بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی کشاورزی

رشته زراعت گرایش زراعت(MS.C)

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی تاثیر همزیستی میکوریزایی بر رشد و عملکرد سویا تحت شرایط تنش کادمیوم

احسان اصحابی

اساتید راهنما:

دکتر احمد غلامی

دکتر مهدی برادران

دی ماه ۱۳۹۱

دانشکده کشاورزی – گروه زراعت

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای احسان اصحابی

بررسی تاثیر همزیستی میکوریزایی بر رشد و عملکرد سویا تحت شرایط تنش کادمیوم

در تاریخ..............................توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد (رساله دکتری) مورد ارزیابی و با درجه ....مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
دکتر احمد غلامی			
دکتر مهدی برادران			

اساتید داور	امضا	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضا

سرآغاز حمد و سپاس پروردگار کریم که یاری بخش این بنده حقیر بود

تقدیم به آنکه جهان در انتظار اوست

تقدیم به آنانکه وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر

تقدیم به مهربانترین پدر و تقدیم به صبورترین مادر

آنانکه توانشان رفت تا به توان برسم و مویشان سپید گشت تا رویم سپید بماند

آنانکه راستی قامتم را در شکستگی قامتشان بقاء یافت

هر آنکه خلق را سپاس نکرد بی شک رب یگانه را شکر به جای نیاورده است

سپاس سزاوار پروردگار عالمیان است که روشنی عقل و آگاهی را بر زشتی جهل برتری داد. اینک که با یاری خدای خوب و مهربانم نگارش پایان نامه ام را به اتمام رسانده ام بر خود لازم می دانم از زحمات بزرگوارانی که با راهنمایی های خود سهم عظیمی در تدوین این پایان نامه داشته اند صمیمانه تشکر و قدر دانی نمایم.

اینجانب مراتب تشکر و سپاس فراوان خود را از اساتید محترم آقای دکتر احمد غلامی و آقای دکتر مهدی برادران که قبول زحمت فرموده و راهنمایی این پایان نامه را پذیرفتند ابراز می دارم.

احسان اصحابی

دی ماه ۱۳۹۱

تعهد نامه

اینجانب **احسان اصحابی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **زراعت** دانشکده مهندسی**کشاورزی** نویسنده پایان‌نامه **بررسی** تاثیر همزیستی میکوریزایی بر رشد و عملکرد سویا تحت شرایط تنش کادمیوم تحت راهنمائی **دکتر احمد غلامی و دکتر مهدی برادران** متعهد می شوم.

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

تاریخ

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.

چکیده

یکی از راه های افزایش تحمل تنش هـای محیطـی و افـزایش عملکـرد در گیاهـان زراعـی استفاده از قارچ های میکوریزا می باشد. تلقیح خاک با میکوریزا رشد و عملکرد گیاهـان را در محـیط آزمایشگاهی و در مزرعه افزایش می دهد. در این آزمایش تاثیر سه گونه قارچ میکـوریزای آرباسـکولار بر رشد و عملکرد گیاه سویا تحت تنش کادمیوم در یک آزمایش گلدانی مورد مطالعه قرار گرفت. ایـن آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. تیمارها عبارت از ۴ سطح قارچ میکوریزا شامل شاهد (a_1)، گلوموس موسه آ (a_2)، گلوموس اینترارادیس (a_3) و گلوموس فاسیکولاتوم (a_4) و ۴ سطح کادمیوم (به فرم نیترات کـادمیوم) شـامل صـفر (b1)، ۲۰(b2)، ۴۰(b3) و ۶۰(b4) میلی گرم در کیلوگرم خاک بودند. نتایج این بررسی نشان داد که میکـوریزا باعـث افزایش وزن خشک ریشه، ساقه، برگ و سطح برگ شد همچنین میزان کادمیوم جـذب شـده توسـط اندام های هوایی، درصد کلونیزاسیون ریشه، حجم ریشه و میزان کلروفیل a و کلروفیل کل در حضور قارچ میکوریزا افزایش داشته است. در مقابل کادمیوم باعث کاهش در وزن خشک ریشه، ساقه، برگ و سطح برگ شد. همچنین کادمیوم به طور معنی داری سبب کاهش حجم ریشه، ارتفاع گیـاه و تعـداد شاخه فرعی در غلظت های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی گرم کادمیوم شد. اثرات متقابل میکوریزا و کادمیوم بر وزن خشک ساقه (نمونه برداری دوم) و میزان کادمیوم جذب شده توسط اندام های هوایی معنـی دار بود به طوری که با افزایش غلظت کادمیوم و همزیستی قارچ میکوریزا افـزایش در مقـدار ایـن صـفات نسبت به عدم حضور میکوریزا مشاهده شد. به طور کلی نتایج ایـن تحقیـق حـاکی از ایـن اسـت کـه کاربرد قارچ میکوریزا باعث افزایش رشد گیاه، افزایش تحمل گیاه به تنش کادمیوم، کمـک بـه جـذب بیشتر کادمیوم از خاک توسط گیاه و بهبود در صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گردید.

کلمات کلیدی: سویا، میکوریزا، کادمیوم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱-کلیات ۲
۱-۲- سویا ۳
۱-۲-۱- گیاه شناسی ۳
۱-۲-۲- مراحل رشد و نمو ۴
۱-۲-۳-نیاز غذایی ۶
۱-۲-۴-سازگاری ۷
۱-۲-۵-ارزش غذایی دانه ۹
۱-۳-کودهای زیستی ۱۰
۱-۳-۱-تعریف کودهای زیستی ۱۰
۱-۳-۲-تاریخچه میکوریزا ۱۰
۱-۳-۲-۱-انواع میکوریزا ۱۱
۱-۳-۲-۲-فارچ های اکتومیکوریزا ۱۲
۱-۳-۲-۳-قارچ های اندومیکوریزا ۱۳
۱-۴-کادمیوم ۱۵

فصل دوم: کلیات و مرور منابع

۲-۱- فواید همزیستی میکوریزایی ۱۸
۲-۱-۱- میکوریزا و افزایش جذب عناصر غذایی ۱۸
۲-۱-۱-۱- راه های تامین فسفر خاک ۱۹
۲-۱-۲- میکوریزا و اختصاص مواد فتوسنتزی ۲۰
۲-۱-۳- میکوریزا و عوامل بیماری زا ۲۰
۲-۱-۴- میکوریزا و عناصرغذایی ۲۱
۲-۱-۵- میکوریزا و فلزات سنگین ۲۲
۲-۲-عناصر سنگین ۲۴
۲-۲-۱-تنش عناصر سنگین ۲۴
۲-۲-۲-کادمیوم ۲۶
۲-۲-۲-۱-اثر کادمیوم بر بدن انسان ۲۷
۲-۲-۲-۲-منابع تولید کادمیوم ۲۷
۲-۲-۲-۳-جذب و انتقال کادمیوم در گیاه ۲۸
۲-۲-۲-۴-تنش کادمیوم ۲۹

فصل سوم: مواد و روش ها

۳-۱-زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش ۳۴
۳-۲- خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش ۳۴
۳-۳- مشخصات طرح آزمایشی ۳۴
۳-۴-عملیات اجرایی ۳۷

۳-۴-۱- آماده سازی گلدان ها برای کاشت و اعمال تیمارها ۳۷
۳-۴-۲- کاشت ۳۷
۳-۴-۳- داشت ۳۷
۳-۴-۴- نمونه برداری ۳۸
۳-۵- صفات زراعی و مرفولوژیک ۳۸
۳-۵-۱- ارتفاع بوته ۳۸
۳-۵-۲- تعداد شاخه فرعی ۳۸
۳-۵-۳- وزن خشک ساقه و برگ ۳۸
۳-۵-۴- وزن خشک ریشه ۳۸
۳-۶- صفات فیزیولوژیک ۳۹
۳-۶-۱- کلروفیل ۳۹
۳-۶-۲- حجم ریشه ۳۹
۳-۶-۳- سنجش میزان کادمیوم موجود در اندام هوایی ۳۹
۳-۶-۴- مقدار نسبی آب برگ ۴۱
۳-۶-۵- تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه ۴۱
۳-۶-۶- کلروفیل a وb ۴۲
۳-۶-۷- پایداری غشاء ۴۳
۳-۷- تجزیه و تحلیل داده ها ۴۳

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- صفات مورفولوژیک ۴۶
۴-۱-۱-ارتفاع بوته ۴۶
۴-۱-۲- تعداد شاخه فرعی ۴۷
۴-۱-۳- وزن خشک ریشه ۴۸
۴-۱-۴-وزن خشک ساقه ۵۰
۴-۱-۵-وزن خشک برگ ۵۳
۴-۱-۶- سطح برگ ۵۵
۴-۲- صفات فیزیولوژیک ۵۹
۴-۲-۱-مقدار نسبی آب برگ ۵۹
۴-۲-۲-حجم ریشه ۶۰
۴-۲-۳- کلروفیل ۶۱
۴-۲-۳-۱- کلروفیل a ۶۴
۴-۲-۳-۲- کلروفیل b ۶۶
۴-۲-۳-۳- کلروفیل کل ۶۷
۴-۲-۴- کادمیوم ۶۸
۴-۲-۵- درصد کلونیزاسیون ریشه ۷۰
۴-۲-۶- پایداری غشاء ۷۳
۴-۳- نتیجه گیری ۷۴
۴-۴- پیشنهاد ها ۷۴

