مطابق جدول مقایسه میانگین داده‌های مربوطه (جدول ۴-۱۳)، افزایش شوری باعث کاهش معنی‌دار وزن تر گیاه شده است. شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، این صفت را به میزان ۳۸/۰۵ ٪ نسبت به شاهد کاهش داد. غلام و فارس (۲۰۰۱) بیان کردند که تیمار شوری باعث کاهش وزن تر و خشک ریشه و ساقه در چغندر قند شده است. شوری رابطه معکوسی با هدایت روزنه‌ای وسرعت فتوسنتز خالص دارد که منجر به کاهش تولید ماده خشک و برخی پارامترهای رشد از جمله وزن تر می‌شود (واحید، ۲۰۰۳). در تحقیق دیگری کاهش رشد نیشکر نیز ناشی از اثرات توأم یا منفرد دو جزء اسمزی و یا سمیت ناشی از شوری بود (قریشی و همکاران، ۲۰۰۲).

همان طور که در جدول مقایسه میانگین (جدول ۴-۱۳) مشاهده می‌شود با افزایش مصرف کروم مقدار بافت تر گیاه ۱۶/۰۶ ٪ نسبت به شاهد کاهش نشان داد که این کاهش با مصرف ۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک ایجاد گردید. شانکر و همکاران (۲۰۰۵) اظهار داشتند کروم که به بخش هوایی گیاه انتقال داده می‌شوند، به علت اختلال در سوخت و ساز سلولی بخش هوایی، رشد گیاه را کاهش می‌دهند. کاهش رشد ممکن است به طور کلی به علت از دست رفتن اتساع سلولی و نیز کاهش فعالیت میتوزی و یا مهار طویل شدن سلول‌ها باشد (شاه و همکاران، ۲۰۰۸).

با بررسی اثر متقابل شوری و کروم بر وزن تر (جدول ۴-۱۴)، تفاوت معنی‌داری بین داده‌های حاصل مشاهده شد. با افزایش تیمار شوری، وزن تر به میزان ۳۷/۷۴ ٪ در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر - ۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک، ۴۶/۵۱ ٪ در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر - فاقد کروم، ۴۲/۱۷ ٪ در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر – ۱۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک و ۴۵/۸۹ ٪ در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر – ۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک نسبت به شاهد کاهش نشان داد، به طوری که سطوح ذکر شده از لحاظ آماری با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. این کاهش وزن تر می‌تواند به علت جلوگیری از رشد سلول اندام هوایی، به علت تجمع کروم و نمک، به گونه‌ای که مانع از ورود آب به این بخش از گیاه می‌شوند، باشد. همچنین حسن و همکاران (۲۰۰۶) بیان نمودند که برخی عناصر سنگین کادمیم در سلول‌ها از طریق تأثیر بر دیواره‌های سلولی و تیغه میانی و افزایش پیوند عرضی بین ترکیبات دیواره سلولی باعث مهار گسترش سلولی می‌شود. شکل (۴-۷) نیز بیانگر کاهش معنی‌دار وزن تر گیاه بر اثر افزایش توام شوری و کروم می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌شود در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، بیش‌ترین کاهش بر اثر غلظت‌های مختلف کروم رخ داده است (شکل ۴-۷). کاهش رشد در مقیاس سلولی و همچنین کل گیاه، یک فرآیند عمومی در برخورد با تنش شوری می‌باشد. فلزات سنگین نیز با اثر بر رشد و فتوسنتز به طور غیرمستقیم بیوماس گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (شانکر و همکاران، ۲۰۰۵). چنین نتایجی با گزارش زورایک و همکاران (۲۰۰۱) مبنی بر کاهش معنی‌دار بیوماس گیاه *Portulaca oleracea* تحت تأثیر کروم مطابقت دارد.

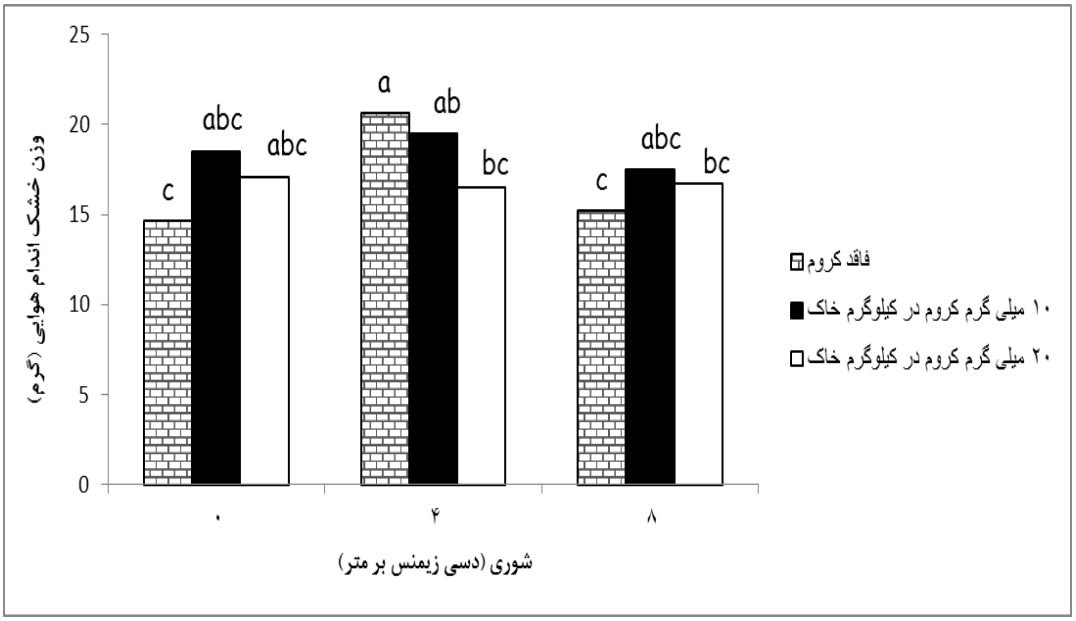


شکل ۴- ۷- اثر متقابل شوری و کروم بر وزن تر اندام هوایی گیاه

۴-۵-۲- وزن خشک اندام هوایی

از جدول (۴-۱۲) چنین استنباط می‌شود که اثر متقابل تیمارهای شوری و کروم بر وزن خشک اندام هوایی در سطح ۱ درصد معنی‌دار گشته است. با توجه به جدول (۴-۱۳) هیچ یک از اثرات اصلی بر وزن خشک معنی‌دار نبوده‌اند. نتایج حاصل از مقایسه میانگین مربوطه (جدول ۴-۱۴) نشان می‌دهد که تیمار شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر- فاقد کروم به میزان ۴۰/۸۵ ٪ نسبت به شاهد و تیمار شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر - فاقد کروم به میزان ۳/۶۸ ٪ نسبت به شاهد باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی شدند. بنابراین همانطور که در شکل (۴-۸) ملاحظه می‌گردد وزن خشک اندام هوایی بر اثر سطوح مختلف کروم تغییر معنی‌داری پیدا نکرده است، اما با افزایش شوری تا ۴ دسی‌زیمنس بر متر، افزایش و پس از آن روند کاهشی داشته است که نشان دهنده عدم مقاومت گیاه به شوری در شوری‌های بالا است. با افزایش محتوای عناصر سمی مانند سدیم و کلر در گیاه، تجمع بیش از حد این عناصر سمی در اندام هوایی سبب کاهش رشد می‌شود. گیاهان در برابر تنش، درجاتی از مقاومت را نشان می‌دهند. با توجه به نتایج حاصل از آزمایش تنش شوری بر روی بابونه (افضلی و همکاران، ۲۰۰۶)، می‌توان گفت افزایش وزن خشک به اثر ویژه احتمالی سدیم در این گونه بابونه است، جابجایی نقش پتاسیم در گیاه تا محدوده‌ای خاص از شوری و ایفای نقش آن توسط

سدیم، موجب افزایش وزن خشک گل، گردیده است. مشابه این اثر قبلاً در مورد برخی گیاهان مقاوم به شوری گزارش شده است (مارشنر و همکاران، ۱۹۸۱). بنابر تحقیقات سایرین، می‌توان احتمال داد که افزایش وزن خشک تا شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و روند کاهشی پس از آن در این تحقیق، بستگی به شرایط آزمایشی گیاه کارلا و توانایی تولید ماده خشک این گیاه در خاک کشت شده، داشته است.



شکل ۴- ۸- اثر متقابل شوری و کروم بر وزن خشک اندام هوایی گیاه

۴-۶- خصوصیات شیمیایی خاک

۴-۶-۱- هدایت الکتریکی (EC)

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴-۱۵)، نشان می‌دهد که اثر اصلی تیمار شوری بر روی هدایت الکتریکی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین داده‌های حاصل از مقایسه میانگین این صفت (جدول ۴-۱۶)، حاکی از افزایش معنی‌دار این صفت، تحت تنش شوری می‌باشد به طوری که باعث بوجود آمدن گروه‌های آماری متفاوت شده است. سطح شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، ۲۵/۱۷ ٪ و سطح

شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، ۳۲/۹۷ ٪ نسبت به شاهد افزایش داشتند. این افزایش می‌تواند به علت افزایش غلظت املاح و ایجاد پتانسیل اسمزی پایین، تحت تنش شوری باشد. تعدادی از کانال‌های یونی شناخته شده‌اند که در انتقال کاتیون های تک ظرفیتی نقش داشته و در هنگام ازدیاد غلظت یون‌ها، فعال می‌شوند. از جمله آن‌ها کانال‌های پالایش رو به درون پتاسیم و کانال‌های کاتیون‌های غیر انتخابی می‌باشند. هر دو کانال‌ها، برای برخی از کاتیون‌های تک ظرفیتی نظیر سدیم غیر انتخابی هستند. بنابراین، قادر به انتقال Na^+ می‌باشند (امتمن و ساندرز، ۱۹۹۹ ; داونپورت و تستر، ۲۰۰۲). بنابراین با افزایش Na^+، هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد.

۴-۶-۲- اسیدیته (pH)

از جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۵)، چنین استنباط می‌شود که شوری تاثیر معنی‌داری بر روی این صفت در سطح ۱ درصد داشته است. در جدول مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴-۱۶) نیز چنین برداشت می‌شود که افزایش شوری، باعث افزایش pH تا ۸/۴ شده است. با ایجاد گروه‌های آماری متفاوت (جدول ۴-۱۶)، شوری ۴ دسی‌زیمنس برمتر به میزان ۳/۳ ٪ و شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۴/۹ ٪ pH را نسبت به شاهد افزایش دادند. در اقلیم‌های مرطوب به علت آبشویی اسیدیته خاک کم می‌باشد اما با توجه به نیمه خشک بودن اقلیم آزمایش، می‌توان بیان نمود با افزایش شوری، اسیدیته نیز با روند کندی، افزایش یافته، چرا که نمک‌های خنثی نظیر NaCl اسیدیته را در حد ۸/۵ حفظ می‌کنند.

۴-۷- اندازه گیری میزان کروم

۴-۷-۱- غلظت کروم خاک

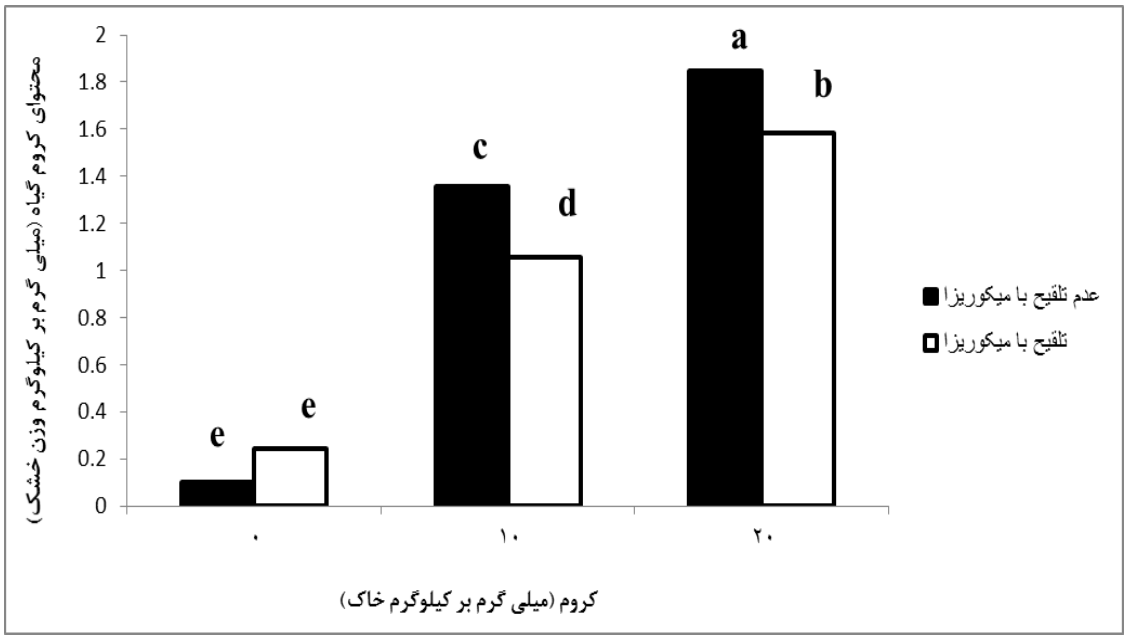
جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۷) نشان می‌دهد که تیمار کروم بر مقدار این صفت در سطح ۱ درصد معنی‌دار گشته است. همچنین جدول (۴-۱۸) افزایش معنی‌دار غلظت کروم خاک بر اثر افزایش این تیمار، را نشان می‌دهد، به طوری که تیمار ۱۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک، غلظت کروم خاک را ۴ برابر و تیمار ۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک، غلظت کروم خاک را ۱۳ برابر نسبت به شاهد افزایش دادند.