فهرست جداول

جدول ۱-۱- مراحل رشد و نمو سویا ۵
جدول ۱-۲- درصد اسید های چرب اشباع و غیر اشباع موجود در روغن سویا ۹
جدول ۳-۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش ۳۵
جدول ۳-۲- ترکیبات تیماری مورد استفاده در آزمایش ۳۶
جدول ۴-۱- مقایسه میانگین ارتفاع و تعداد شاخه فرعی ۴۷
جدول ۴-۲- مقایسه میانگین وزن خشک ریشه، ساقه و برگ ۵۰
جدول ۴-۳- مقایسه میانگین سطح برگ گیاه ۵۷
جدول ۴-۴- مقایسه میانگین حجم ریشه ۶۰
جدول ۴-۵- مقایسه میانگین کلروفیل a و b و کل ۶۵
جدول ۴-۶- مقایسه میانگین کادمیوم موجود در اندام هوایی و درصد کلونیزاسیون ریشه ۷۰
جدول ۴-۷- مقایسه میانگین پایداری غشاء پلاسمایی ۷۴

فهرست اشکال

شکل ۱-۱- مراحل رشد و نمو سویا بر اساس تقسیم بندی فهر و کاونیس (۱۹۷۷) ۶
شکل۱-۲- تشکیل هیف در داخل سلول های پارانشیمی در اندومیکوریزا ۱۲
شکل۱-۳- تشکیل آرباسکول و وزیکول داخل سلول های اپیدرمی ریشه ۱۴
شکل۴- ۱- مقایسه وزن خشک ریشه ۵۱
شکل۴- ۲- مقایسه وزن خشک ساقه ۱۲۵ روز پس از کاشت (نمونه برداری دوم) ۵۳
شکل۴- ۳- مقایسه وزن خشک برگ ۸۳ روز پس از کاشت (نمونه برداری اول) ۵۵
شکل۴- ۴- مقایسه وزن خشک برگ ۱۲۵ روز پس از کاشت (نمونه برداری دوم) ۵۶
شکل۴- ۵- مقایسه سطح برگ گیاه ۸۳ روز پس از کاشت (نمونه برداری اول) ۵۸
شکل۴- ۶- مقایسه سطح برگ گیاه ۱۲۵ روز پس از کاشت (نمونه برداری دوم) ۵۹
شکل۴-۷- مقایسه حجم ریشه ۶۱
شکل۴- ۸- تغییرات کلروفیل تحت تاثیر غلظت های کادمیوم ۶۱ روز پس از کاشت ۶۲
شکل ۴- ۹- روند تغییرات کلروفیل تحت تاثیر تیمارهای میکوریزایی ۶۳
شکل ۴-۱۰- روند تغییرات کلروفیل تحت تاثیر غلظت های مختلف کادمیوم ۶۴
شکل۴-۱۱- مقایسه میزان کلروفیل a ۶۶
شکل۴-۱۲- مقایسه میزان کلروفیل b ۶۷
شکل۴-۱۳- مقایسه میزان کلروفیل کل ۶۹
شکل۴-۱۴- مقایسه کادمیوم موجود در اندام هوایی ۷۱
شکل۴-۱۵- مقایسه درصد کلونیزاسیون ریشه ۷۳

فهرست جداول پیوست

جدول پیوست ۱- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ارتفاع و تعداد شاخه فرعی بوته
جدول پیوست ۲- جدول تجزیه واریانس(میانگین مربعات) وزن خشک ساقه، ریشه و برگ ۸۳ روز پس از کاشت
جدول پیوست ۳- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) وزن خشک ساقه و برگ ۱۲۵ روز پس از کاشت
جدول پیوست ۴- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) سطح برگ ۸۳ و ۱۲۵ روز پس از کاشت
جدول پیوست ۵- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مقدار نسبی آب برگ و حجم ریشه
جدول پیوست ۶- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) کلروفیل
جدول پیوست ۷- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) کلروفیل a, b و کل
جدول پیوست ۸- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) درصد کلونیزاسیون ریشه و میزان کادمیوم اندام های هوایی
جدول پیوست ۹- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) پایداری غشاء

فصل اول

مقدمه

۱-۱- کلیات

روند افزایش سالیانه جمعیت در جهان موجب شده است که افزایش تولید غذا به یکی از دغدغه های انسان تبدیل گردد. بیش از دو سوم جمعیت دنیا در کشورهای در حال توسعه زندگی می کنند و بیش از ۲۰٪ کشورهای توسعه نیافته در فقر و قحطی به سر می برند که متجاوز از ۵۰٪ آنها فقر غذایی دارند (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۰). علم کشاورزی به ویژه دانش زراعت عهده دار تولید محصولات بیشتر و با کیفیت بهتر است طوری که بتواند جوابگوی افزایش جمعیت باشد (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۰).

رشد گیاه یکی از پیچیده ترین و حساس ترین پدیده های حیاتی نسبت به پارامتر های محیطی می باشد که بازتاب پاسخ گیاه نسبت به متغیر های محیطی است. کاهش رشد تحت شرایط نامناسب محیطی به قطع ارتباط بین فرآیندهای گیاه نسبت داده می شود. لذا رشد گیاه نیاز به ارتباط مناسب بین فرآیند های متابولیسمی بخش های مختلف دارد (برودان و اگلی، ۲۰۰۳). واژه تنش به معنای از بین رفتن شرایط طبیعی در سطوح مختلف از جمله محیط، گیاه، سلول و حتی اجزای سلولی است (بلوم، ۱۹۸۱). رطوبت، دما، تشعشع، مواد غذایی و گازها بسته به مقدارشان در محیط می توانند رشد و نمو گیاهان را افزایش یا کاهش دهند. مقدار یا غلظت نامناسب این عوامل باعث ایجاد تنش در گیاه می شود (کوچکی و همکاران، ۱۳۶۷). عوامل تنش زا اغلب با تغییر در فرآیند های فیزیولوژیک گیاه باعث ایجاد صدمه و کاهش عملکرد می شوند. تاثیر هر عامل تنش زا بر فرآیند های فیزیولوژیک در یک گونه گیاهی همواره ثابت نیست بلکه یک گیاه ممکن است در مراحل مختلف رشد نسبت به یک عامل حساسیت های متفاوتی نشان دهد (کافی و مهدوی دامغانی، ۱۳۸۱). شرایط تنش می تواند به صورت دائم یا موقت حادث شود و لزوما مرگ آنی گیاه را در پی ندارد. به طوری که اگر تنش پس از مدت کوتاهی حذف شود، گیاه به حالت طبیعی باز می گردد و چنانچه تنش فراتر از محدوده تحمل گیاه باشد، آسیب و یا

حتی مرگ گیاه را در پی خواهد داشت (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۶). تنش های محیطی در مجموع به دو دسته شامل تنش های زنده و تنش های غیر زنده تقسیم می شوند. از جمله تنش های زنده می توان به تنش ناشی از آفات و بیماری ها اشاره کرد و از تنش های غیرزنده می توان تنش های کم آبی، شوری، گرما، سرما، عناصر سنگین و غیره را نام برد که به صورت طبیعی موجب کاهش عملکرد گیاهان می شوند (حیات و همکاران، ۲۰۱۰).

۱-۲- سویا

۱-۲-۱- گیاه شناسی

سویا با نام علمی *Glycine max* که در ایران آن را با نام سوژا نیز می شناسند، از دانه های روغنی است که حداقل از حدود ۲۸۰۰ سال پیش از میلاد مسیح در چین کشت می شده و از گیاهان مقدس به شمار می رفته است. سویا در دهه دوم قرن اخیر به ایران آورده شد ولی بررسی های انجام شده روی آن موفقیت آمیز نبود. در سال ۱۳۴۱ گروه صنعتی بهشهر مقداری بذر سویا وارد کرد و به توسعه کشت آن در شمال کشور پرداخت (خواجه پور، ۱۳۸۵).

سویا گیاهی است دیپلوئید (۲n=۴۰)، یکساله و از تیره بقولات (*Fabaceae*) که به صورت بوته ای استوار و نسبتا پر شاخ و برگ رشد می کند. این گیاه روز کوتاه است و بیش از هر محصول زراعی دیگر نسبت به طول روز حساسیت نشان می دهد. مقدار رشد رویشی و طول دوره رشد به رقم، طول روز، دمای محیط و تاریخ کاشت بستگی دارد ولی بسیاری از ارقام مورد کاشت در ایران سیکل زندگی خود را طی ۹۰ تا ۱۴۵ روز به اتمام می رسانند (خواجه پور، ۱۳۸۵).

گل های سویا در زاویه اتصال برگ ها به ساقه تشکیل شده و هر گل سبب تشکیل ۳ بذر و به ندرت ۴ تا ۵ بذر می شود (کوچکی و همکاران، ۱۳۶۷). طول دوره گلدهی ۳ تا ۴ هفته ادامه یافته و معمولا ۲۵ تا ۵۰ درصد گل های تشکیل شده تولید نیام می کنند (مجتهدی و لشگری، ۱۳۶۰). رنگ گل ها سفید، بنفش یا ارغوانی است. گل ها خوشه ای بوده و معمولا در هر خوشه ۸ الی ۱۶ گل ظاهر

می شوند. ارقامی که برای تولید روغن کشت می شوند دارای بذر هایی به رنگ زرد و آنهایی که بـرای مصارف مستقیم (آجیلی) کشت می شوند بذرهایی به رنگ زرد کاهی یا سبز زیتونی دارند و نوع علوفه ای آن دارای بذر های قهوه ای یا سیاه هستند (مجتهدی و لشگری، ۱۳۶۰). برگ های اولیه سـویا بـا کرک های کوچک پوشیده شده اند (لطیفی، ۱۳۷۲). ارقام علوفه ای ساقه های ظریف دارند و شـاخ و برگ آنها در مقایسه با ارقام روغنی بیشتر است (کریمی، ۱۳۶۸).