در آزمایش مورد بررسی، ریشه گیاهانی که تحت تیمار با غلظت های بالای کروم قرار گرفته بودند، به رنگ قهوه‌ای بودند. این مشاهده با نتیجه آزمایش بارسلو و همکاران (۱۹۸۶) همسو بود. طبق گزارش او، تماس ریشه با کروم موجود در خاک می‌تواند به فروپاشی و ناتوانی بعدی ریشه برای جذب آب از محیط کشت و در نتیجه کاهش رشد ریشه منجر شود. دلیل دیگر کاهش رشد، قهوه‌ای و چوبی شدن ریشه‌ها در اثر تنش فلز سنگین کروم بود. بنابراین می‌توان اعلام نمود کاهش رشد ریشه گیاه کارلا و متعاقب آن، انتقال کمتر آب و مواد غذایی به بخش‌های هوایی گیاهان تحت تیمار کروم، ناشی از جذب این عنصر بوسیله گیاه و اثر مستقیم آن بر متابولیسم سلولی گیاه است. بر این اساس، می‌توان گفت که کارلا گیاهی حساس به تنش فلز سنگین کروم می باشد. همچنین یاداو (۲۰۱۰)، انباشته شدن فلز کروم در محیط اطرف ریشه، در تنش کروم و تحت تاثیر قرار گرفتن هموستازی یونی داخل سلول بیان نمود.

۴-۷-۲- محتوای کروم گیاه

در جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۷) دیده می‌شود که اثر اصلی تیمار میکوریزا در سطح ۵ درصد و اثر اصلی تیمار کروم در سطح ۱ درصد بر محتوای کروم گیاه معنی‌دار شده اند. همچنین اثر متقابل میکوریزا و کروم نیز در سطح ۱ درصد بر این صفت معنی‌دار گشتند. بر اساس جدول (۴-۱۸)، افزایش سطح کروم، باعث افزایش محتوای کروم گیاه شده است. سطح ۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک، محتوای کروم گیاه را ۶ برابر و سطح ۲۰ میلی‌گرم کروم، این صفت را ۸ برابر نسبت به شاهد افزایش دادند. با توجه به جدول (۴-۱۸)، تلقیح خاک با میکوریزا سبب کاهش محتوای کروم گیاه به میزان ۱۲/۶۳ ٪ نسبت به شاهد گشته است. طبق نتایج پژوهش حاضر، افزایش میکوریزا سبب افزایش فسفر گیاه شده است. بنابراین ممکن است اثرت سمی کروم با رقیق شدن یا جذب سطحی شدن آن روی گرانول‌های پلی‌فسفات، کاهش پیدا کرده باشد. همزیستی میکوریزایی سبب افزایش پتانسیل جذب ریشه گیاه می‌شود و جذب عناصر غذایی و کاهش جذب عناصر سنگین در مقادیر بالا (بحرانی) می‌شود (کلیرونوموس، ۲۰۰۳).

جـدول مقایسه میانگین اثـر متقابل کروم و میکوریزا بـر محتوای کـروم گیاه (جدول ۴-۱۹)، نشان می‌دهد که تیمار ۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک - فاقد میکوریزا، محتوای کروم را ۱۷ برابر و تیمار فاقد کروم - ۱۰۰ گرم میکوریزا، محتوای کروم را ۲ برابر نسبت به شاهد افزایش داد. آزکون و همکاران (۱۹۷۹) اعلام کردند تلقیح با قارچ گلوموس ماسهآ نه تنها روی رشد یونجه موثر است بلکه باعث افزایش فعالیت باکتری *Sinorhizobiom meliloti* و کاهش اثرات ناشی از تنش‌های محیطی می‌شود. با توجه به شکل (۴-۹) ملاحظه می‌شود که بیش‌ترین میزان کروم گیاه در تیمار ۲۰ میلی‌گرم کروم بوده است و عدم حضور میکوریزا یکی از دلایل این افزایش است. اما کم‌ترین میزان آن، در حضور بیش‌ترین میزان تلقیح میکوریزا می‌باشد و نشان دهنده اثـرات مثبت میکوریزا در جـلوگیری از سمیت کـروم در گـیاه است (شکل ۴-۹). بنا به گفته زاید و همکاران (۱۹۹۸) تجمع بیش از حد فلز سنگین در قسمت‌های خوراکی گیاهان باعث می‌شود این فلزات وارد زنجیره غذایی شده، خسارت‌های جبران ناپذیری را به سلامت انسان و دام وارد نمایند، بنابراین مطالعه و تحقیق جهت جلوگیری از این امر، یکی از الزامات کشاورزی می‌باشد.



شکل ۴-۹ - اثر متقابل کروم و میکوریزا بر محتوای کروم گیاه (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک)

فصل پنجم:

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری

خاک یکی از مهم‌ترین منابعی است که می‌تواند بسیاری از نیازهای جوامع امروز جهان را برآورده سازد. بنابراین نیاز به مطالعات خاک جهت حفاظت و بهره‌برداری بیش‌تر از آن با هدف توسعه پایدار احساس می‌شود. در این راستا یکی از مهم‌ترین مسائل و مشکلاتی که در خاک‌های کشاورزی مطرح می‌گردد، عدم آلودگی خاک به عناصر سنگین و بررسی تأثیر این آلودگی در سلامت زنجیره غذایی می‌باشد. بنابراین با درنظر گرفتن بالا بودن غلظت کروم به عنوان یک آلاینده محیطی، پتانسیل بالقوه غنی‌شدگی خاک‌های کشاورزی به فلزات سنگین بویژه کروم باید در برنامه‌ریزی جهت هر گونه گسترش و توسعه فعالیت‌های کشاورزی مد نظر قرار بگیرد.

کارلا یکی از گیاهان دارویی بسیار مفید بخصوص در درمان دیابت می‌باشد که سابقه کشت آن در ایران بسیار کم است. استفاده از این گیاه در کشاورزی ایران می‌تواند دریچه‌ای نوین رو به کشاورزی و پیشرفت راه‌های درمانی بیماران بویژه بیماران دیابتی در ایران باشد، اما با توجه به قرار گرفتن وسعتی از اراضی ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شوری یکی از مشکلات پرورش این محصول است. به منظور دستیابی به عملکرد مطلوب گیاه در شرایط شور، ضروری است که عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از طریق مصرف بهینه کود تأمین شود.

در تحقیق حاضر اثرات فاکتورهای شوری و کروم بر برخی صفات مورفولوژیکی گیاه کارلا و برخی خصوصیات خاک در اقلیم نیمه‌خشک شهرستان شاهرود در حضور قارچ میکوریزا انجام گرفت. استفاده از تیمارهای شوری و کروم تاثیر منفی و معناداری بر روی بسیاری از صفت‌های مورفولوژیکی گیاه داشت. تاثیر افزایش شوری بر برخی صفات از جمله میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول و وزن تر بیشتر از تاثیر افزایش کروم بوده، بطوریکه این امر، باعث افزایش فعالیت آنزیم‌ها و کاهش وزن تر گیاه گشت. کاربرد کروم بر میزان رنگیزه کارتنوئید و وزن تر گیاه معنی‌دار و سبب کاهش هر دو صفت شد. اما افزایش این تیمار، به علت فعال شدن مکانیسم دفاعی گیاه در برابر غلظت‌های بالای کروم، منجر به افزایش میزان کربوهیدرات ریشه و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان گیاه شد. همچنین اثر سه گانه فاکتورهای آزمایش اثر معنی‌داری بر

فعالیت آنزیم‌ها داشته و باعث افزایش آن‌ها شدند. وزن تر و خشک یک گیاه، اساساً نماد عملکرد رشد آن گیاه است. در این مطالعه، تنش‌های شوری و کروم باعث کاهش برخی شاخص‌های رشد گیاه از جمله وزن تر و وزن خشک شدند. انتقال کروم از ریشه به بخش هوایی گیاه، ابتدا با افزایش کربوهیدرات ریشه (مکانیزم دفاعی) آغاز شده و سپس در اندام هوایی گیاه به علت اثر مستقیم بر متابولیسم سلولی، بیوماس ماده خشک را کاهش داده است. چنین به نظر می‌رسد که گیاه به منظور تحمل بیش‌تر در برابر غلظت‌های مسموم کننده کروم مبادرت به تجمع آن در ریشه و محدود کردن انتقال آن به اندام‌های هوایی کرده است. بدین سان، در این مطالعه کاربرد کروم باعث کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک گیاه شد. همچنین اثر متقابل کروم و شوری کاهش معنی‌داری بر میزان صفات ذکر شده داشت. در این پژوهش، نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان دهنده اثر تنش شوری و کروم در کاهش فتوسنتز گیاه بوده است. شایان ذکر است استفاده از قارچ میکوریزا در این تحقیق، ضمن آنکه باعث تجمع کروم در گیاه شد، سبب افزایش جذب برخی عناصر توسط گیاه از جمله فسفر گشت.

با توجه به نتایج حاصل، انتظار می‌رود که بتوان با استفاده از قارچ مایکوریزا به یک نوآوری در خصوص کاهش جذب کروم در خاک‌های شور و کاهش مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی دست یافت. همچنین اثر همزیستی میکوریزا بر بهبود بازده آب مصرفی و کاهش تبخیر و تعرق، می‌تواند در کشور ما که در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان واقع است بسیار مهم و مفید باشد. در نتیجه می‌توان بیان نمود که کشت گیاهان گرمسیری از جمله گیاه مورد استفاده در این پژوهش با مشکلات کمتری روبرو خواهد شد، زیرا با توجه به نتایج بدست آمده از جمله آسیب‌پذیری رنگیزه‌های اصلی و کمکی فتوسنتزی و کاهش عملکرد گیاه در شرایط شوری و عنصر سنگین، می‌توان گفت که گیاه کارلا حساس به شوری و غلظت بالای کروم است. بنابراین با در نظر گرفتن اقلیم تحت کشت، استفاده از قارچ میکوریزا در مقادیر مناسب، می‌تواند باعث مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی شود. بنابراین، چنین نتیجه‌ای می‌تواند هشداری سودمند در استفاده کنترل شده از گیاهان خوراکی رشد یافته در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین از جمله کروم باشد.

از سوی دیگر نظر به اینکه اکثر تحقیقات انجام یافته در زمینه اثر قارچ‌های مکیوریزا آربوسکولار بر رشد و جذب عناصر غذایی در شرایط کنترل شده گلخانه و یا اتاق رشد انجام یافته است لذا، نتایج حاصل از تحقیقات گلخانه‌ای براحتی قابل تعمیم به شرایط مزرعه‌ای نمی‌باشد.

۵-۲- پیشنهادات

الف) با استنباط از نتایج این آزمایش، می‌توان گفت که کارلا گیاهی حساس به شوری است. از آنجایی که شوری یکی از مشکلات عدیده در ایران است، تلقیح بذر این گیاه در زمان کاشت با قارچ میکوریزا گلوموس ماسه‌آ برای جلوگیری از اثرات منفی شوری، پیشنهاد می‌گردد.

ب) با کشت گلخانه‌ای می‌توان شرایط محیطی را کنترل کرد و در این صورت می‌توان تعداد بذور بیش‌تری در هر گلدان قرار داد. با توجه به ریشه افشان این گیاه، بذورها باید با فاصله مناسب از یکدیگر باشند. با استناد به رشد مناسب گیاه در طی یک ماه، پیشنهاد می‌شود قسمتی از گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود به کشت این بذر تعلق گیرد و با برداشت میوه زودرس آن و در دسترس قرار دادن آن به آزمایشگاه‌ها، به کاهش دیابت کمک کرد.

پ) بر طبق نتایج بدست آمده، از قارچ میکوریزای گلوموس ماسه‌آ جهت تحمل سمیت کروم و تنش شوری می‌توان استفاده کرد.

ت) از آنجا که غلظت کروم در خاک اطراف کارخانه‌ها و معادن و در لجن تولید شده از صنایعی چون چرم و دباغی بیش‌تر است، جهت کشت و کار در این نواحی، استفاده از کودهای بیولوژیک و قارچ‌های آرباسکولار به عنوان بهبود دهنده محیط اطراف ریشه ضروری به نظر می‌رسد، ضمن اینکه پیشنهاد می‌شود اساساً از کاشت گیاهانی که میوه آن‌ها مورد استفاده قرار خواهند گرفت در این مناطق جلوگیری به عمل آید.

پیوست‌ها

جدول ۴-۱- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر میزان کربوهیدرات گیاه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		کربوهیدرات برگ	کربوهیدرت ریشه
تکرار	۲	۱۴/۵۰۹	۱۴/۸۹۲
میکوریزا	۱	۲۵/۱۳۳	۴/۳۲۹
شوری	۲	۳/۵۴۱	۴/۵۳۵
کروم	۲	۶/۵۸۱	۶۳/۳۴۸**
میکوریزا×شوری	۲	۱/۵۰۵	۱۱/۰۸۵
میکوریزا×کروم	۲	۹/۴۸۰۱	۳۵/۸۱۴*
کروم×شوری	۴	۵/۶۵۲	۹/۱۲۹
شوری×کروم×میکوریزا	۴	۱۱/۴۹۹	۱۴/۷۳۵
خطا	۳۴	۷/۷۱۲	۸/۴۲۲
ضریب تغییرات	—	۱۴/۹۳۴	۱۴/۵۲۵

* و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۲- مقایسه میانگین اثرات اصلی بر میزان کربوهیدرات گیاه

تیمار	کربوهیدرات برگ (میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر)	کربوهیدرات ریشه (میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر)
شوری		
فاقد شوری	۱۹/۰۸۹a	**۲۰/۲۶۸a**
۴ دسی‌زیمنس بر متر	۱۸/۲۳۰a	**۱۹/۴۰۰a**
۸ دسی‌زیمنس بر متر	۱۸/۴۶۷a	**۲۰/۲۷۱a**
کروم		
فاقد کروم	۱۹/۲۶۲a	**۱۷/۸۳۸b**
۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک	۱۸/۰۸۳a	**۲۱/۳۳۱a**
۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک	۱۸/۴۴۱a	**۲۰/۷۷۰a**
میکوریزا		
عدم تلقیح	۱۷/۹۱۳a	**۱۹/۶۹۷a**
تلقیح	۱۹/۲۷۸a	**۲۰/۲۶۳a**

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۳- مقایسه میانگین اثر متقابل کروم و میکوریزا بر میزان کربوهیدرات ریشه

تیمار	کربوهیدرات ریشه (میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر)
کروم × میکوریزا	
فاقد کروم × فاقد میکوریزا	۱۵/۸۸c
فاقد کروم × ۱۰۰ گرم میکوریزا	۲۲/۱۲a
۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک× فاقد میکوریزا	۲۲/۵۷a
۱۰ میلی‌گرم کرومبر کیلوگرم خاک× ۱۰۰ گرم میکوریزا	۲۱/۹۱a
۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک× فاقد میکوریزا	۲۰/۲۶ab
۲۰ میلی‌گرم کرومبر کیلوگرم خاک× ۱۰۰ گرم میکوریزا	۱۸/۸۵b

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر روی رنگدانه‌های فتوسنتزی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	آنتوسیانین
تکرار	۲	۰/۶۱۲	۸/۵۶۲**	۰/۰۰۹	۰/۹۰۰**
میکوریزا	۱	۱/۷۹۳	۰/۰۹۲	۰/۰۴۷	۰/۱۷۱
شوری	۲	۱۸/۹۱۶**	۱۶/۸۵۳**	۰/۰۳۷	۱/۲۹۵**
کروم	۲	۷/۲۹۴**	۴/۰۳۶**	۰/۱۶۲**	۰/۰۸۱
میکوریزا×شوری	۲	۰/۳۰۳	۱/۰۲۱	۰/۰۱۴	۰/۰۰۷
میکوریزا×کروم	۲	۴/۹۱۸*	۱/۲۹۳	۰/۰۷۳*	۰/۲۶۸
کروم×شوری	۴	۱/۶۴۸	۱/۲۶۴	۰/۰۶۶*	۰/۳۰۸
شوری×کروم×میکوریزا	۴	۲/۶۴۷	۰/۷۰۳	۰/۰۲۳	۰/۱۲۱
خطا	۳۴	۱/۱۲۳	۰/۷۰۱	۰/۰۲۰۸	۰/۱۵۴
ضریب تغییرات	—	۲۵/۳۳۶	۳۱/۷۳۸	۲۶/۷۸۴	۲۷/۴۷۸

* و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی

تیمار	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	آنتوسیانین
	(میکروگرم در گرم وزن تر)			
شوری				
فاقد شوری	۵/۱۳۱a	۳/۴۰۶a	۰/۵۹۱a	۱/۵۴۶a
۴ دسی‌زیمنس بر متر	۴/۳۲۱b	۲/۹۶۰a	۰/۵۰۶a	۱/۶۱۷a
۸ دسی‌زیمنس بر متر	۳/۰۹۵c	۱/۵۵۲b	۰/۵۱۹a	۱/۱۲۱b
کروم				
فاقد کروم	۴/۹۱۳a	۳/۱۵۷a	۰/۶۳۰a	۱/۴۹۸a
۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۳/۸۸۶b	۲/۵۳۲b	۰/۵۴۶a	۱/۳۶۴a
۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۳/۷۴۸b	۲/۲۲۸b	۰/۴۴۰b	۱/۴۲۱a
میکوریزا				
عدم تلقیح	۴/۳۶۴a	۲/۶۸۰a	۰/۵۶۸a	۱/۴۸۴a
تلقیح	۴/۰۰۰a	۲/۵۹۸a	۰/۵۰۹a	۱/۳۷۱a

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون **LSD** در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۶- مقایسه میانگین اثر متقابل کروم و میکوریزا برمیزان کلروفیل a و کارتنوئید

تیمار	کلروفیل a	کارتنوئید
	(میکروگرم در گرم وزن تر)	
کروم × میکوریزا		
فاقد کروم × فاقد میکوریزا	۶/۲۷۰ a	۰/۶۰۰ab
فاقد کروم × ۱۰۰ گرم میکوریزا	۵/۷۴۰ a	۰/۶۷۰ a
۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک× فاقد میکوریزا	۵/۸۰۰ a	۰/۶۲۰ab
۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک× ۱۰۰ گرم میکوریزا	۴/۰۷۰ b	۰/۴۸۰ b
۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک× فاقد میکوریزا	۴/۰۹۰ b	۰/۵۵۰ab
۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک× ۱۰۰ گرم میکوریزا	۴/۷۱۰ b	۰/۶۱۰ab

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۷- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و کروم بر میزان کارتنوئید

تیمار	کارتنوئید (میکروگرم در گرم وزن تر)
فاقد شوری × فاقد کروم	۰/۶۰۰ a
فاقد شوری × ۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۰/۶۲۰ a
فاقد شوری × ۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۰/۵۵۰ab
شوری ۴ دسی زیمنس بر متر × فاقد کروم	۰/۵۶۰ab
شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر × ۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۰/۶۴۰ a
شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر × ۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۰/۴۰۰bc
شوری ۸ دسی زیمنس بر متر × فاقد کروم	۰/۶۷۰ a
شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر× ۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۰/۶۸۰ a
شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر × ۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۰/۳۷۰ c

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۸- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر روی برخی عناصر غذایی گیاه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		سدیم	پتاسیم	سدیم/پتاسیم	فسفر
تکرار	۲	۲۵۱۹/۷۰۶*	۷۷۰/۹۲۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰
میکوریزا	۱	۴۲۸/۳۵۸	۱۵۹۸۰/۵۲۰	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱**
شوری	۲	۲۹۴۶۳/۳۸۱**	۳۸۸۹/۰۹۱	۰/۱۱۷**	۰/۰۰۱**
کروم	۲	۱۳۴۸۶/۵۵۳**	۳۶۶۶/۴۵۱	۰/۰۵۳**	۰/۰۰۰
میکوریزا×شوری	۲	۹۹/۰۲۳	۵۱۵۹/۱۸۷	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰
میکوریزا×کروم	۲	۱۲۲۴/۷۸۰	۶۷۲۳/۱۱۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰
کروم×شوری	۴	۱۸۳/۵۲۲	۲۰۴۱۲/۵۴۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰
شوری×کروم×میکوریزا	۴	۳۵۸/۱۷۳	۸۸۹۱/۷۳۵	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰
خطا	۳۴	۴۹۴/۱۲۸	۹۱۴۰/۶۷۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰
ضریب تغییرات	—	۱۹/۱۸۶	۱۷/۵۰۴	۲۳/۴۲۲	۱۱/۵۹

* و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۹- مقایسه میانگین اثرات اصلی بر برخی عناصر غذایی گیاه

تیمار	سدیم	پتاسیم	سدیم/پتاسیم	فسفر
		(میلی‌گرم در کیلوگرم)		
شوری				
فاقد شوری	۸۱/۳۱۱ c	۵۶۲/۶۵ a	۰/۱۵۰ c	۰/۰۷۳ a
۴ دسی‌زیمنس بر متر	۱۰۵/۹۰۰ b	۵۵۱/۳۸ a	۰/۱۹۸ b	۰/۰۶۵ b
۸ دسی‌زیمنس بر متر	۱۶۰/۳۶۷ a	۵۳۳/۵۰ a	۰/۳۰۷ a	۰/۰۵۷ c
کروم				
فاقد کروم	۹۲/۸۶۸ c	۵۶۵/۵۹ a	۰/۱۷۳ b	۰/۰۶۷ a
۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۱۰۸/۵۷۲ b	۵۴۲/۳۰ a	۰/۲۰۳ b	۰/۰۶۶ a
۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۱۴۶/۱۳۸ a	۵۳۹/۶۵ a	۰/۲۷۹ a	۰/۰۶۲ a
میکوریزا				
عدم تلقیح	۱۱۸/۶۷۶ a	۵۶۶/۳۸ a	۰/۲۱۴ a	۰/۰۶۰ b
تلقیح	۱۱۳/۰۴۳ a	۵۳۱/۹۸ a	۰/۲۲۲ a	۰/۰۷۰ a

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۱۰- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر میزان فعالیت آنزیم های CAT و GPX

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		CAT	GPX
تکرار	۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
میکوریزا	۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱
شوری	۲	۰/۰۱۹**	۰/۰۱۷**
کروم	۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵**
میکوریزا×شوری	۲	۰/۰۱۵**	۰/۰۰۰
میکوریزا×کروم	۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴**
کروم×شوری	۴	۰/۰۰۷*	۰/۰۰۱**
شوری×کروم×میکوریزا	۴	۰/۰۰۹*	۰/۰۰۱**
خطا	۳۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰
ضریب تغییرات	—	۳۱/۴۶۶	۲۹/۱۰۳

* و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول۴-۱۱- مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه شوری-کروم- میکوریزا بر میزان فعالیت آنزیم‌های CAT و GPX