حداکثر محصول سویا تا حدود زیادی بستگی به وجود سیستم ریشه ای گسترده همراه بـا گـره-های تثبیت کننده نیتروژن دارد. گسترش حجم ریشه در صورت وجود آب و عناصر غـذایی کـافی در خاک و تهیه بستر مناسب امکان پذیر است (لطیفی، ۱۳۷۲). گیاه سویا دارای یک ریشه اصـلی اسـت که ریشه های افقی حدود ۴۰ تا ۵۰ سانتی متر موازی سطح خاک رشد می نمایند و سپس تـا عمـق ۱۵۰ سانتی متر در خاک نفوذ می کنند. رشد ریشه تا زمان تشکیل دانه ادامه می یابد و قبـل از ورود دانه به مرحله بلوغ فیزیولوژیک متوقف می گردد (لطیفی، ۱۳۷۲).

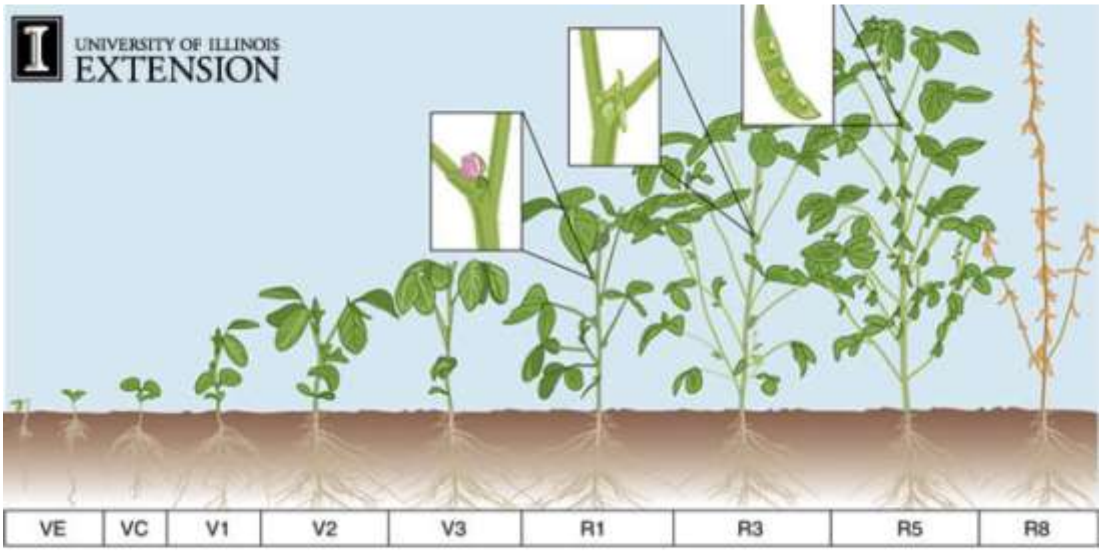
۱-۲-۲- مراحل رشد و نمو

فهر و همکاران (۱۹۷۲) و فهر و کاونیس (۱۹۷۷) مراحل رشد و نمو سویا را به دو صورت تقسیم بندی نمودند. در حال حاضر تقسیم بندی سال ۱۹۷۷ بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد (جدول ۲-۱ و شکل ۲-۱). در این طبقه بندی ها مراحل رشد و نمو سویا به دو دوره رویشی و زایشی تقسیم و هر یک از این دوره ها نیز تقسیم بندی خاص خود را دارند. تعیین مراحل رشد رویشی و زایشی نیازمنـد تشخیص گره ها می باشد. گره قسمتی از ساقه است که برگ هـا روی آن رشـد مـی کننـد و پـس از ریزش برگ ها، گره ها به صورت یک زائده کوچک مشخص می شوند (فهر و کـاونیس، ۱۹۷۷). رشـد رویشی از ابتدای جوانه زدن تا ظهور گل ها روی ساقه ادامه دارد. رشد زایشی از ابتدای ظهور گل هـا شروع و تا رسیدن دانه ها ادامه خواهد داشت. اجزای عمده عملکرد در سویا شامل تعداد نیـام، تعـداد دانه در نیام و وزن هزاردانه می باشد لذا میزان عملکرد سویا بستگی به تعداد و اندازه دانه دارد. تعداد

دانه در هر گیاه نیز به تعداد نیام در بوته و تعداد دانه در هر نیام بستگی دارد (یزدی صمدی و عبد میشانی، ۱۳۷۳).

جدول ۱-۱- مراحل رشد و نمو سویا بر اساس تقسیم بندی فهر و کاونیس (۱۹۷۷)

مراحل رشد	عنوان مرحله	توصیف
رویشی (v)		
v_e	سبز شدن	لپه ها در سطح خاک ظاهر می شوند.
v_c	لپه ای	برگ ساده گره به اندازه کافی باز شده است.
v_1	اولین گره	برگ های ساده گره به اندازه کافی باز شده اند، زیرا لبه های برگ به هم متصل نیستند.
v_2	دومین گره	برگ های سه برگچه ای در بالای گره برگ های ساده به اندازه کافی توسعه یافته اند.
v_3	سومین گره	سه گره در ساقه اصلی با برگ های کاملا توسعه یافته وجود دارد، شمارش از گره برگ های ساده آغاز می شود.
v_n	گره n ام	تعداد n گره با برگ های توسعه یافته روی ساقه اصلی وجود دارد. n می تواند هر شماره ای را شامل گردد در صورتی که از مرحله اولین گره شمارش شده باشد.
زایشی (R)		
R_1	شروع گلدهی	حداقل یک گل باز شده در یکی از گره های ساقه اصلی دیده می شود.
R_2	پایان گلدهی	گل باز شده در یکی از دو گره انتهایی ساقه اصلی با برگ توسعه یافته کامل دیده می شود.
R_3	شروع نیام دهی	نیامی با طول ۵ میلی متر در یکی از ۴ گره انتهایی ساقه اصلی دارای برگ توسعه یافته دیده می شود.
R_4	پایان نیام دهی	نیامی در یکی از ۴ گره انتهایی ساقه اصلی دارای برگ توسعه یافته دیده می شود.
R_5	شروع تشکیل دانه	بذری با طول ۳ میلی متر در یکی از ۴ گره انتهایی ساقه اصلی دارای برگ توسعه یافته دیده می شود.
R_6	پر شدن کامل نیام ها	نیام حاوی یک بذر سبز است که حفره نیام را پر کرده و در یکی از ۴ گره انتهایی ساقه اصلی دارای برگ توسعه یافته دیده می شود.
R_7	شروع رسیدگی	یک نیام دارای رنگ رسیدگی در ساقه اصلی دیده می شود.
R_8	رسیدگی کامل	۹۵ درصد از نیام ها رسیده اند.



شکل ۱-۱- مراحل رشد و نمو سویا بر اساس تقسیم بندی فهر و کاونیس (۱۹۷۷)

۱-۲-۳- نیاز غذایی

سویا بیش از سایر حبوبات به مواد غذایی نیاز دارد. تثبیت نیتروژن هوا توسط باکتری رایزوبیوم جاپونیکوم[1] می تواند تا حدود ۸۰ درصد نیاز سویا را به نیتروژن جهت دستیابی به عملکرد های بالا تامین نماید. در خاک های ایران این باکتری به طور طبیعی یافت نمی شود و لازم است از کودهای بیولوژیک موجود در بازار حاوی نژادهای مختلفی از این باکتری استفاده گردد (خواجه پور، ۱۳۸۵). در صورتی که نتایج آزمایش خاک برای محاسبه مقدار کود مورد نیاز در دسترس نباشد، می توان بر اساس عملکردهای مورد انتظار و تخمین وضعیت حاصلخیزی خاک (بر مبنای سوابق مزرعه) مقدار کودهای مورد نیاز را تعیین کرد. برای عملکردهای بین ۲ تا ۳ تن دانه در هکتار تحت شرایط کشت آبی به حدود ۲۰ تا ۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (در صورت تثبیت نیتروژن توسط باکتری های رایزوبیوم، به صورت پیش کاشت و به عنوان آغازگر رشد[2]) نیاز است. در صورت عدم تثبیت نیتروژن، کل کود مورد نیاز برای تولید ۲ تا ۳ تن دانه در هکتار معادل ۱۲۰ تا ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار تخمین زده می شود. بهتر است یک سوم این مقدار به صورت پیش کاشت و بقیه به صورت سرک و در مرحله شروع گلدهی به محصول داده شود. مقدار فسفر مورد نیاز بستگی بسیار زیادی به موجودی فسفر

۱- *Rhizobium japonicum*
۲- Starter

خاک دارد و بین ۳۰ تا ۴۰ کیلوگرم در هکتار تخمین زده می شود. مقدار کود پتاسیم مورد نیاز برای تولید ۲ تا ۳ تن دانه در هکتار، ۵۰ کیلوگرم در هکتار می باشد. کودهای فسفر و پتاسیم به صورت پیش کاشت در خاک قرار داده می شوند (خواجه پور، ۱۳۸۵). ۷۰ تا ۸۰ درصد از نیتروژن و فسفر و نیز ۶۰ درصد از پتاسیم گیاه در دانه ذخیره می گردد. بدیهی است که میزان ذخیره عناصر غذایی در دانه رسیده و نیز میزان انباشتگی هر یک از مواد غذایی ثابت نیست (ناصری، ۱۳۷۰). در صورتی که سویا در تناوب با گیاهانی قرار گیرد که پر نیاز باشند و به آنها کود کافی داده شده باشد و در صورت استفاده از بذر ضدعفونی شده، کشت سویا به مواد غذایی کمتری نیاز پیدا می کند. شواهد متعدد حاکی از آن است که ارقام جدید سویا از نظر واکنش به مقادیر مختلف و نوع مواد غذایی با یکدیگر متفاوت هستند (ناصری، ۱۳۷۰).

۱-۲-۴- سازگاری

فعالیت های به نژادی روی گیاه سویا منجر به تولید ارقام بسیار متفاوتی از لحاظ طول دوره رشد شده است و طیف سازگاری اقلیمی این گیاه را افزایش داده است. در حال حاضر سویا از عرض جغرافیایی ۴۰ درجه جنوبی تا بیش از ۵۰ درجه شمالی و ارتفاع صفر تا بیش از ۲۱۰۰ متر از سطح دریا کشت می شود. سویا گیاهی روز کوتاه است که بیش از هر محصول زراعی دیگر نسبت به طول روز حساسیت نشان می دهد. ولی میزان حساسیت به طول روز در ارقام مختلف بسیار متفاوت می باشد (خواجه پور، ۱۳۸۵). این گیاه به خسارت تگرگ حساس می باشد. سویا در گروه گیاهان گرمادوست قرار دارد و در مناطقی که ذرت کشت می شود، قابل کشت است. این گیاه به گرما و نور فراوان نیاز دارد و به سایه اندازی و رقابت علف های هرز حساس است. سرمای خفیف را در مرحله گیاهچه و مرحله رسیدگی دانه کمی بهتر از ذرت تحمل می کند (خواجه پور، ۱۳۸۵).

حداقل دما برای رشد سویا ۱۰ درجه سانتی گراد و دمای کشنده برای آن ۲- درجه سانتی گراد می باشد. دماهای حداکثر بیش از ۳۵ درجه سانتی گراد برای رشد سویا نامطلوب به شمار می روند و دمای بیش از ۳۸ درجه موجب کاهش و تاخیر در رشد می شود. رشد مطلوب سویا هنگامی حاصل

می شود که میانگین شبانه روزی دما بین ۲۲ تا ۲۵ درجه سانتی گـراد باشـد. دمـای مطلـوب بـرای گلدهی بیشتر ارقام سویا نیز ۳۰ تا ۳۳ درجه سانتی گراد است.

مقاومت این گیاه به خشکی کمی از آفتـابگردان کمتـر مـی باشـد و هماننـد ذرت در گـروه گیاهـان حساس به خشکی قرار می گیرد. ظاهرا ارقام پرکرک به خشکی مقاوم ترنـد. حـداکثر عملکـرد سـویا زمانی به دست می آید که رطوبت خاک طی تمامی فصل رشد از ۵۰ درصد حد ظرفیت زراعی پـایین تر نرود. نیاز گیاه به رطوبت خاک از شروع گلدهی تا شروع رسیدگی زیاد است. مقدار آب مـورد نیـاز برای رشد بین ۴۵۰۰ تا ۸۲۵۰ متر مکعب در هکتار تخمین زده شده است. کشت دیم سویا در نواحی ساحل خزر با حدود ۱۰۰۰ میلی لیتر باران سالیانه یـا بیشـتر امکـان پـذیر مـی باشـد (خواجـه پـور، ۱۳۸۵). این گیاه بر خلاف تصور مقاومت زیادی به خشکی هوا دارد. همچنین مقاومت آن نسـبت بـه باد خوب است. ارقام رشد محدود و رشد نامحدود مورد کشت در ایران به ندرت دچار خوابیـدگی مـی شوند، مگر اینکه فراوانی رطوبت خاک و تراکم بوته موجب ارتفاع بیش از حد بوته هـا گـردد (خواجـه پور، ۱۳۸۵).

سویا به سله و تراکم خاک بسیار حساس است. بهترین رشد را در خـاک هـای دارای بافـت متوسـط مانند لوم، لوم شنی ریز، لوم سیلتی و سیلتی با زهکشی مناسب دارد. مقاومت آن به کمبـود اکسـیژن در خاک متوسط به شمار می رود در عین حال به آب ایستادگی حساس است. مرطوب مانـدن سـطح خاک موجب توسعه بیماری های پوسیدگی طوقه و ریشه و نیز بوته میـری مـی گـردد (خواجـه پـور، ۱۳۸۵).

سویا به فراوانی عنصر بر در خاک بسیار حساس می باشد همچنین گیاه سـویا در زمـره گیاهـان حساس به شوری به شمار می آید. مقاومت سویا در برابر شوری از پنبه کمتر و اندکی از ذرت بیشـتر است (خواجه پور، ۱۳۸۵). اسیدیته مطلوب برای کشت سویا بین ۶ تا ۶/۵ می باشد (خنثی تا کمـی اسیدی) و pH پائین تر از آن فعالیت باکتری های گره و نیز قابلیت دسترسی به منیـزیم و کلسـیم را کاهش می دهد (خواجه پور، ۱۳۸۵).

۱-۲-۵- ارزش غذایی دانه

دانه خشک سویا دارای ۱۸ تا ۲۵ درصد روغن و ۳۰ تا ۵۰ درصد پروتئین می باشد. درصد روغن و پروتئین تحت تاثیر شرایط محیطی رشد، عملکرد و میزان تثبیت نیتروژن هوا یا مقدار نیتروژن خاک قرار دارد (خواجه پور، ۱۳۸۵). به طور میانگین از هر تن دانه ارقام روغنی (با استخراج توسط حلال) حدود ۱۸۰ کیلوگرم روغن و ۷۶۰ کیلوگرم کنجاله حاوی ۴۴ درصد پروتئین به دست می آید. دانه سویا از لحاظ مواد غذایی قابل هضم، کلسیم، آهن و ویتامین ها غنی می باشد و ارزش بالایی در تغذیه انسان دارد. وجود ماده فیتواستروژن در پروتئین حاصل از سویا نقش قابل توجهی در کاهش کلسترول خون دارد. دانه سویا دارای انواع اسیدهای چرب اشباع و غیر اشباع می باشد (جدول ۲-۲) ولی فاقد کلسترول است. زیاد بودن اسیدهای لینوئیک و لینولنیک در روغن سویا سبب بالا بودن خاصیت خشک شوندگی و ناپایداری این روغن شده است و آن را برای مصرف مستقیم نامناسب ساخته است. از طریق هیدروژنه سازی انتخابی و جداسازی اجزای روغن، انواع مختلفی از روغن سویا جهت طباخی، تولید مارگارین و مایونز به وجود آمده اند. مصرف سویا به عنوان مکمل پروتئینی در جیره غذایی طیور به دلیل بالا بودن درصد پروتئین و پایین بودن درصد فیبر کنجاله بسیار مطلوب است. به طور کلی سویا از نظر ترکیب اسیدهای آمینه بیش از سایر حبوبات به پروتئین حیوانی شباهت دارد (خواجه پور، ۱۳۸۵).

جدول ۱-۲- درصد اسید های چرب اشباع و غیر اشباع موجود در روغن سویا (رضوی و مظاهری تیرانی، ۱۳۷۴)

اسید چرب اشباع	درصد	اسید چرب غیر اشباع	درصد
پالمتیک اسید	۱۰/۶	لینوئیک اسید	۵۱/۲
استئاریک اسید	۲/۴	لینولنیک اسید	۲۳/۵
آراشیدیک اسید	۲/۴	اولئیک اسید	۸/۵
میریستیک اسید	۰/۴	پالمیت اولئیک اسید	۱
مجموع	۱۵/۸	مجموع	۸۴/۲

۱-۳- کودهای زیستی

۱-۳-۱- تعریف کودهای زیستی

کودهای زیستی به مواد حاصل خیز کننده ای اطلاق می شود که حاوی تعداد کافی از یک یا چند گونه از ارگانیسم های مفید خاکزی هستند که به منظور تامین عناصر غذایی و افزایش رشد گیاهان استفاده می شوند. کودهای بیولوژیک میکروارگانیسم هایی هستند که قادرند عناصر غذایی را از شکل غیرقابل استفاده به شکل قابل استفاده تبدیل کنند و این تبدیل در یک فرآیند بیولوژیکی انجام می‌گیرد. هزینه تولید کودهای بیولوژیک کم است و سبب آلودگی اکوسیستم نمی شود. عواملی مانند، تنش های محیطی بلند مدت (خشکی، دمای زیاد، یخبندان، غرقاب) و استفاده بی رویه از سموم شیمیایی، موجب کاهش جمعیت میکروارگانیسم های مورد نظر در خاک های یک منطقه می شوند. با توجه به نوع میکروارگانیسم ها، کودهای زیستی را می توان به صورت کودهای زیستی باکتریایی (ریزوبیوم، ازتوباکتر، آزوسپریلیوم)، کودهای زیستی قارچی (میکوریزا)، کودهای زیستی جلبکی (جلبک های سبز- آبی و آزولا) و کودهای زیستی اکتینومیست ها (فرانکیا) طبقه بندی کرد.

با استفاده از کودهای زیستی قارچی (میکوریزا) همزیستی بین قارچ و ریشه گیاه میزبان برقرار می‌شود. در این همزیستی قارچ، قند، اسید های آمینه، ویتامین ها و برخی مواد آلی دیگر را از میزبان دریافت و در مقابل مواد معدنی غیر قابل حل به خصوص فسفات را از خاک جذب کرده و در اختیار گیاه قرار می دهد. اکثر گیاهان (۸۳ درصد دولپه ای ها و ۷۹ درصد تک لپه ای ها) قادر به تشکیل سیستم میکوریزایی هستند(داد، ۲۰۰۰ و رمی و همکاران، ۱۹۹۴).

۱-۳-۲- تاریخچه میکوریزا

میکوریزا از قدیمی ترین روابط همزیستی در سیر تکاملی حیات می باشد. فسیل وزیکولار آرباسکولار میکوریزا در تعدادی از نمونه ها شناسایی شده است. قدیمی ترین آنها در گیاهان *Rhynie chert* می باشد که از قدیمی‌ترین گیاهان شناخته شده در زمین می با شند و در حدود ۳۷۰ میلیون

سال پیش می‌زیسته اند (هارلی و اسمیت، ۱۹۸۳). ساختارهای مشابهی در ریزوم های سرخس های کربونیفر و نیز به طور پراکنده در گیاهان دوران پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک ثبت شده‌اند. آلن(۱۹۹۱) از دیدگاه دیرین شناسی و تکامل به تفصیل به میکوریزا پرداخته است. در اکوسیستم‌های طبیعی گیاهان میکوریز اختیاری یا غیر میکوریزایی در مناطق یا اقلیم های بسیار خشک، مرطوب، سرد و یا در مناطقی که تولیدات گیاهی در اثر شرایط خاکی- محیطی محدود و اندک است و یا در اقلیم های بهم خورده و تخریب شده ای که قارچ های میکوریزایی تقلیل یافته اند وجود دارند. جنس های گیاهان غیر میکوریزایی که در کشاورزی و باغبانی حائز اهمیت می باشند عبارتند از: کنوپودیاسه، آمارانتاسه، کاریوفیلاسه، پولی گوناسه، براسیکاسه، سکروفولاریاسه، کوملیناسه، جونکاسه و سیپراسه.