تیمار	CAT (میکرومول H2O2 بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین)	GPX
فاقد شوری×فاقد کروم×فاقد میکوریزا	۰/۱۵۳abc	۰/۰۴۶de
فاقد شوری ×فاقد کروم × ۱۰۰ گرم میکوریزا	۰/۱۴۶abc	۰/۰۵۳de
فاقد شوری ×۱۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک × فاقد میکوریزا	۰/۱۲۳c	۰/۰۴۳e
فاقد شوری ×۱۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک× ۱۰۰ گرم میکوریزا	۰/۱۵۳abc	۰/۰۶۶cde
فاقد شوری ×۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک× فاقد میکوریزا	۰/۱۴۶abc	۰/۰۸۳bcd
فاقد شوری ×۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک× ۱۰۰ گرم میکوریزا	۰/۱۳۶abc	۰/۰۵۰de
شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر×فاقد کروم×فاقد میکوریزا	۰/۲۲۶ab	۰/۰۶۳cde
شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر×فاقد کروم× ۱۰۰ گرم میکوریزا	۰/۱۷۰ abc	۰/۰۸۰bcde
شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر×۱۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک×فاقد میکوریزا	۰/۱۴۰abc	۰/۰۵۰de
شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر×۱۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک× ۱۰۰ گرم میکوریزا	۰/۱۴۳abc	۰/۰۵۶de
شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر×۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک×فاقد میکوریزا	۰/۱۷۳abc	۰/۰۵۰de
شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر×۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک× ۱۰۰ گرم میکوریزا	۰/۱۸۰abc	۰/۰۶۶cde
شوری۸ دسی‌زیمنس بر متر×فاقد کروم ×فاقد میکوریزا	۰/۱۹۰abc	۰/۱۱۰ab
شوری۸ دسی‌زیمنس بر متر×فاقد کروم × ۱۰۰ گرم میکوریزا	۰/۱۳۰bc	۰/۱۰۰abc
شوری۸ دسی‌زیمنس بر متر× ۱۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک×فاقد میکوریزا	۰/۲۳۰a	۰/۱۲۰a
شوری۸ دسی‌زیمنس بر متر×۱۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک × ۱۰۰ گرم میکوریزا	۰/۱۵۰abc	۰/۰۶۶cde
شوری۸ دسی‌زیمنس بر متر×۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک ×فاقد میکوریزا	۰/۱۴۰abc	۰/۰۵۶de
شوری۸ دسی‌زیمنس بر متر×۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک × ۱۰۰ گرم میکوریزا	۰/۱۶۰abc	۰/۰۸۰bcde

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۱۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر برخی شاخص‌های رشد گیاه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی
تکرار	۲	۲۸/۷۰۰	۴۰/۸۳۶*
میکوریزا	۱	۰/۰۶۲	۱/۹۴۵
شوری	۲	۶۰۸/۱۰۰**	۲۶/۴۴۸
کروم	۲	۹۰/۶۸۳**	۲۳/۲۷۹
میکوریزا×شوری	۲	۱/۶۴۵	۵/۳۹۹
میکوریزا×کروم	۲	۷/۸۲۰	۰/۸۶۶
کروم×شوری	۴	۸۱/۶۳۶**	۳۷/۹۰۶**
شوری×کروم×میکوریزا	۴	۱۳/۵۵۹	۱۰/۲۷۹
خطا	۳۴	۱۷/۰۲۱	۸/۷۴۳
ضریب تغییرات	—	۱۶/۸۴۰	۱۶/۸۳۹

* و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۱۳ – مقایسه میانگین اثرات اصلی بر برخی شاخص های رشد گیاه

تیمار	وزن تر اندام هوایی (گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)
شوری		
فاقد شوری	۲۸/۹۲۱ a	۱۷/۵۸۶ a
۴ دسی‌زیمنس بر متر	۲۶/۶۶۰ a	۱۸/۷۵۷ab
۸ دسی‌زیمنس بر متر	۱۷/۹۱۶ b	۱۶/۳۳۳ a
کروم		
فاقد کروم	۲۶/۱۴۳ a	۱۷/۱۰۶ab
۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۲۵/۴۱۲ a	۱۸/۸۵۳ a
۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۲۱/۹۴۲ b	۱۶/۷۱۸ b
میکوریزا		
عدم تلقیح	۲۴/۴۶۵ a	۱۷/۳۶۹ a
تلقیح	۲۴/۵۳۳ a	۱۷/۷۴۹ a

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۱۴- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و کروم بر برخی شاخص های رشد گیاه

تیمار	وزن تر اندام هوایی (گـــــــــرم)	وزن خشک اندام هوایی (گـــــــــرم)
فاقد شوری × فاقد کروم	۳۲/۵۳ a	۱۴/۶۶ c
فاقد شوری × ۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۲۸/۱۰ab	۱۸/۵۲abc
فاقد شوری × ۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۲۵/۷۰ b	۱۷/۱۰abc
شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر × فاقد کروم	۲۹/۵۰ab	۲۰/۶۵ a
شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر × ۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۳۰/۹۳ab	۱۹/۴۸ab
شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر × ۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۲۰/۲۵ c	۱۶/۵۱bc
شوری ۸ دسی زیمنس بر متر × فاقد کروم	۱۷/۴۰ c	۱۵/۲۰ c
شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر × ۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۱۸/۸۱ c	۱۷/۴۷abc
شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر × ۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۱۷/۶۰ c	۱۶/۷۰bc

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۱۵- جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر برخی خصوصیات شمیایی خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		هدایت الکتریکی خاک	اسیدیته (pH)
تکرار	۲	۰/۰۳۱	۰/۰۴۰
میکوریز	۱	۰/۳۴۷	۰/۰۱۰
شوری	۲	۴/۳۱۶**	۰/۷۳۵**
کروم	۲	۰/۰۴۳	۰/۰۲۸
میکوریز×شوری	۲	۰/۱۶۰	۰/۰۰۶
میکوریز×کروم	۲	۰/۰۵۲	۰/۰۱۰
کروم×شوری	۴	۰/۰۳۸	/۰۱۲
شوری×کروم×میکوریزا	۴	۰/۰۲۷	۰/۰۱۶
خطا	۳۴	۰/۱۷۰	۰/۰۵۹
ضریب تغییرات	—	۱۲/۲۴٪	۲/۹۴٪

* و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۱۶- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد مطالعه بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک

تیمار	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته (pH) (درصد)
شوری		
فاقد شوری	۲/۸۲c	۸/۰۱۱c
۴ دسی‌زیمنس بر متر	۳/۵۳۶b	۸/۲۷۶b
۸ دسی‌زیمنس بر متر	۳/۷۵۷a	۸/۴۰۷a
کروم		
فاقد کروم	۳/۳۴۱a	۸/۱۸۹a
۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۳/۳۴۵a	۸/۲۶۷a
۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۳/۴۲۷a	۸/۲۳۸a
میکوریزا		
عدم تلقیح	۳/۲۹۱a	۸/۲۴۵a
تلقیح	۳/۴۵۱a	۸/۲۱۷a

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۱۷- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر غلظت کروم خاک و محتوای کروم گیاه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		کروم خاک	کروم گیاه
تکرار	۲	۳/۶۷۶	۰/۰۶۴
میکوریزا	۱	۱۷/۱۳۷	۰/۲۵۹*
شوری	۲	۱۴/۳۷۷	۰/۰۶۳
کروم	۲	۵۰۴۶/۸۲۲**	۱۱/۱۲۱**
میکوریز×شوری	۲	۷/۲۹۵	۰/۰۳۹
میکوریز×کروم	۲	۵/۳۹۷	۰/۲۷۱**
کروم×شوری	۴	۴/۳۵۳	۰/۰۴۲
شوری×کروم×میکوریزا	۴	۶/۴۹۹	۰/۰۳۵
خطا	۳۴	۲۳/۰۰	۰/۰۴۸
ضریب تغییرات	—	۲۷/۶۵٪	۲۱/۲۰٪

* و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۱۸- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد مطالعه بر غلظت کروم خاک و محتوی کروم گیاه

تیمار	کروم خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	کروم گیاه (میلی‌گرم درکیلوگرم وزن خشک)
شوری		
فاقد شوری	۱۶/۳۱۱a	۰/۹۹۸a
۴ دسی‌زیمنس بر متر	۱۷/۸۲۲a	۰/۹۹۵a
۸ دسی‌زیمنس بر متر	۱۷/۸۹۴a	۱/۰۹۹a
کروم		
فاقد کروم	۲/۴۶۲c	۰/۱۷۲c
۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۱۴/۰۹۱b	۱/۲۰۶b
۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک	۳۵/۴۷۴a	۱/۷۱۴a
میکوریزا		
عدم تلقیح	۱۶/۷۷۹a	۱/۱۰۰a
تلقیح	۱۷/۹۰۶a	۰/۹۶۱b

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول۴-۱۹- مقایسه میانگین اثر متقابل کروم و میکوریزا بر محتوی کروم گیاه

تیمار	کروم گیاه (میلی‌گرم درکیلوگرم وزن خشک)
کروم × میکوریزا	
فاقد کروم × فاقد میکوریزا	۰/۱۰۰e
فاقد کروم × ۱۰۰ گرم میکوریزا	۰/۲۴۴e
۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک× فاقد میکوریزا	۱/۳۵۵c
۱۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک× ۱۰۰ گرم میکوریزا	۱/۰۵۷d
۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک× فاقد میکوریزا	۱/۸۴۵a
۲۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم خاک× ۱۰۰ گرم میکوریزا	۱/۵۸۴b

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

منابع

منابع

اردکانی م، **(۱۳۸۴) "اکولوژی."** انتشارات دانشگاه تهران. ۳۳۱ ص.

اسدی‌رحمانی ه. اصغرزاده ا. خاوازی ک. رجالی ف. و ثواقبی غ. ر، **(۱۳۸۶) "حاصلخیزی بیولوژیک خاک: کلیدی برای استفاده پایدار از اراضی کشاورزی (ترجمه)."** چاپ اول. انتشارات جهاد دانشگاهی تهران. ۳۲۸ ص.

امام ی. و نیک‌نژاد م، **(۱۳۷۲) "مقدمه‌ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی (ترجمه)."** انتشارات دانشگاه شیراز. ۵۷۰ ص.

امیرآبادی م. رجالی ف. اردکانی م. ر. و برجی م، **(۱۳۸۸) "تأثیر کاربرد مایه تلقیح ازتوباکتر و قارچ میکوریزی بر جذب برخی عناصر معدنی توسط ذرت علوفه‌ای (رقم سینگل کراس ۷۰۴) در سطوح مختلف فسفر."** مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، شماره ۱، جلد ۲۳، ص ۱۰۷.

باقری کاظم آباد ع. سرمدنیا غ. و حاج رسولیها ش، **(۱۳۶۷) "بررسی عکس العمل توده‌های مختلف اسپرس نسبت به تنش‌های شوری و خشکی در مرحله جوانه زنی."** مجله علوم و صنایع کشاورزی شماره ۲. ص ۵۵- ۴۱.

برزگر ع، **(۱۳۷۹) "خاک‌های شور و سدیمی. شناخت و بهروری."** انتشارات دانشگاه شهید چمران. ص ۲۷۳.

پوستینی ک. و ابوطالبیان م. ع، **(۱۳۸۰) "واکنش دو رقم گندم از نظر جذب و توزیع فسفر در برابر تنش شوری."** مجله علوم کشاورزی ایران. شماره ۳۲. چاپ ۳.

پیروز پ. س. و منوچهری کلانتری خ، **(۱۳۹۱) "بررسی فیزیولوژیک گیاه آفتابگردان تحت تنش کروم تأثیر بر رشد، تجمع و القای تنش اکسیداتیو (Helianthus annuus) در ریشه آفتابگردان."** گروه زیست شناسی، دانشکده علوم. دانشگاه شهید باهنر. کرمان. ایران زیست شناسی گیاهی. سال چهارم. شماره یازدهم. بهار ۱۳۹۱- صفحه ۷۳ تا ۸۶.

پیروز پ.س. و منوچهری کلانتری خ، **"تأثیر فلز سنگین کروم بر میزان تجمع، عوامل رشد و القا تنش اکسیداتیو در اندام هوایی گیاه آفتابگردان."** گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران.

ثواقبی غ. ر. سادات ع. رجالی ف. فرحبخش م. خاوازی ک. و شیرمردی م، **(۱۳۸۹) "تأثیر چند نوع قارچ میکوریز آربوسکولار و باکتری محرک رشد گیاه بر شاخص‌های رشد و عملکرد دو رقم گندم در یک خاک شور."** نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۱، جلد ۲۴، ص ۵۳.

جعفری م، **(۱۳۷۹) "خاک‌های شور در منابع طبیعی (شناخت و اصلاح آن)."** چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران. ۲۱۰ صفحه.

جهان م. کوچکی ع. نصیری محلاتی م. **(۱۳۸۶) "رشد، فتوسنتز و عملکرد ذرت در پاسخ به تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری‌های آزادزی تثبیت کننده نیتروژن در نظام‌های زراعی رایج اکولوژیک."** مجله پژوهش‌های زراعی ایران. جلد پنجم. شماره یک. ۵۳ – ۶۹.

ذاکر آ، **(۱۳۸۳) "آستانه تحمل گیاه جعفری Petroselinum crispum نسبت به غلظت‌های مختلف اشکال یونی کروم سه ظرفیتی و شش ظرفیتی."** پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد. ایران.

راکعی آ. و معالی امیری ر، **(۱۳۹۱) "نقش تغییرات اپی ژنتیکی در پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی غیر زنده."** ژنتیک در هزاره سوم. سال دهم / شماره ۳. ۲۸۳۵ - ۲۸۴۵.

رضایی م. خاوری نژاد ر. ع. و فهیمی ح، **(۱۳۸۳) "بررسی پاسخ فیزیولوژیک گیاه پنبه به شوری‌های مختلف خاک."** پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، شماره ۶۲.

سرمدنیا غ، **(۱۳۷۲) "اهمیت تنش‌های محیطی در زراعت."** مقالات کلیدی. اولین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران. ص ۱۶۹-۱۵۷.

شریعتی ج. برمکی م. رئوف م. شریفی ر. و نظرلی ح. **(۱۳۹۰) "تاثیر ازتوباکتر و میکوریزا (Glomus hoi) در سطوح مختلف تنش کم آبی بر روی درصد کلروفیل و وزن تر و خشک ساقه."** اولین کنگره ملی علوم و فناوری‌های نوین کشاورزی. دانشگاه زنجان، ۱۹ الی ۲۱ شهریور ۱۳۹۰.

صالح راستین ن، **(۱۳۷۷) "کودهای بیولوژیک."** نشریه علمی خاک و آب، شماره ۳، جلد ۱۲، موسسه تحقیقات آب و خاک، سازمان تحقیقات کشاورزی، ص ۱.

صالح‌راستین ن، **(۱۳۸۰) "کودهای بیولوژیک و نقش آن‌ها در راستای نیل به کشاورزی پایدار."** مجموعه مقالات ضرورت تولید کودهای بیولوژیک در کشور. صفحات ۱ تا ۵۴.

علی اصغرزاده ن. و صالح راستین ن، (۱۳۸۰) "**اهمیت قارچ‌های میکوریزا در کشاورزی. در: ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور.**" مجموعه مقالات، خاوازی کاظم و محمد جعفر ملکوتی (تدوین کنندگان)، نشر آموزش کشاورزی. صفحات ۴۱۴ تا ۴۳۴.

علیزاده ا، (۱۳۸۱) "**رابطه آب و خاک و گیاه.**" انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.

علیزاده اسکوئی پ، (۱۳۸۰) "**تأثیر قارچ‌های میکوریز VA بر عملکرد، جذب P، Fe، Mn و غلظت ویتامین C میوه گوجه‌فرنگی در سطوح مختلف فسفر.**" پایان‌نامه ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

فلاح ع. و بشارتی ح. و خسروی ه، (**۱۳۸۵**) "**میکروبیولوژی خاک (ترجمه).**" آییژ. ص ۱۸۰.

قادری ا. گالشی سرا ف. و زینلی آ، (**۱۳۸۰**) "**اثر شوری بر جوانه زنی و رشد گیاهچه ۴ رقم شبدر زیرزمینی (Trifolium .subterraneum L).**" پژوهش و سازندگی، ۵۶: ۴۳-۴۹.

قربانی م. یزدانی س. زارع میرک آباد ه. و قربانی ر، (**۱۳۸۹**) "**مقدمه ای بر کشاورزی پایدار (رهیافت اقتصادی).**" نشر دانشگاه فردوسی مشهد. تعداد صفحه ۵۳۸.

قول لرعطا م، (**۱۳۸۴**) "**اثر تلقیح میکوریزایی بر عملکرد شبدر برسیم و جذب عناصر غذایی در سطوح مختلف شوری و فسفر خاک.**" پایان‌نامه ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

کافی م. برزوئی ا. صالحی م. کمندی ع. معصومی ع. و نباتی چ، (**۱۳۸۸**) "**فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان.**" انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۵۰۲ صفحه.

کافی م. و مهدوی دامغانی ع، (**۱۳۷۹**) "**مکانیسم های مقاومت گیاهان به تنش های محیطی (ترجمه)**". انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

گلدانی م. و لطیفی ن، (**۱۳۷۶**) "**بررسی اثر سطوح شوری بر جوانه زنی و رشد گیاهچه سه رقم گندم.**" مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. شماره ۲. ص ۵۲ - ۴۷.

مبارکی ع. ر. نظری ه. و نخعی مقدم ط، (**۱۳۹۲**) "**کارلا، معجزه طبیعت.**" دومین همایش ملی علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان. ۹ تا ۱۰ اردیبهشت.

ملکوتی م، (**۱۳۸۴**) "**کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه‌سازی مصرف کود در ایران.**" نشر سنا. ۴۹۶ ص.

ملکوتی م. ج، (**۱۳۷۵**) "**کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه‌سازی کود در ایران.**" انتشارات مرکز آموزش کشاورزی.

میرمحمدی میبدی ع. م. و قره یاضی ب، (**۱۳۸۱**) "**جنبه‌های فیزیولوژیک و به نژادی تنش شوری گیاهان.**" مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان. ۶۱-۶۸ ص.

نوربخش ف. و حاج عباسی م. ا، (**۱۳۷۸**) "**بیولوژی خاک.**" انتشارات غزل، ۱۹۸ صفحه.

نورزایی ع، (**۱۳۸۸**) "**کارلا: موثرترین گیاه در درمان دیابت.**" انتشارات نصوح، اصفهان، ۱۲۰ صفحه.

یارنیا م، (**۱۳۸۶**) "**ارزیابی تعدادی از شاخص‌های فیزیولوژیک ارقام سورگوم علوفه‌ای در شرایط شوری.**" مجله علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی تبریز، شماره ۱.

Abbott L.K. and Murphy D.V, **(2007)** "**Soil biological fertility: A key to sustainable land use in agriculture.**" Springer, 268 pp.

Abdul G, **(2011)** "**Effect of chromium toxicity on growth, chlorophyll and some mineral nutrients of brassica juncea L.**" Egyptian Academic Journal Biological Sciences 2 (1): 9-15.

Abid M. Qayyum A. Dasti A. A. and Abdulwajid R, **(2001)** "**Effect of salinity and SAR of irrigation water on yield, physiological growth parameters of Maize (zea mays L.) And properties of the soil.**" J. Research (Science), Bahauddin Zakariya University, Multan, Pakistan. 12 (1):26-33.

Afzali S.F. Hajabbasi M.H. Shariatmadari H. Razmju K. and Khoshgoftarmanesh A.H, **(2006)** "**Comparative adverse effects of PEG- or NaCl-induced osmotic stress on germination and growth of a potential medicinal plant, Matricaria chamomilla.**" Pakistan Journal of Botany, 38(5): 1709-1714.

Ahmed N. Maekawa M. and Noda K, **(2009)** "**Anthocyanin accumulation and expression pattern of anthocyanin biosynthesis genes in developing wheat coleoptiles.**" Biologia Plantarum 53: 223-228.

Akhani H, **(2006)** "**Biodiversity of halophytes and sabkha ecosystems in Iran.**" In M.A. Khan (Ed.). Sabkha Ecosystems: Volume II: West and Central Asia. Springer. Pp. 71 - 88.

Akhtar S. and Siddiqui Zaki A, **(2008)** "**Biocontrol of a root-rot disease complex of chickpea by Glomus intraradices, Rhizobium sp. and Pseudomonas straita.**" J. of. Crop Prot., 27, pp 410.

Alizadeh A, **(2007)** "**The effect of Mycorrhizal in moisture different condition on uptake nutrition elements in Maize.**" Journal of Research in Agriculture 3(1): 101-108. (In Persian with English Summary).

Al-Karaki G.N, **(2006)** "**Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water.**" Sci. Hortic., 109, pp 1.

Al-Karaki G.N. and Clark R.B, **(1998)** "**Growth, mineral acquisition and water use by mycorrhizal wheat grown under water stress.**" J. Plant Nutr. 21, pp 263.

Allen M.F. Moore T.S. and Christensen M, **(1992)** "**Phytohormone changes in Bouteloua gracilis infected by vesicular–arbuscular mycorrhizae. II. Altered levels of gibberellin-like substances and abscisic acid in the host plant.**" J. of. Can J Bot., 60, pp 468.

Almasouri M. Kinet J. M. and Lutts. S, **(2001)** "**Effect of salt and osmotic stresses on ermination in durum wheat (Triticum durum Desf).**" Plant and Soil. 231: 243 - 254.

Amerian M.A. Stewart W.S and Griffiths H, **(2001)** "**Effect of two species of arbuscular mycorrhizae fungi on growth, assimilation and leaf water relation in maize (Zea mays L.).**" J. of. ASP.APPl.Boil. 63, pp73.

Amtmann A. and Sanders D, **(1999)** "**Advances in Botanical Research.**" 29, 75.

Anderson R.A, **(1995)** "**Chromium, glucose tolerance, diabetes and lipid metabolism.**" J.adv.Med. 8:37-49.

Andres R. Lazaro A. Hermoso R. and Gorge L, **(1990)** "**Effect of alcohols on the association of photosynthetic FBPase to thylakoid membranes.**" Plant physiology 78: 409-413.

APHA. AWWA. WEF, **(2011)** "**Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.**" 22nd ed., American Public Health Association, Washington, DC.

Arancon N. Edwards C.A. Bierman P. Welch C. and Metzger J.D, **(2004)** "**Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields.**" Bioresource Technol. 93:145-153.

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

Arun K. Shanker Carlos C. Herminia L. T. and Avudainayagamd S, **(2005)** "**Chromium toxicity in plants.**"Environment International 31: 739-753.

Asch F. Dingkuhn M. and Droffling K, **(2000)** "**Salinity increases CO2 assimilation but reduces growth in field growth irrigated rice.**" Plant and soil. 218: 1-10.

Ashraf M, **(1994)** "**Breeding for salinity tolerance in plants.**" Critical reviews in plant sciences, 13(1): 17 - 42.

Ashraf M. and McNeilly T, **(2004)** "**Salinity tolerance in Brassica oilseeds.**" Plant Sci. 23, 157-174.

Ashraf M. and Neilly T.M.C, **(1990)** "**Responses of four Brassica species to under different salinity levels.**" Ionic composition. Journal of Agricultural Research. 33: 159-166.

Assubaie N.F. and El-Garawany M.M, **(2004)** "**Evaluation of some important chemical constituents of Momordica charantia cultivated in Hofuf, Saudi Arabia.**" Journal of Biological Sciences, 4: 628–630.

Auge R. M, **(2001)** "**Water relations, drought and vesicular–arbuscular mycorrhizal symbiosis.**" Mycorrhiza 11:3 – 42.

Azcón G. de Aguilar C. Azcón R. and Barea J.M, **(1979)** "**Endomycorrhizal fungi and Rhizobium as biological fertilisers for Medicago sativa in normal cuntivation.**" Nature 279: 2325-2365.

Azevedo Neto A.D. Prisco J.T. Ehneas-Filho J. Areu C.E.B. and Gomes-filho E, **(2006)** "**Effects of salt stress on antioxidative enzymes and liquid peroxidation in leaves and roots od salt tolerance and salt sensitive maize genotipes.**" Enviroment Botany. 56: 81-94.

Baker A.J. Walker P.I, **(1990)** "**Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants.**" In Heavy Metal Tolerance in Plants; Evolutionary Aspects, ed. A.J. Show, pp. 155-178.

Barałkiewicz D. and Siepak J, **(1999)** "**Chromium, Nickel and Cobalt in Environmental Samples and Existing Legal Norms.**" Polish Journal of Environmental Studies, 8(4):201-208.

Barcelo J. Poschenrieder C. and Gunse B **(1986) "Water relations of chromium VI treated bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Contender) under both normal and water stress condition."** Journal of Experimental botany. 37: 178-187.

Barea J.M. **(1991)** "**Vesicular arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility.**" Advances in soil Science. 15: 1-40.

Bartlett R. J, **(1999)** "**Characterizing soil redox behavior. In: Sparks's DL (Ed) Soil physical chemistry.**" 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, FL, pp 371–397.

Batey T, **(1974)** "**Soil structure and its effect on crop yield. In: forage on the Arable Farm.**" Occasional Symposium no. 7, Biritish Grassland Society. pp. 5-11.

Becerril F.R. Calantzis C. Turnaut K. Caussanel J.P. Belimov A.A. Gianinazzi S. Strasser R.J. and Pearson V.C, **(2002)** "**Cadmium accumulation and buffering of cadmium industed stress by arbuscular mycorrhiza in three Pisum sativum L.**" Genotypes.Journal of Experimental Botany.53 (371):1177-1185.

Berta G. Fusconi A. and Hooker J.E, **(2002)** "**Arbuscular mycorrhizal modifications to plant root systems: scale, mechanisms and consequences.**" pp 71-85 in: Mycorrhiza Technology in Agriculture, from Genes to Bioproducts. Gianinazzi, S., Schuepp H. Barea J. M. and Haselwandter K., Basel, Switzerland, Birkhauser Verlag.

Bertrand M. and Schoefs B, **(1999)** "**Photosyntetic pigment metabolism in plants during stress.**" In: Handbook of plant and crop stress (ed. Pessarakli, M.) 527-543. Marcel Dekker, New York.