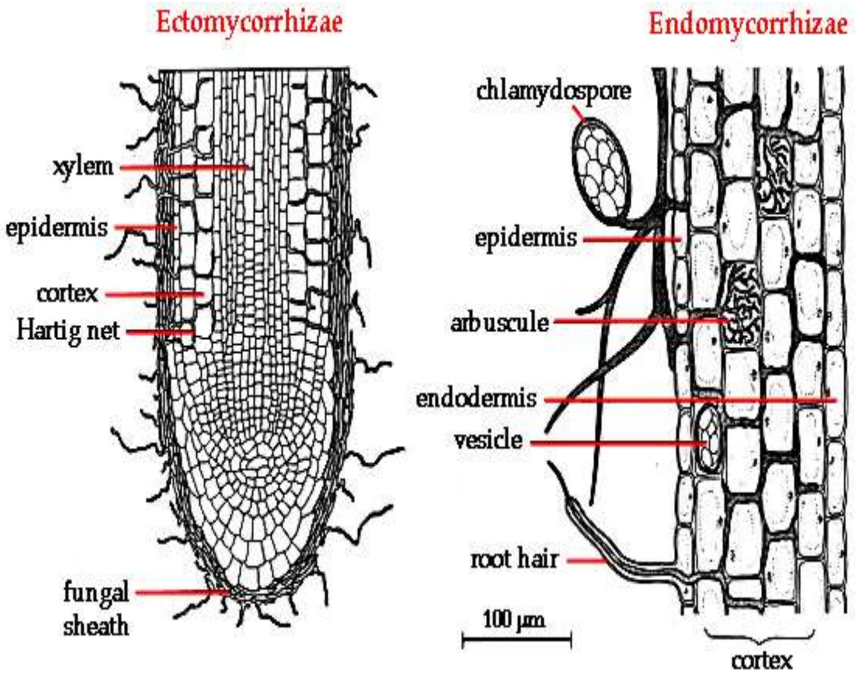
۱-۳-۲-۱- انواع میکوریزا

قارچ های میکوریزا بر اساس وضعیت قرار گرفتن میسیلیوم های آنها روی ریشه گیاهان میزبان به گروه های زیر تقسیم می شوند:

۱- اکتومیکوریزا (Ectomycorrhizae): تشکیل هیف در بیرون از سلول های پارانشیمی ریشه (شکل ۲-۲).

۲- اندومیکوریزا (Endomycorrhizae): تشکیل هیف در داخل سلول های پارانشیمی ریشه(شکل ۲-۲).

۳- اکتندومیکوریزا (Ectandomycorrhizae): تشکیل هیف هم در بیرون و هم در داخل سلول‌های پارانشیمی ریشه.



شکل۱-۲- تشکیل هیف در داخل سلول های پارانشیمی در اندومیکوریزا و در بیرون سلول های پارانشیمی در اکتومیکوریزا

۱-۳-۲-۲- قارچ های اکتومیکوریزا

این قارچ ها به درون سلول های ریشه وارد نمی شوند و به همین دلیل حالت میکوریزی آن ها، برونی (اکتو)[۱] خوانده می شود. هیف های این قارچ ها، در فضای بین سلول های پوست ریشه شبکه متراکمی به نام شبکه هارتیگ نت (Hartig Net) برای مبادله متابولیت ها با گیاه میزبان، به وجود می آورند. این قارچ ها با تشکیل پوسته یا غلاف کم و بیش ضخیم بر روی سطح ریشه ها که اغلب با تغییر رنگ و تغییر شکل این ریشه ها همراه است به خوبی از ریشه های غیر میکوریزایی مشخص می شوند. در این نوع همزیستی، قارچ میسیلیوم انبوه و متراکمی روی سطح ریشه تولید می کند. گیاهانی که با این نوع قارچ آلوده شده اند با پوشش متراکمی از ریسه قارچ ها پوشیده شده اند و بطور مستقیم با خاک تماس ندارند. این نوع میکوریزا از راه افزایش سطح جذب ریشه باعث افزایش تحمل به خشکی گیاه میزبان به خصوص در مناطق خشک می شوند. تلقیح با قارچ های اکتومیکوریزا در حدود سال ۱۹۲۰ در نهالستان های جنگلی استرالیا برای کشت بذرهای کاج آغاز گردید. در حال حاضر از

۱-Ecto

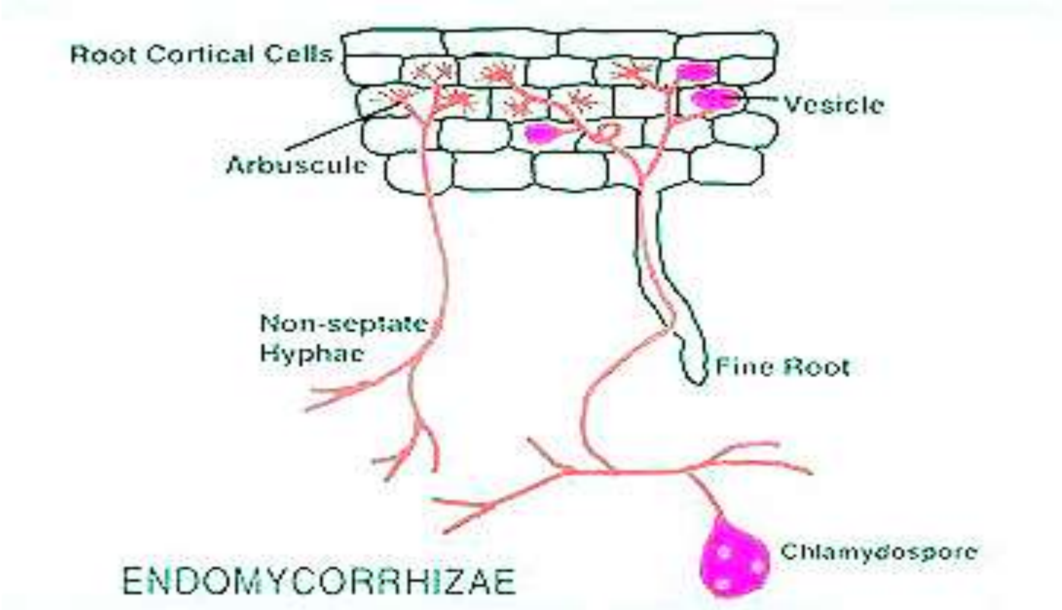
مهم ترین قارچ های اکتومیکوریزای رایج برای تولید مایه تلقیح *Pisolithus Tinctorius* است که علاوه بر رشد سریع روی محیط های غذایی، قادر به همزیستی با بیش از صد گونه از درختان چوبی جنگلی است و توان رشد در شرایط زیستی بسیار نامساعد را دارد. به همین دلیل در آمریکا بیشترین سطح تولید تجارتی و مصرف را داشته است. قارچ های دیگری مانند *Laccaria Lacata*، *Amanita Muscaria*، *Thelephora Terrestris* هم کم و بیش به خصوص در کشورهای اروپایی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱-۳-۲-۳- قارچ های اندومیکوریزا

در این نوع میکوریزا آثار قارچ روی ریشه میزبان قابل مشاهده نیست و از نظر ظاهری فرقی بین ریشه‌های آلوده و غیر آلوده وجود ندارد. هیف این قارچ ها از راه تارهای کشنده یا از راه سلول های اپیدرمی ریشه وارد سلول میزبان می شوند. هیف پس از ورود به سلول میزبان تولید شبکه ای می‌کند که این شبکه از رشته های درختچه مانند بنام آرباسکول[۱] تشکیل شده که دارای ساختاری شبیه اندام‌های مکنده می باشد. تبادل متابولیت ها بین قارچ و سیتوپلاسم میزبان از طریق آرباسکول ها انجام می گیرد. آرباسکول معمولا ۲۰ الی ۴۰ درصد حجم سلول را در بر می گیرند پس از مدتی از بین رفته و هضم می شوند. انشعابات میسیلیوم های درونی ساختمان های کیسه مانندی با دیواره ضخیم ایجاد می کنند که به آن ها وزیکول[۲] می گویند. وزیکول اندام های ذخیره ای مواد غذایی و همچنین شکل پایدار قارچ هستند. وجود ساختمان های وزیکول و آرباسکول در این نوع میکوریزاها سبب شده است که آن ها را قارچ های وزیکولار آرباسکولار بنامند.

---

[۱]- Arbuscule
[۲]- Vesicle



شکل۱-۳- تشکیل آرباسکول و وزیکول داخل سلول های اپیدرمی ریشه.

در بعضی از انواع این میکوریزا، وزیکول ها تشکیل نمی شوند و یا اکثرا در اواسط تـا اواخـر دوره رویشی گیاه ظاهر می گردند و وجود آرباسکول ها تنها نشانه قاطع برای تشخیص این نـوع میکـوریزا محسوب می شود. به همین دلیل ترجیحا به طور اختصار میکـوریزای آرباسـکولار[۱] هـم خوانـده مـی شوند. آرباسکول ها معمولا در سلول های بخش درونی پوست ریشه، تشکیل می شوند. رشد قارچ پس از نفوذ به داخل سلول، با تولید پی در پی انشعابات که به تدریج نازک تر و ظریف تـر مـی شـوند، در مجموع اندامی شبیه یک درختچه کوچک به وجود می آورد که به دلیل سطح تماس بسیار گسترده با سلول میزبان، مبادله متابولیت ها را بین دو همزیست تسهیل می کند.