Bolan N.S. and Thiagarajan S, **(2001)** "**Retention and plant availability of chromium in soils as affected by lime and organic matter amendments.**" Australian Journal of Soil Research 39(5):1091-1103.

Bremner A. K, **(1996)** "**Nitrogen-total.**" In: Sparks DL (Ed). Methods of Soil Analysis. Part 3- Chemical methods. Agronomy Monograph, vol 9. ASA and SSSA, Madison, WI. Pp. 1085 - 1121.

Brito I. Michael J. and Goss M de Carvalho, **(2008)** "**Agronomic Management of Indigenous Mycorrhizas.**" Universidade de Evora, ICAM, Apartado 94, 7002 – 554.

Burger J, **(2008)** "**Assessment and management of risk to wildlife from cadmium.**" Sci. Total Environ. 389: 37 - 45.

Calvet C. Pinochet J. Hernandez-Dorrego A. Estan V. and Camprubi A, **(2001)** "**Field microplot performance of the peach-almond hybrid GF-677 after inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi in a replant soil infested with root-knot nematodes.**" Mycorrhiza 10: 295–300.

Chapman H.D and Pratt P.F, **(1982)** "**Methods of plant analysis. In: I. Methods of Analysis for Soils, Plants and Water.**" Chapman Publishers, Riverside, CA.

Chapman H.D. and Pratt D.F, **(1961)** "**Methods of analysis of soil, plant, and water.**" Univ. Calif., Div. Agric. Sci. PP. 60-68.

Cho V.H. and Park J.O, **(2000)** "**Mercury-induced oxidative stress in tomato seedlings.**" Plant sci. 126: 1 – 9.

Choudhary S. Chhabra G. Sharma D. Vashishta A. Ohri S. and Dixit A, **(2012)** "**Comprehensive Evaluation of Anti - hyperglycemic Activity of Fractionated Momordica charantia Seed Extract in Alloxan-Induced Diabetic Rats.**" Evidence-Based Complementary and Alternative Medicin: Volume 2012, Article ID 293650, 10 pages.

Clark R.B. and Zeto S.K, **(2000)** "**Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants.**" J. Plant Nutr. 23, pp 867.

Connell S.L. and Al-Hamdani S.H, **(2001)** "**selected physiological responses of kudzu to defferent chromium concentrations.**" Canadian Journal of Plant Science 81:33-58.

Cramer G.R, **(1997)** "**Uptake and role of ions in salt tolerance, in P.K. Jaiwal, R.P. Singh and A. Gulati, (eds.)., Strategies for Improving Salt Tolerance in Higher Plants.**"Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi, pp. 55-86.

Crisan S. Campeanu G. and Halmagean L, **(2008)** "**Study of Momordicacharantia L. species grown on the specific conditions of Romania's western part.**" Journal of Vegetable Growing. 425 – 428.

Davenport R .J. and Tester M, **(2002)** "**Plant Physiology.**" 122, 823.

Davies K. J. A, **(1987) Journal of Biological Chemistry**, 262, 9895.

Dell Rio L.A. Copas F.J. Sandali L.M. Palma J.M. and Barroso J.B, **(2003)** "**Plant peroxisomes, reactive oxygen metabolism and nitric oxide.**" IUBMB Life 55: 71 – 81.

Demir S, **(2004)** "**Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological, growth parameters of pepper.**" Turkish. Journal of Biology 28: 85-90.

Dionisio-Sec M.L. and Tobita S, **(1998)** "**Antioxidant response of rice seedling to salinity stress.**" Plant Science. 532-540.

Diope T.A. Krasova-wade T. Diallo A. Diouf M. and Gueye M, **(2003)** "**Solanum cultivar responses to arbuscular mycorrhizal fungi: growth and mineral status.**" Africal Journal of Biotechnology 2 (11): 429-433.

Djilianov D. Georgieva T. Moyankova D. Atanassov A. Shinozaki K. Smeeken S.C.M. Verma D.P.S. and Murata N, **(2005)** "**Improved abiotic stress tolerance in plants by accumulation of osmoprotectants - Gene transport approach.**" 20th Anniversary Agro Bio Institute – Biotechnol and Biotechnol. Eq. 19/2005. 2005. Special Issue. 63-71.

Dornescu D. Istrati Z. and tiganas L, **(1996)** "**Studies on the utilization of foliar fertilizer by main crops.**" Correction Agronomic in Moldova. 25: (1) 129-143.

Dube B.K. Tawari K. Chatterjee J. and Chatterjee C, **(2003)** "**Excess chromium alters uptake and translocation of certain nutrients in citrullus.**" Chemosphere 53:1147-1153.

Emerson W.W. Foster R.C. and Oades J.M, **(1986)** "**Organo-mineral complexes in relation to soil aggregation and structure. In: Intractions of soil minerals with natural organics and icrobes.**" Soil Science Society of America. Special publication No. 17. Pp521-548.

Entry J.A. Rygiewicz P.T. Watrud L.S. and Donnelly P.K, **(2002)** "**Influence of adverse soil conditions on the formation and function of arbuscular mycorrhizas.**" Adv. Environ. Res., 7, pp 123.

Fadzilla N.M. Finch R.H. and Burdon R.H, **(1997)** "**Salinity, oxidative stress and antioxidant responses in shoot cultures of rice.**" Journal of Experimental Botany. 48: 325-331.

Farshid R. Zamani G.R. and Behdani M.A, **(2009)** "**The effect of salinity and methods of Nitrogen application fertilizer on yield and yield component of wheat. (Triticum sativum L.).**" MSc Thesis of Agronomy. Faculty of Agriculture. Birjand University, Iran. (In Persian with English Summary).

Feng G. Zhang F.S. Li X.L. Tian C.Y. Tang C. and Rengel Z, **(2002)** "**Improved tolerance of maize plants to salt strees by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots.**" Mycorrhiza. 12, 185.

Ferreira R.R. Fornazir R.F. Vitoria A.P. and Lea P.J, **(2002)** "**Changes in antioxidant enzyme activities in soybean under cadmium stress.**" J. plant Nut. 25: 327 – 342.

Fielding J.L. and Hall J, **(1978)** "**A biochemical and cytochemical Study of peroxidase a ctivity in root pea.**" J. of Exp. Bot. 29: 98 – 989.

Francois L. E. and Maas E. V, **(1994)** "**Crop response and management on salt – affected soils.**" In: Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of plant and Crop Stress, Marcel Dekker, New York, pp.149.

Gadang V. Gilbert W. Hettiararchchy N. Horax R. Katwa L. Devareddy L, **(2011)** "**Dietary bitter melon seed increases peroxisome proliferator-activated receptor-γ gene expression in adipose tissue, down-regulates the nuclear factor-κB expression, and alleviates the symptoms associated with metabolic syndrome.**" Journal of medicinal food 14 (1–2): 86 – 93.

Galleco S.M. Benavides M.P. and Tomaro M.L, **(1996)** "**Effect of heavy metal ion excess on sunflower leaves: evidence for involvement of oxidative stress.**" Plant sci. 121: 151 – 159.

Garg N. and Chandel S, **(2011)** "**Effect of mycorrhizal inoculation on growth, nitrogen fixation and nutrient uptake in Cicer arietinum (L.) Under salt stress.**" Turk. J. Agric. For., 35, pp 1.

Gaur A. and Adholeya A, **(2002)** "**Arbuscular mycorrhizal inoculation of five tropical fodder crops and inoculum production in marginal soil amended with organic matter.**" Biol. Fertil. Soils. 35, pp 214.

Gavito M.E. and Miller M.H, **(1998)** "**Changes in mycorrhiza development, dry matter partitioning and yield of maize.**" Plant Soil. 199, pp 177.

Gee G.W. and Bauder J.W, **(1986)** "**Particle size analysis.**" P 383-409, In: Klute, A (eds.), Methods of soil analysis. American society of Agronomy, Madison, WI.

Georing H. K. and Van Soest P. J, **(1970)** "**Forage Fiber Analyses; apparatus, reagents, procedures, and some application.**" USDA, Agric. Handb. 379. US. Gov. Print Office, Washington, DC.

Ghollarata M. and Raiesi F, **(2007)** "**The adverse effects of soil salinization on the growth of Trifolium alexandrinum.**" L. and associated microbial and biochemical properties. Soil Biol. and Biochem. 39:1699–1702.

Ghosh M. and Singh S.P, **(2005)** "**Comparative uptake and phytoextraction study of soil induced chromium by accumulator and high biomass weed species.**" Applied Ecology and Environmental Research 3: 67-79.

Ghoulam C. and Fares K., **(2001)** "**Effect of salinity on seed germination and early seedling growth of sugar beet (Beta vulgaris L.).**" Seed Science Technology. 29: 357-364.

Gianinazzi S. and Gianiazzi-Pearson V, **(1986)** "**Progress and headaches in endomycorrhiza biotechnology.**" Symbiosis 2: 139 – 149.

Grattan S.R. and Grieve C.M, **(1992)** "**Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in Saline environments.**" In: Pessarakli, M. (Ed). Handbook of plant and cold stress. pp. 203-226.

Greenway H and Munns R, **(1980)** "**Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes.**" AnnRev. Plant physiol. 31: 149-190.

Gryndler M, **(2000)** "**Interactions of arbuscular mycorrhizal fungi with other soil organisms.**" pp 239–262, in: Arbuscular mycorrhizas: Physiology and function. Kapulnik Y. and Douds D. D. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Guertin J. Jacobs J. A. and Avakian C. P, **(2005)** "**Chromium (VI)**." .handbook Edited by Independent Environmental Technical Evaluation Group (IETEG),CRC Press.

Gutzat R and Scheid O.M, **(2012)** "**Epigenetic responses to stress: triple defense?**" Current Opinion in Plant Biology. 15: 568 – 573.

Hajiboland R. Aliasgharzad N. and Barzeghar R, **(2009)** "**Phosphorus mobilization and uptake in mycorrhizal rice (Oryza sativa L.) Plants under flooded and non-flooded conditions.**" Acta agr. Slovenica. 93, pp 153.

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

Heidari M. and Mobasri Moghadam M, **(2012)** "**Effect of rate and time of nitrogen application on fruit yield and accumulation of nutrient elements in Momordica charantia.**" Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 11: 129–133.

Hermandez J.A. Campilio A. Jimenez J. Alarcon J. and Sevilla F, **(1999)** "**Response of antioxidant systems and leaf water relations to NaCl stress in pea plants.**" New Phytologist. 141: 214-251.

Huang H. Zhang S.H. Wu a.N. Luo L. and Christie P, **(2009)** "**Influence of Glomus etunicatum/Zea mays mycorrhiza on atrazine degradation, soil phosphatase and dehydrogenase activities, and soil microbial community structure.**" J. of. Soil Biology & Biochemistry., 41, pp726.

Ikli B. I. Demir T. A. Akar S. T. Berber A. Urer S. M. DemirIkli T. A. Urer B. I M. Berber A. Akar T. and Kalyoncu C, **(2003)** "**Effects of chromium exposure from a cement factory.**" Concrete Journal.

Ilbas A.I. and Sahin S, **(2005)** "**Glomus fasciculatum inoculation improves soybean production.**" J. of. Acta Agriculturae Scandinavica., 55, 4, pp 287.

Irrigoyen J.H. Emerich D.W. and Sanchez Diaz M, **(1992)** "**Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa plant.**" Physiologia Plantarum, 84: 55-66.

Jakobsen I, **(1987)** "**Effect of VAM mycorrhiza and harvest index on field grown pea.**" Plant Soil. 98, 407.

Jaleel A.C. Jayakumar K. Chang-xing Z. Azooz M.M, **(2009)** "**Antioxidant protentials protect (Vigna radiate L.) Wilczek plants from soil cobalt stress and improve growth and pigment composition.**" Plant Omics Journal, 2(3): 120-126.

James D.W. and Wells K.L, **(1990)** "**Soil sample collection and handing technique based on source and degree of field variability.**" Soil Testing and Plant Analysis. Third edition. Soil science society of America, 25-44. In: R.L. Westerman (Ed.).

James R. Thomas T, **(1969)** "**Use of Saline water for lrrigating sugarcane of texas.**" (Arachis hypogea L.). Plant Cell Rep. 20:463-8.

Janouskova M. Pavlikova D. Macek T. and Vosatka M, **(2005)** "**Influence of arbuscular mycorrhiza on the growth and cadmium uptake of tobacco with inserted metallothionein gene.**" Applied Soil Ecology .29 (3): 209-214.

Javanmardi J. Lessani H. and Kashi A, **(2000)** "**Effect of different Levels of sodium chloride on absorption and transportation of some elements in five native of Iran melon (Cucumis melo L.).**" Cultivars. Iranian Journal of Agricultural Science 32: 31-40. (In Persian with English Summary).