غلظت های بالای فلـزات سـنگین در خـاک، تـأثیر نامسـاعدی بـر فرآینـدهای میکروارگانیسـمی و میکروبیولوژیکی دارد. قارچ های میکوریزایی از جمله میکروارگانیسم هـای خـاک هسـتند کـه تـاثیر بسزایی در رشد و عملکرد گیاهان دارند و به شدت تحت تاثیر فلزات سنگین به خصوص کادمیوم قرار می گیرند. قارچ های میکوریزایی موجوداتی هستند که ارتباط مستقیمی بین خاک و ریشه ایجاد می کنند و بنابراین در میزان دسترسی فلزات سنگین و سمیت آنها در گیاهان بسیار حائز اهمیـت انـد.

[۳]- Arbuscular Mycorrhizae

اجتماعات میکوریزایی آربوسکولار، اجزای مکمل و عملکردی ریشه های گیاهان می باشند و به طور گسترده به عنوان افزاینده های رشد گیاهان در مناطق آلوده با فلزات سنگین شناخته شده اند. این قارچها در ریشه های گیاهان در حال رشد در خاک های آلوده با فلزات سنگین موجود بوده و نقش مهمی در تحمل سمیت و انباشتگی فلزات سنگین ایفا می کنند. این قارچها ارتباط مستقیمی بین خاک و ریشه ایجاد می کنند. چنین تصور می شود که اثر میکوریزا بر تغذیه گیاهی در مورد عناصر دارای انتشار محدود در اطراف ریشه های گیاه از جمله فسفات و اکثر فلزات سنگین، بیشتر قابل توجه باشد. با وجود قابلیت تحرک یونهای مختلف فلزی در گیاهان، به طور کلی مقدار فلز در ریشه ها بیشتر از بافت های موجود در خارج از خاک است (بناویدس و همکاران، ۲۰۰۵).

۱-۴- کادمیوم

عناصر سنگین عناصری فلزی، سمی و با وزن اتمی بالا هستند. عناصر فلزی سنگین نظیر نیکل، سرب، کادمیوم، سلنیوم و غیره که در سطح کلوئیدهای خاک ذخیره می شوند، بسیار خطرناک هستند و با ورود به چرخه غذایی زیان های جبران ناپذیری را به جای می گذارند. مقاومت و پایداری عناصر سنگین در خاک نسبت به سایر آلاینده ها بسیار طولانی می باشد و آلودگی خاک توسط عناصر سنگین تقریبا دائمی است. اثرات زیان بار این عناصر بر موجودات زنده به اثبات رسیده است. برخی از این اثرات شامل اختلال فعالیت های بیولوژیک خاک، اثرات سمی بر گیاهان، جانوران و انسان ها در اثر ورود مواد به زنجیره غذایی است (جعفری، ۱۳۸۲). آلومینیوم که از جمله این عناصر می باشد در تقسیم سلولی نوک ریشه و ریشه های جانبی، تنفس ریشه و جذب، انتقال و استفاده از چندین عنصر غذایی ضروری مانند آهن، پتاسیم، فسفر و کلسیم اختلال ایجاد می کند و همچنین موجب لوله شدن برگ های جوان، زردی و مرگ برگ ها می گردد. مهمترین نشانه سمیت آلومینیوم جلوگیری از رشد ریشه می باشد (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). بالا بودن غلظت مس در گیاه موجب جلوگیری کامل از رشد گیاه می گردد (کوپیتکی و همکاران، ۲۰۰۷). غلظت های بالای مس قادر به

تاثیر روی واکنش های فتوسیستمII ،اختلال در واکنش های فتوسنتزی و در نهایت کاهش عملکرد گیاه هستند (اورکات و نیلسون، ۲۰۰۰). جیوه میل ترکیبی زیادی با گروه های سولفیدریل دارد و بنابراین بر بسیاری از پروتئین ها و سیستم های آنزیمی در گیاه تاثیر گذار است (اورکات و نیلسون، ۲۰۰۰). سرب نیز اثرات منفی متعددی بر گیاهان دارد. از جمله می توان به کاهش مقدار کلروفیل، کاروتنوئید ها و پروتئین ها اشاره کرد. کادمیوم قادر است از رشد ریشه و اندام هوایی جلوگیری کند و بر جذب و همگن سازی عناصر تاثیر گذار باشد (یاندی و همکاران، ۲۰۰۷). کادمیوم می تواند موجب اختلالات در مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه نظیر پیچیدگی برگ ها، کاهش رشد اندام هوایی و ریشه و قهوه ای شدن نوک برگ ها (عبدالباسط و همکاران،۱۹۹۵) گردد.

گزارش ها حاکی از آن است که متاسفانه برخی از خاک های زراعی در کشور ما نیز آلوده به عناصر سنگین هستند. لذا به دلیل اهمیت افزایش تولید در گیاهان زراعی و نیز تامین غذای سالم، مطالعه تاثیر این عناصر بر ویژگی های فیزیولوژیک، مرفولوژیک و نیز تولید گیاهان ضروری است. با توجه به مصرف کودهای فسفره در مناطق عمده کشت سویا در شمال کشور و نیز مصرف بی رویه این کود، همچنین پایین بودن pH خاک، احتمال آلودگی خاک های این مناطق به عناصر سنگین به ویژه کادمیوم را افزایش می دهد. لذا یافتن راهکاری به منظور کاهش میزان تنش وارده به گیاه یا افزایش تحمل گیاه به تنش فلزات سنگین ضروری به نظر می رسد. در قالب این پژوهش اهداف زیر مطرح و دنبال گردید:

۱- افزایش رشد و عملکرد سویا در اثر همزیستی با قارچ میکوریزا

۲- بررسی توانایی گیاه سویا در جذب فلز سنگین کادمیوم از خاک

۳- انتخاب بهترین گونه ی میکوریزا از لحاظ تاثیر بر رشد و عملکرد سویا در شرایط وجود کادمیوم

۴- بررسی میزان جذب فلز کادمیوم توسط اندام های هوایی سویا

۵- بررسی تاثیر قارچ میکوریزا بر تنش وارد شده به گیاه سویا در اثر فلز سنگین کادمیوم

فصل دوم

کلیات و مرور منابع

۲-۱- فواید همزیستی میکوریزایی

۲-۱-۱- میکوریزا و افزایش جذب عناصر غذایی

مقدار فسفر موجود در خاک کمتر از مقدار نیتروژن کل یا پتاسیم آن ها است و حدود یک چهارم تا یک دهم نیتروژن و یک دوازدهم پتاسیم می‌باشد. مقدار فسفر کل خاک سطحی و تحت الارض ممکن است از چند میلی گرم در کیلوگرم تا یک گرم درکیلوگرم متغیر باشد. فسفر در نهشته های معدنی یافت می شود و به عنوان منابع طبیعی غیر قابل تجدید محسوب می گردند. نگرانی جهانی در رابطه با انرژی و هزینه های لازم برای استخراج سنگ فسفات، انتقال آن به کارخانه، ساخت کودهای مختلف، حمل آن ها به مزارع و مصرف آن ها برای محصولات وجود دارد. این مسئله برای تعداد زیادی از کشورهایی که بدون سنگ فسفات می باشند، بسیار مهم و جدی است. استخراج کانی های فسفردار و پخش کود فسفر دار در اراضی به علت محدود بودن منابع فسفر، پایدار نیست و آینده تولید این کود با مشکل روبرو است. تفاوت دیگری که بین نیتروژن و فسفر وجود دارد این است که نیتروژن توسط فرآیند های مختلفی مانند تصعید آمونیاک، آبشویی و نیترات زدایی به آسانی در خاک تلف می شود ولی بخش عمده فسفر در محل مصرف به علت غیرپویایی در نتیجه واکنش با یون های Fe^{+2} و Ca^{+2} و Al^{+3} در خاک، باقی می ماند. بنابراین کودهای حاوی ترکیبات محلول فسفر پس از پخش در مزرعه به سرعت به شکل کم محلول یا نامحلول در می آیند. فقط ۱۵ تا ۲۰ درصد از کود فسفره مصرفی به صورت قابل جذب گیاه در می‌آید و جزء کمتری از این کود جذب گیاهان بعدی می شود. بنابراین مدیریت موثر فسفر بویژه در خاک هایی با تثبیت فسفر زیاد مانند اولتی سول و اکسی سول های مناطق حاره می تواند بسیار پیچیده باشد. غلظت فسفر معدنی در محلول خاک غالباً در حدود ۰/۰۵ میلی گرم در لیتر است. مقدار فسفر آلی بستگی به عوامل مانند اقلیم، پوشش گیاهی، بافت خاک، کاربری زمین، مصرف کود، زهکشی، آبیاری و غیره دارد (www.sabzgostar-co.com).