Jeffries P. and Barea J.M, **(2001)** "**Arbuscular mycorrhizal- a key component of sustainable plant-soil ecosystems.**" In: B. Hock (Ed.). The Mycota. Vol. IX. Fungal Associations. Pp. 95-113. Berlin and Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.

Jeffries P. Gianinazzi S. Perotto S. Turnau K. and Barea J.M, **(2003)** "**The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility.**" Biol. Fert. Soils, 37: 1-16.

Jenifer P. Craven-Griffiths A. Barea J.M. Levy Y. and Dodd J.C, **(2002)** "**Application of arbuscular mycorrhizal fungi in the revegetation of desertified Mediterranean ecosystem.**" In S.Gianinazzi, H. Schuepp, J. M. Barea, and K. Haselwander (Eds.), Mycorrhiza Technology in Agriculture, from Genes to Bioproducts. pp. 151-174. Heildelberg. Germany: ALS. Birkhauser Verlag.

Jose´-Miguel B. Marı´a J.P. Rosario A. and Concepcio´n Azco´n, **(2005)** "**Microbial co-operation in the rhizosphere.**" J. of. Experimental Botany, 56, 417, pp. 1761.

Kahiluoto H. Ketoja E. Vestberg M. and Saarela I, **(2001)** "**Promotion of AM utilization through reduced P fertilization 2. Field studies.**" Plant Soil. 231, pp 65.

Karuppanapandian T. Sinha P.B. Kamarul Haniya A. and Manoharan K, **(2009)** "**Chromium-induced accumulation of peroxide content, stimulation of antioxidative enzymes and lipid peroxidation in green (Vigna radiata L. cv. Wilczek) leaves.**" African Journal of Biotechnology 8: 475-479.

Kaya C. and Higgs O, **(2003)** "**Supplementary potassium nitrate improves salt tolerance in bell pepper plants.**" Journal of Plant Nutrition. 25: 2663 – 2676.

Kemper W.D. and Roseman R.C, **(1986)** "**Aggregate stability and size distribution.**" In: Methods of Soil Analysis, Part I, Physiological and Mineral Methods. Agronomy Monograph No. 9, 2nd Ed, American Society of Agronomy. Madison. WI. USA. pp. 425-444.

Khaliq A. and Sanders F.E, **(2000)** "**Effects of vesicular arbuscular mycorrhizal inoculation on the yield and phosphorus uptake of field grown barley.**" Soil Biol. Biochem., 32, pp 1691.

Kianmehr H, **(1991)** "**Vesicular – arbuscular mycorrhizae (VAM) of saffron in khorasan.**" Proceedings of 10th plant Protection Congress of Iran, 1 – 5 Sept., Kerman, Iran: 143.

Kiymarsi SH. Mehravaran H. and Karimi A, **(1989)** "**Mycorrhizas of Gorgan soybean fiels and their effect on growth and productivity.**" Proceedings of 9th Plant Protection Congress of Iran, 9 – 14 Sept., Mashhad, Iran: 116.

Klironomos J.N, **(2003)** "**Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi.**" Ecology 84: 2292–2301.

Kochaki A. Jahan M. and Nassiri Mahallti M, **(2008)** "**Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and free-living nitrogen-fixing bacteria on growth characteristic of corn (Zea mays L.) Under organic and conventional cropping systems.**" 2nd conference of the international society of organic agriculture research (ISOFAR). Modona. Italia.

Koster K.L. Leopold A.C, **(1988)** "**Sugars and desiccation tolerance in seeds.**" Plant Physiology, 96: 302-304.

Laegreid M. Bockman O. C. and Kaarstad E. O, **(1999)** "**Agriculture, Fertilizer and Environment.**" CABI publishing, pp 294.

Lechno S. Zamki E. and Tel-or E, **(1997)** "**Salt stress-induced responses in cucumber plants.**" Journal Plant Physiology. 150:206- 211.

Le-Dily F. Billard J.P. Le-Saos J. and Huault C, **(1993)** "**Effects of NaCl and gabaculine on chlorophyll and proline levels during growth of radish cotyledons.**" Plant Physiology and Biochemistry 31: 303-310.

Lee C. S. Li X. and Shi W, **(2006)** "**Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics.**" Science of the Total Environment, 356(1–3): 45 – 61.

Leidi E.O. and Saiz J.F, **(1997)** "**Is salinity tolerance related to Na+ accumulation in upland cotton (Gossypium hirsutum L.).**" Seedling? Plant Soil. 190: 67-75.

Leung J. and Giraudat J, **(1998)** "**Abscisic acid signal transduction.**" Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 49: 199–222.

Linderman R.G, **(1994)** "**Role of VAM fungi in bicontrol.**" Pp: 4 – 24, in F.I. Pleger and R.G. Linderman (Eds.). Mycorrhizae and plant health. APS Press. Minnesota.

Liu A. Hamel C. Elmi A.A. Zhang T. and Smith D.L, **(2003)** "**Reduction of the available phosphorus pool in field soils growing maize genotypes with extensive mycorrhizal development**". J. of. Plant Sci., 83, pp 737.

Ljung K. Selinus O. Otabbong E. and Berglund M, **(2006)** "**Metal and arsenic distribution in soil particle sizes relevant to soil ingestion by children.**" Appl. Geochem. 21, 1613 – 1624.

Mahaveer P.S. and Alok A, **(2000)** "**Enhanced growth and productivity following inoculation with indigenous AM fungi in four varieties of onion (Allium cepa L.).**" In an Alf soil. Biological Agriculture and Horticulture 18: 1-14.

Marschner H. Kylin A. and Kuiper P.J.C, **(1981)** "**Differences in salt tolerance of three sugar beet genotypes.**" Physiologia Plantarum, 51(2): 234-238.

Mehravaran H, **(1989)** "**Effect of endomycorrhizae on growth of pistachio seedlings.**" Proccedings of 9th Plant Protection Congress of Iran, 9 – 14 Sept. Mashhad, Iran: 120.

Mehravaran H. and Minasian. V, **(1983)** "**A survey of citrus mycorrhizal fungi in Iran.**" Proccedings of 7th Plant Protection Congress of Iran, 3 – 7 sept. Karaj, Iran: 91.

Meloni D.A. Oliva M.A. Martinez C.A. and Cambraia J, **(2003)** "**Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under saltstress.**" Environmental and Experimental Botany. 49:69-76.

Menogeuzzo S. and Navari-Izzo F, **(1999)** "**Antioxidative responses of shoot and roots of wheat to increasing NaCl concentrations.**" Journal Plant Physiology. 155: 274-280.

Miller R.M. and Jastrow J.D, **(1990)** "**Hierarchy of root and mycorrhizal fungal intractions with soil aggregation.**" Soil Biology and Biochemistry. 22: 579-584.

Miller R.M. and Jastrow J.D, **(2000)** "**Mycorrhizal fungi influence soil structure.**" In Y. Kapulnik and D. D. Douds jr. (Eds.), Arbuscular mycorrhizas: Physiology and functions. Pp. 3-18. Dordrecht, the Neterlands: Kluwer Academic Publishers.

Mishra S. Srivastava S. and Tripathi P.D, **(2006)** "**Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in (Baccopa monnieri L.).**" Journal of Physiology and Biochemistry, 44: 25-37.

Mohmmad M. Malkawi H. and Shibili R, **(2003)** "**Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization on growth and nutrient uptake of barley on soils with different levels of salts.**" Journal of Plant Nutrition 26(1): 125-137.

More T, **(1974)** "**Research experiences in plant physiology.**" Springer-Verlag.

Mortimer P.E. Pe´rez-Ferna´ndez M.A. and Valentine A.J, **(2008)** "**The role of arbuscular mycor- rhizal colonization in the carbon and nitrogen economy of the tripartite symbiosis withnodulated Phaseolus vulgaris.**" J. of. Soil Biol Biochem., 40, pp 1019.

Munns R. and Passioura J.B, **(1984)** "**Effect of Prolonged exposure to Nacl on the osmotic pressure of leaf xylem sap from intact, transpiring barley plants.**" Aust. J. Plant Physiol. 11: 497-507.

Munns R. and Passioura J.B, **(1984)** "**Effect of Prolonged exposure to Nacl on the osmotic pressure of leaf xylem sap from intact, transpiring barley plants.**" Aust. J. Plant Physiol. 11: 497-507.

Nasim G. Bajwa R. Hakeem A, **(2007)** "**Response of arbuscular mycorrhizal mungbean plants to ambient air pollution.**" J. of. Environ. Sci. Tech., 4, 3, pp 295.

Nichols P.B. Couch J.D. and Al-Hamdani S, **(2000)** "**selected physiological responses of Salvinia minima to different chromium concentrations.**" Aquatic Botany 68:313-319.

Olsen S.R. Cole C.V. Watenabe, F.S. and Dean L.A, **(1954)** "**Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate.**" U.S. Department of Agriculture Circular, 939 p.

Ortus I. and Harris P.J, **(1996)** "**Enhancement uptake of phosphorus by mycorrhizal sorghum plant as influenced by forms of nitrogen.**" Plant Soil. 184, pp 225.

Ozkutlu F. Ozturk L. Erdem H. McLaughlin M. and Cakmak I, **(2007)** "**Leaf-applied sodium chloride promotes cadmiumaccumulation in durum wheat grain.**" Plant and soil; 290(1-2): 323-31.

Panda S. K. and Choudhury S, **(2005)** "**Chromium stress in plants.**" Braz. Journal of Plant Physiology 17: 95-192.

Pandey V.K. and Saxena H.K, **(1987)** "**Effects of soil salinity on chlorophyll, photosynthesis, respiration and ionic composition at various growth stages in paddy.**" Indian Journal of Agricultural Chemistry. 20(2): 40-155.

Paul A, **(2007)** "**Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry.**" pp514.

Pena-Cabriales J.J. and Castellanos J.Z, **(1993)** "**Effect of water stress on N2 fixation and grain yield of Phaseolus vulgaris L.**" J. of. Plant Soil. 152, pp151.

Pereira G.J.G. Molina S.M.G. Lea P.J. and Azevedo R.A, **(2002)** "**Activity of antioxidant enzymes in response to cadmium in C.**" Juncea. Plant Soi. L 239: 123-132.

Pesarrakli M, **(1999)** "**Handbook of plant and crop stress.**" Marcel Decker Inc, New York.

Pillay S.V, **(1994)** "**Biochemical changes in Hyptis suaveolens (L) Poit and Helianthus annuus L in response to chromium treatment.**" Journal Phytol Response 7: 165–7.

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

Prasad M. N. V. and Strzaka K, **(2002)** "**Physiology and biochemistry of metal toxicity and tolerance in plants.**" Plant Sciences 161: 881-889.

Prasad M.N.V, **(1995)** "**The inhibition of maize leaf chlorophylls, carotenoids and gas exchange functions by cadmium.**" Photosynthetica, 31: 635-640.

Qureshi A.S. Qadir M. Heydari N. Turral H. and Javadi A, **(2007)** "**A review of management strategies for salt-prone land and water resources in Iran.**" Working paper 125. International Water Management Institute. 25 pp.

Qureshi S.A. Madramootoo C.A. and Dodds G.T, **(2002)** "**Evaluation of irrigation schemes for sugarcane in Sindh.**" Pakistan, using SWAP93. Agric. Water Manage. 54: 37-48.

Rai D. Zachara J. M. Eary L. E. Ainsworth C. C. Amonette J. E. Cowan C. E. Szelmeczka R. W. Resch C. T. Schmidt R. L. Girvin D. C. and Smith S. C, **(1988)** "**Chromium reactions in geological materials: Interim Report.**" Electric Power Research Institute (EPRI) EA-5741, EPRI, Palo Alto, CA.

Rai V. Khatoon S. Bisht S.S. and Mehrotra S, **(2005)** "**Effect of cadmium on growth, ultramorphology of leaf and secondary metabolits of phylanthus amarus schum and thonn.**" Biochem. 61(11): 1644-1650.

Raiesi F. and Ghollarata M, **(2006)** "**Interactions between phosphorus availability and an AM fungus (Glomus intraradices) and their effects on soil microbial respiration, biomass and enzyme activities in a calcareous soil.**" Pedobiologia 50:413–425.

Rehman P. J. Harris C. Bourne W.F. and Whkin J, **(1996)** "**The effect of sodium chloride on germination and the potassium and calcium contents of Acacia seeds.**" Seed Sci and Technol. 25: 45-57.

Reimann C. and Caritat P, **(1998)** "**Chemical Elements in the Environment.**" Springer-Verlag, Berlin.

Rengasamy P, **(2010)** "**Soil processes affecting crop production in salt affected soils.**" Functional Plant Biology. 37: 613 – 620.