۲-۱-۱-۱- راه های تامین فسفر خاک

کودهای فسفاتی شامل، سوپر فسفات ساده ، سوپر فسفات تریپل، سوپر فسفات غنی شده، سوپر فسفات آمونیومی، فسفات آمونیوم، نیتریک یا نیترو فسفات، آمونیوم پلی فسفات و سنگ فسفات می باشد. مدیریت استفاده از فسفر شامل ارائه راه کارهای موثر استفاده از فسفر طبیعی خاک است که یکی از این راه کارها استفاده از قارچ های میکوریزا می باشد. تحقیقات متعدد نشان می دهد که فسفر، ازت، پتاسیم، روی، مس، گوگرد، کلسیم و آهن توسط سیستم میکوریزا جذب شده و به گیاه منتقل می شوند. به طور کلی مکانیسم جذب از طریق افزایش حجم خاک قابل دسترس توسط ریسه های قارچ، ترشح آنزیم فسفاتاز و حلالیت عناصر است. در بین عناصر غذایی بیشترین نقش میکوریزا در جذب فسفر است (الکاراکی و الرداد، ۱۹۹۷). انتقال فسفر در خاک های خشک بین ۱۰ تا ۱۰۰ مرتبه کمتر از خاک های مرطوب است در چنین شرایطی جذب فسفر مورد نیاز گیاه بدون وجود یک سیستم میکوریزایی کا رآمد بسیار کم می شود. اثر مثبت سیستم میکوریزا در جذب فسفر هنگامی مشهود است که غلظت عناصر غذایی مثل فسفر در فاز محلول خاک کم ولی شکل های رسوبی آن در ریزوسفر وجود داشته باشد. نقش میکوریزا در تغذیه ازته گیاه به دلیل دارا بودن ضریب پخش زیاد آن ناچیز است. افزایش جذب NH_4^+ بوسیله سیستم های میکوریزایی بخصوص دراکتو میکوریزا همزیست با گیاهان جنگلی مشاهده شده است ولی اثر آن مانند آن چیزی که در فسفر مشاهده شده است نمی باشد (www.sabzgostar-co.com). هنگامی که فسفر خاک در سطح پایینی باشد سیستم میکوریزا جذب فسفر و در نتیجه رشد گیاه را به نحو چشمگیری افزایش می دهد . هیف ها قادر هستند که فسفات را از ۱۵ سانتی متری سطح ریشه تا چند متری عمق خاک زیر ریشه دریافت کنند (www.sabzgostar-co.com). همچنین هیف ها در منافذی از خاک نفوذ می کنند که امکان نفوذ تارهای کشنده ریشه وجود ندارد (قطر تارهای کشنده حداقل ۲۰ میکرومتر است در حالی که هیف ها حداکثر ۲-۱ میکرو متر می باشند) به علاوه هیف ها از راه افزایش سطح تماس یا از راه افزایش طول موثر ریشه جذب عناصر غذایی را به شدت افزایش می دهند. طبق اظهارات آلن و

همکاران(۱۹۸۱) هر یک سانتیمتر مکعب خاک دارای ۲ الی ۴ سانتیمتر ریشه، ۱ تا ۲ متر تارهای کشنده و بیش از ۵۰ متر هیف می باشد. در سیستم های متفاوت میکوریزایی طول موثر ریشه متفاوت است بالاتر بودن این شاخص نشان از کارایی بالاتر سیستم میکوریزایی است (اسمیت و رید،۱۹۹۷). تحقیقات نشان می دهد هر چه ضریب پخشیدگی عناصر کمتر باشد اهمیت میکوریزا در جذب و انتقال آن به گیاه بیشتر است و از این جهت اهمیت میکوریزا در جذب فسفر بیشتر از ازت می باشد. قسمت اعظم فسفر موجود در خاک غیر محلول و غیر قابل استفاده مستقیم گیاه است. مطالعات متعدد نشان داده است که بعضی از انواع میکوریزاها (ارکوییدها) می توانند آنزیم فسفاتاز سنتز کنند و از این راه امکان دسترسی به فسفر را افزایش دهند (www.sabzgostar-co.com). برخی از انواع میکوریزا ها اسیدهای کلات کننده تولید می کنند و از این راه حلالیت فسفر را برای جذب افزایش می‌دهند (www.sabzgostar-co.com).

۲-۱-۲- میکوریزا و اختصاص مواد فتوسنتزی

شواهد بسیار زیادی وجود دارد که گیاهان می توانند سرعت فتوسنتز خود را افزایش دهند تا نیازهای همزیست خود را تامین نمایند. این عمل از طریق افزایش سطح برگ و افزایش مقدار تثبیت CO_2 به ازای واحد وزن برگ انجام می گیرد. کوپر (۱۹۸۴) انتقال بیشتر کربن را به ریشه در پیازهای میکوریزایی گزارش کردند و تایید نمودند که اختصاص بیشتر مواد فتوسنتزی به ریشه ها در نتیجه افزایش فتوسنتز در گیاهان میکوریزایی است. ترنت و همکاران(۱۹۸۸) نشان دادند که گیاهان میکوریزایی در دوره های خشکی بهتر از گیاهان غیر میکوریزایی CO_2 را جذب می نمایند و در پتانسیل های پایین تر خاک نسبت به گیاهان غیر میکوریزایی روزنه های خود را باز نگه می‌دارند.

۲-۱-۳- میکور یزاو عوامل بیماری زا

در منابع به توانایی قارچ میکوریزای AM در کاهش علائم ناشی از موجودات مولد بیماری اشاره

شده است. اسمیت و رید (۱۹۹۷) نتیجه گرفتند که به جز موارد معدودی اولین تأثیر میکوریزای AM بر روابط بین گیاه میزبان و عامل بیماری زا به بهبود جذب فسفر مربوط می شود. برخی از بررسی‌ها حاکی است که قارچ AM بر بیماری بی تأثیر بوده و یا سبب تشدید آن می شود. باگیاراج (۱۹۹۲) طی تحقیقاتی در این زمینه نشان داد که در اکثر موارد، قارچ های میکوریزای AM قادر به کاهش اثرات محدود کننده عوامل بیماری زای ریشه می باشد. البته موارد متناقض هم وجود دارد. به طور مثال، راس (۱۹۸۰) متوجه شد که بوته های میکوریزای سویا در اکثر موارد تحت تأثیر عامل پوسیدگی ریشه قرار می گیرند، در صورتی که این وضعیت برای بوته های غیر آلوده رخ نمی دهد. تحقیق در زمینه اثر متقابل قارچ میکوریزای AM و باکتری ها بی نتیجه بوده است، ولی مشخص شده است که قارچ های میکوریزای AM می توانند آلودگی گیاهان به ویروس ها را افزایش دهند (باگیاراج، ۱۹۹۲). تأثیر میکوریزای AM بر اثرات متقابل گیاهان با عوامل بیماریزا، زمینه ای است که اطلاعات پایه ای بیشتری را می طلبد.

۲-۱-۴- میکوریزا و عناصرغذایی

عموماً میکوریزا از طریق افزایش جذب عناصر غذایی غیر متحرک از خاک سبب افزایش رشد گیاه می شود. مصرف زیاد کودهای شیمیایی، خصوصاً P و N می تواند تشکیل هیف خارجی قارچ و واکنش مربوط به رشد گیاه را کاهش دهد (ابوت و همکاران،۱۹۸۴). البته مقدار کم فسفر نیز می‌تواند گسترش میکوریزا را محدود کند. وجود تعادل در غلظت ازت و فسفر موجود در محلول خاک بر کلونیزاسیون قارچ موثر است (سیلویا و نیل، ۱۹۹۰)، و ژنوتیپ های مختلف قارچ به نسبت های مختلف $\frac{N}{P}$ واکنش متفاوت نشان می دهند. غالباً در شرایط مزرعه بین عناصر غذایی خاک و استقرار قارچ های AM در ریشه گیاه همبستگی مثبتی وحود دارد (جفری و همکاران، ۱۹۸۸).

۲-۱-۵- میکوریزا و فلزات سنگین

قارچ های میکوریزایی تقریبا در تمام خاک های مناسب برای رشد گیاه و نیز در محیط هایی که در آن گیاهان با تنش روبرو می شوند وجود دارند. در حقیقت به نظر می رسد که قارچ های میکوریزا بیشترین تاثیر خود را به هنگام مواجه شدن گیاهان با تنش های محیطی داشته باشند. ابوت و رابسون (۱۹۹۱) اظهار داشتند که میزان کلونیزاسیون میکوریزا در ارتباط با خواص فیزیکی و شیمیایی خاک به طور قابل ملاحظه ای تغییر می کند. نتایجی به دست آمده که نشان می دهد قارچ های میکوریزا به محدوده وسیعی از شرایط محیطی سازگار هستند (استال و کریستنسن، ۱۹۹۱).

تاکنون در مورد اثر متقابل قارچ میکوریزای AM و فلزات مطالعات اندکی صورت گرفته است و در بین این موارد، تعداد کمتری به بحث در مورد فلزات سمی پرداخته اند. با این حال، خاک هایی که دارای مقادیر زیادی فلزات قابل دسترس هستند، می توانند به عنوان محیط زندگی برای گونه های خاصی از قارچ AM مطرح باشند. در مورد اثر متقابل بین قارچ های AM و فلزات سوالات اساسی مطرح است. آیا میکوریزای AM فلزات سنگین را تحمل می کنند؟ آیا آنها به گیاهان در جذب فلزات کمک می کنند؟ آیا قارچ های AM سبب محافظت گیاه میزبان در مقابل فلزات سمی می‌شوند؟

در بررسی‌هایی که قارچ های AM بطور مستقیم در معرض فلزات قرار داده شدند، ملاحظه شد که میکویزای AM می تواند سبب افزایش جذب کلسیم، روی و استرنسیم شود (کوپر ،۱۹۸۴). استفاده از قارچ میکوریزا سرعت رشد گیاه را افزایش داده و بر تخصیص و انتقال عناصر غذایی بین ریشه و ساقه اثر دارد به طوری که با افزایش جذب عناصر غذایی و انتقال آنها وزن خشک اندام های هوایی افزایش می یابد (اورتوس و هریس، ۱۹۹۶). قارچ میکوریزای آرباسکولار تحمل گیاه به تنش های زنده و غیر زنده را افزایش می دهد (آزکون و همکاران، ۱۹۹۵، سوبرامانیان و چارست، ۱۹۹۷و نیوشام و همکاران، ۱۹۹۵). همچنین قارچ میکوریزا می تواند در جذب و انتقال فلزات خاک مثل Cd، Zn، Pb، Cu، Al توسط گیاه موثر باشد (خان و همکاران، ۲۰۰۰ و لیوال و همکاران ۱۹۹۷). در ذرت تیمار میکوریزی از نظر ماده خشک بخش هوایی گیاه و ریشه یک افزایش نسبی نسبت به تیمارهای