Reyes M. E. C. Gildemacher B. H. and Jansen G.J, **(1994)** "**Plant Resources of South - East Asia: Vegetables. Wageningen, the Netherlands: Pudoc Scientific Publishers Momordica L**". In: Siemonsma, J.S. and Piluek, K., (Eds.). 412p. 206 – 210.

Rhoades J.D, **(1996)** "**Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids.**" PP. 417–435. In: A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney, (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2., Madison, WI: ASA, SSSA.

Romeroaranda R. Soria T. and Cuartero J, **(2001)** "**Tomato plant water uptake and plant water relationships under saline growth conditions.**" Plant Science, 160: 265–272.

Rotor A.V. and Delima P.C, **(2010)** "**Mycorrizal association, N fertilization and biocide application on efficacy 0f BIO-N on corn (Zea Mays L.) Growth and productivity.**" J. of. International Scientific Research., 2, 3, pp267.

Ruiz-Lozano J.M. Collados C. Barea J.M. and Azcón R, **(2001)** "**Arbuscular mycorrhizal symbiosis can alleviate drought-induced nodule senescence in soybean plants.**" New Phytologist 151, 493-502.

Sadravi M. Mohammadi Goltapeh E. and Blaszkowski. J, **(2001)** "**Scutellospora dipurascens, new for the Asian mycorrhizal flora.**" Proceeding of the Asian International mycological Congress, Karaj, Iran: 104.

Sairam R.K. Veerabhadra Rao K. and Srivastava G.C, **(2002)** "**Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration.**" Plant Science. 163: 1037-1046.

Saleh Al-Garni S.M, **(2006)** "**Increased heavy metal tolerance of cowpea plants by dual inoculation of an arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen-fixer Rhizobium bacterium.**" Afr. J. Biotechnol., 5, pp 132.

Saleh M. and Al-Garin S, **(2006)** "**In fluence of malathion and mancozeb on mycorrhiza colonization and growth of Zea mays and Vica faba.**" J. of. Agricultural Sciencess. 2, 3, pp303.

Sanita di Toppi L. and Gabbrielli R, **(1999)** "**Response to cadmium in higher plants-review.**" Environmental and Experimental Botany. 41:105-130.

Sannazzaro A.I. Ruiz O.A. Alberto E.O. and Menendez A.B, **(2006)** "**Alleviation of salt stress in Lotus glaber by Glomus intradices.**" Plant Soil. 285, pp 279.

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

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

Shariat A. Assareh M.H. and Ghamarizare A, **(2010)** "**Effect of cadmium on some physiological characteristics of Eucalyptus occidentalis.**" Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 14(53):145-153.

Sharma A. K, **(2002)** "**Biofertilizers for sustainable agriculture.**" Agrobios, India, pp 407.

Sharma A.K. and Johri B.N, **(2002)** "**Arbuscular mycorrhizae, interaction in plants, rhizosphere and soils. Science Publisher.**" INC, ENFILD, NH, USA. 311 pp.

Sharma D.C. and Sharma C.P, **(1996)** "**Chromium uptake and toxicity effects on growth and metabolic activities in wheat.**"

Sharma D.C. Chatterjee C. and Sharma C.P, **(1995)** "**Chromium accumulation and its effects on wheat (Triticum aestivum L. cv. HD 2204) metabolism.**" Plant Science 111:145-151.

Shi-rong T. and Lei X, **(2002)** "**Accumulation of chromium by Commelina communis L. grown in solution with different concentrations of Cr and L-histidine.**" Journal of Zhejiang University Science 3(2):232-236.

Sinha S. Saxena R. and Singh Sh, **(2005)** "**Chromium induced lipid peroxidation in the plants of Pistia stratiotes L.**" Role of antioxidants and antioxidant enzymes. Chemosphere 58: 595-404.

Skorzynska-Polit E. Drazkiewicz M. Wianowska D. Maksymiec W. Dawidowicz A.L. and Tukiendorf A, **(2004)** "**The influence of heavy metal stress on the level of some flavonols in the primary leaves of Phaseolus coccineus.**" Acta Physiologiae Plantarum, 26(3): 247-253.

Smith S.E. and Read D.J, **(1997)** "**Mineral nutrition, heavy metal accumulation and water relations of VA mycorrhizal plants.**" In: Mycorrhizal symbiosis. Academic Press. San Diego. pp 126-160.

Smith S.E. and Read D.J, **(1997)** "**Mycorrhizal Symbiosis (2nd Edition).**" Academic Press: London, UK. p.605.

Smith S.E. and Read D.J, **(2008)** "**Mineral Nutrition, Toxic Element Accumulation and Water Relations of Arbuscular Mycorrhizal Plants.**" J. of. Mycorrhizal. 10, pp 145.

Son C.L. and Smith S.E, **(1988)** "**Mycorrhizal growth responses: interactions between photon irradiance and phosphorus nutrition.**" New Phytol. 108, pp 305.

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

Subramanian K.S. Santhanakrishnan P. And Balasubramanian P, **(2005)** "**Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress.**" Sci. Hortic., 107, pp 254.

Sylvia D.M. Harmmond L.C. Bennett J.M. Hass J.H. and Linda S.B, **(1993)** "**Field response of maize to a VAM fungus and water management.**" Agronomy Journal. 85: 193-198.

Tasang A. and Maum M.A, **(1999)** "**Mycorrhizal fungi increase salt tolerance of Strophostyles helvola in.**" Coastalforedunes. University of Waterloo, Canada. Plant Ecology 144: 159–166.

Thakur A.K. and Panwar J.D.S, **(1997)** "**Response of Rhizobium-vesicular arbuscular mycorrhizal symbionts on photosynthesis nitrogen metabolism and sucrose in translocation greengram (Phaseolus radiatus).**" Indian. J. Agr. Sci., 67, 6, pp 245.

Thomas G.W, **(1996)** "**Soil pH and soil acidity. Methods of Soil Analysis.**" PP. 475-490. In: A. L. Page et al. (Ed.), Part 2. Madison, WI: Agron. ASA, SSSA.

Tisdall J.M, **(1991)** "**Fungal hyphae and structural stability of soil.**" Australian Journal of soil Science. 29: 729-743.

Tisdall J.M. and Odes J.M, **(1980)** "**The effect of crop rotation on aggregation in a redbrown earth.**" Australian Journal of Soil Research, 18: 423-434.

Tisdall J.M. and Odes J.M, **(1982)** "**Organic matter and water-stable aggregates in soils.**" Journal of soil Science. 33: 141-163.

Triricum aestivum L. UP CV, **(2003)** "**Indian Journal of Experimental Biology.**" 34(7):689-691.

Turk M.A. Assaf T.A. Hameed K.M. And Tawaha A.M, **(2006)** "**Significance of Mycorrhizae.**" J. of. Agricalture Science., 2, pp 16.

Tyerman S. Skerret M. Garrill A. Findlay G.P. and Leigh R.A, **(1997)** "**Pathways for the permeation of Na^+ and Cl^- into protoplasts derived from the cortex of wheat root.**" Journal of Experimental Botany. 48: 459-480.

Vajpayee P. Sharma S.C. Tripathi R.D. Rai U.N. and Yunus M, **(1999)** "**Bioaccumulation of chromium and toxicity to photosynthetic pigments, nitrate reductase activity and protein content of Nelumbo nucifera Gaertn.**" Chemosphere 39(12):2159-2169.

Vajpayee P. Tripathi R.D. Rai U.N. Ali M.B. and Singh S.N, **(2000)** "**Chromium (VI) accumulation reduces chlorophyll biosynthesis, nitrate reductase activity and protein content in Nymphaea Alba L.**" Chemosphere 41:1075-1082.

Valentine A.J. Mortimer P.E. Lintnaar A. and Borgo R, **(2006)** "**Drought responses of arbuscular mycorrhizal grapevines.**" Symbiosis, 41, 3, pp 127.

Verma S and Dubey R.S, **(2001)** "**Effect of Cd on soluble sugars and enzymes of their metabolism in rice.**" Biologia plantarum. 44 (1): 117 – 123.

Wahid A, **(2003)** "**Analysis of toxic and osmotic effects of sodium chloride on leaf growth and economic yield of sugarcane.**" Faisalabad- Pakistan. Botanical Bulletin of Academia Sinica, Vol. 45.

Walkley A.J. and Black C.A, **(1934)** "**Estimation of organic carbon by chromic acid titration method.**" Soil Science, 37(22): 29–38.

Wanger G.J, **(1979)** "**Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanins in protoplast.**" Plant Physiology, 64: 88-93.

Wright D.P. Scholes J.D. and Read D.J, **(1998)** "**Effects of VA mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of Trifolium repens L.**" Plant Cell Environ. 21, pp 209.

Wright S.F. and Upadhyaya A, **(1998)** "**A survey of soils for aggregate stability and glomalin a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi.**" Plant Soil. 198: 97-107.

Yadav S.K **(2010)** "**Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants.**" Sout African Journal of Botany. 76 (2): 167-179.

Yalcin M. G. Battaloglu R. and Ilhan S, **(2007)** "**Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood.**" Kayseri, Turkey. Environ Geol, 53: 399 - 415.

Zayed A. Lytle C.M. Jin-Hong Q. Terry N. and Qian J.H, **(1998)** "**Chromium accumulation, translocation and chemical speciation in vegetable crops.**" Planta 206: 293-299.

Zayed A. Lytle C.M. Jin-Hong Q. Terry N. and Qian J.H, **(1998)** "**Chromium accumulation, translocation and chemical speciation in vegetable crops.**" Planta 206: 293-299.

Zayed A. M. and Terry N, **(2003)** "**Chromium in the environment: factors affecting biological remedia-tion.**" Plant Soil. 249, 139–156.

Zhang W.H. Tyerman S.D, **(1999)** "**Inhibition of water channels by HgCl2 in intact Wheat root cells.**" Plant Physiol.120:849-857.

Zurayk R. Sukkariyah B. and Baalbaki R, **(2001)** "**Common hydrophytes as bioindicators of nickel, chromium and cadmium pollution.**" Water Air Soil Pollution 127: 373–88.

Zurayk R. Sukkariyah B. and Baalbaki R, **(2001)** "**Common hydrophytes as bioindicatorsof nickel, chromium and cadmium pollution.**" Water, Air and Soil Pollution 127: 373-388.

Abstract

During recent decade, the use of chemical inputs in agricultural lands has caused some main environmental problems such as fertility reduction, soil salinity, imbalance of metals in soil and contamination by some heavy metals. This study was carried out to investigate the effect of different concentrations of salinity and chromium on soil chemical characteristics and qualitative and quantitative properties of *Momordica charantia* in presence of mycorrhizal fungi *Glomus versiform*, as a factorial experiment in a randomized complete block design with three replications in Shahrood university research greenhouse. The experiment factors were included salinity of sodium chloride at three levels 0 (control), 4 and 8 dS/m, chromium at three levels 0 (control), 10 and 20 mg Cr/kg soil as potassium dichromate and mycorrhizal fungi *Glomus versiform* with two levels without inoculation (control) and inoculation with 100 g per 8 kg soil. The results showed that the effect of the main treatment of salinity was significant ($p \leq 0.01$) on some of characteristics of plant such as photosynthetic pigments (except carotenoid), enzymes antioxidant, plant fresh weight and chemical characteristics such as electrical conductivity and acidity. The intraction effects of salinity - chromium and mycorrhiza - chromium were significant ($p \leq 0.01$) on catalase activity and guaiacol peroxidase activity. In this research, the increase of application of chromium was caused to decrease the photosynthetic pigments (except anthocyanin) and plant growth parameters (plant fresh and dry weights). The inoculation with mycorrhizal fungi was caused to prevent the negative effects of chromium and salinity stresses on some of characteristics such as the amount of root carbohydrate, carotenoid, phosphorus and chromium content of plant. Also, the intraction effects of salinity - chromium - mycorrhiza were significant on catalase and guaiacol peroxidase activities, in this research. So using the appropriate amounts of mycorrhizal fungi, in areas where the amount of chromium is critical, can increase the yield compared to the chemical fertilizers and expensive methods and also prevent contamination of soil and groundwater.

Keyword: Momordica charantia, Salinity, Chromium, Mycorrhiza, Morphological characteristics

University of Shahrood
Faculty of Agricultural
Department of Water and soil
Msc Thesis

The Effects of Salinity and Chromium on Soil Chemical Properties and Quantitative and Qualitative Characteristics of Bitter Melon in the Presence of Mycorrhizal Fungi (*Glomus versiform)*

Mahsa Bahrami

Supervisors:

Dr. Hadi Ghorbani
Dr. Mostafa Heidari

Advisor:

Dr. Hamid Reza Asghari

February 2015