بدون میکوریز نشان داد (علیزاده، ۲۰۰۵). یکی از شاخص های مهم فعالیت قـارچ میکـوریزی میـزان کلونیزاسیون سیستم ریشه ای توسط این قارچ ها می باشد که بـه وسـیله عوامـل مختلفـی از جملـه خصوصیات ظاهری و ساختمانی سیستم ریشه ای، مقدار و کیفیت ترشحات ریشه ای، مصرف کودهای فسفره و غلظت های بالای عناصر سنگین تحت تاثیر قـرار مـی گیـرد (الکـاراکی و همکـاران، ۱۹۹۸و جاوتیو و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین میزان سـرایت میکـوریزایی در ذرت بـه وسـیله افـزایش فلـزات سنگین Zn، Cu، Ni، Cr، Pb و Cd کاهش یافـت (چـائو و وانـگ، ۱۹۹۰). گیاهـان میکـوریزی عنصـر کادمیوم را بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی از خاک جذب می کنند ولی داخل هیف های خود درون ریشه گیاه میزبان رسوب داده و اجازهٔ انتقال کادمیوم را به اندام هـای هـوایی نمـی دهنـد (ویسـون هورن و همکاران، ۱۹۹۵). میکوریزا از طریق بهبود وضعیت تغذیه باعث کاهش اثرات تنش کادمیوم و افزایش عملکرد سویا می شود. کیل هام و فایرستون (۱۹۸۳) نشان دادند که بوتـه هـای میکـوریزایی شده گیاه *(Ehrhanta calycina sm.)* تیمار شده با مس، نیکل، سـرب، روی، آهـن و کبالـت مقـادیر بیشتری از این فلزات را در مقایسه با بوته های کنترل، در ریشه ها و اندام هـای هـوایی خـود تجمـع دادند. آن ها نشان دادند که با افزایش اسیدیته، میزان تأثیر قارچ کاهش یافـت. در بسـیاری از منـابع علمی به این نکته اشاره شده است که کلونیزاسیون قـارچ AM مـی توانـد سـبب محافظـت گیاهـان میزبان در مقابل فلزات سمی شود. وقوع این وضعیت به بهبود جذب فسفر و در نتیجه رقیق تر شـدن غلظت فلزات سمی در بافت گیاهان ارتباط داده شده است. دوک و همکاران (۱۹۸۶) بیان کردند کـه اثر سمیت عنصر روی در بوته های علف های چمنی آلوده به AM در مقایسـه بـا بوتـه هـای کنتـرل کاهش یافت. در مورد مس، میکوریزا می تواند جذب و تجمع مس را در ریشه ها افزایش دهـد و ایـن امر می تواند اثر مسمومیت مس را در غلظت های بالا کاهش دهد. قبل از هر گونه نتیجه گیری، بایـد اثرات متقابل بین گیاهان، قارچ AM، فلزات سنگین و پارامترهای خاک بیشتر مورد مطالعه قرار گیرد. قارچ های میکوریزای AM می توانند سبب افزایش غلظت فلزات سمی در گیاهان شوند. البته همـین قارچ ها قادرند از گیاهان در برابر این فلزات محافظت کنند. به هرحال این جنبـه هـا، پتانسـیل قابـل

ملاحظه استفاده از قارچ های میکوریزای AM را نشان می دهد، اما دقت در خصوصیات قارچ و اثرات متقابل گیاه به همراه توجه به خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک از نکات اساسی به شمار می آید.

۲-۲- عناصر سنگین

بر اساس تقسیم بندی نایبر و ریچاردسون (۱۹۸۰) عناصر سنگین به تعدادی از فلزات و یون های آنها اطلاق می شود که عدد اتمی آنها بیش تر از ۲۰ باشد. از جمله عناصر سنگین می توان به کادمیوم، روی، سرب، مس، نیکل، جیوه و کروم اشاره کرد. به صورت کاملا تئوری هر ۱۰۰۰ کیلوگرم خاک معمولی حاوی ۲۰۰ گرم کروم، ۸۰ گرم نیکل، ۱۶ گرم سرب، ۰/۵ گرم جیوه و ۰/۲ گرم کادمیوم می باشد. حتی محصولات زراعی تولیدی در مناطق کاملا پاک از نظر آلودگی، عاری از فلزات سنگین نیستند (کافی و مهدوی دامغانی، ۱۳۸۱). فلزات سنگین به طور طبیعی در خاک به عنوان عناصر کمیاب یافت می شوند که این میزان محدود به معدنی شدن معمول آنها می باشد و به آسانی قابل استفاده نمی باشند. اشکال قابل استفاده بیولوژیکی فلزات سنگین در نتیجه فعالیت انسان و به صورت شیمیایی ساخته می شود. وجود آنها در هوا، خاک و آب حتی در مقادیر ناچیز می تواند موجب بروز مشکلات جدی در جانداران گردد. تجمع زیستی فلزات سنگین در زنجیره غذایی می تواند بسیار خطرناک باشد (جعفری، ۱۳۸۲).

۲-۲-۱- تنش عناصر سنگین

فلزات سنگین از مهمترین آلاینده های محیط زیست می باشند و خطری جدی برای موجودات زنده محسوب می شوند (بودی و همکاران، ۱۹۹۵). این فلزات در غلظت های زیاد بر رشد، نمو و عملکرد گیاه اثر می گذارند (مادهاوا راو و استرستی، ۲۰۰۰) برای مثال علی رغم اینکه امروزه نیکل یکی از عناصر کم مصرف مورد نیاز گیاهان محسوب می شود (بناروپا و همکاران، ۲۰۰۴) و نقش آن

در رشد و به ویژه فعالیت آنزیم اوره آز به اثبات رسیده است (ویت کلاز و همکاران، ۲۰۰۲)، ولـی بـه عنوان یک فلز سنگین، به ویژه در غلظت های بالا، از طریق کاهش وزن تر و خشک برگ هـا و سـاقه (فونتس و همکاران، ۱۹۹۸)، همچنین تأثیر منفی بر طول ساقه (ژو، ۲۰۰۲) موجب کـاهش در رشـد عمومی گیاهان می گردد. ازدیاد روی (Zn) درگیاه می تواند موجب افزایش کمبود مس (Cu) و منگنز (Mn) در اندام هوایی گیاهان گردد (فونتس و کوکس، ۱۹۹۸). از دیگر علائم سمیت روی در گیاهـان، برگ های قرمز متمایل به بنفش می باشد که به کمبود فسفر نسبت داده می شـود (لـی و همکـاران، ۱۹۹۶). جیوه می تواند از طریق ترکیب با پروتئین های کانالی مربوط بـه ورود آب، موجـب تحریـک بسته شدن روزنه ها و انسداد فیزیکی جریان آب و نیز اختلال در فعالیت میتوکندری و تحریک آسیب اکسیداتیو در گیاهان گردد (ژانگ و همکاران، ۱۹۹۹).

زیادی مس در خاک نیز می تواند موجب کاهش رشد و کلروز برگ ها گردد (لـویس و همکـاران، ۲۰۰۱). نتایج تحقیقات نشان می دهد تجمع جیوه (Hg) می تواند سـمی باشـد و سـطوح سـمی آن آسیب های واضح و ناهنجاری هـای فیزیولـوژیکی در گیاهـان را موجـب مـی گـردد (ژو و همکـاران، ۲۰۰۷). آثار سمی فلزات سنگین بر گیاهان ناشی از تولید انواع مختلف اکسیژن فعـال (ROS)[۱] مانـنـد سوپراکسید ($O_2^{\cdot -}$)، پراکسید هیـدروژن (H_2O_2) و رادیکـال هیدروکسـیل ($OH^{\cdot}$) مـی باشـد (فـدور و همکاران، ۱۹۹۵). این اشکال مختلف اکسیژن فعال معمولا با ایجاد آسیب های غشایی (مادهـاوا راو و استرستی، ۲۰۰۰) فرآیند های مختلف سلولی را دچار اختلال می نمایند (ژو و همکاران، ۲۰۰۷).

بروز تنش ناشی از این عناصر علائم و خسارات متعدد در گیاهان را در پـی دارد. از جملـه اینکـه این عناصر قادر به جلوگیری از طویل شدن ریشه ها، کاهش فتوسنتز و فعالیت های آنزیمی و نیز وارد شدن آسیب اکسیداتیو به غشاء ها می باشند (شا و کلیزیگ، ۱۹۹۹). این اثرات ممکن اسـت موجـب حساسیت بیشتر گیاهان به سایر تنش ها گردند که بیشتر در ارتباط با تاثیر فلزات سنگین بر فرآینـد های فیزیولوژیک تاثیر گذار در تنظیم آب گیاه می باشد. برای مثـال تـنش فلـزات سـنگین از طریـق

۱- Reactive Oxygen Species

کاهش ظرفیت جذب آب در سیستم ریشه ای و احتمالا بلوکه شدن روزنه های آبی[1] و نیز کاهش کارایی مصرف آب، می تواند موجب بروز تنش خشکی در گیاه گردد (ریسر و امرسون، ۲۰۰۷). با این حال مطالعات معدودی وجود دارند که نشان دهنده همزمانی اثرات تنش خشکی و تنش عناصر سنگین باشند. این مطالعات معدود نیز اکثرا در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده اند و نتایج مبهمی حاصل گردیده است (پوشنریدر و بارسلو، ۲۰۰۴). در آزمایشی که روی لوبیای کشت شده در پرلیت به عمل آمد، تاثیر کروم (Cr) در پاسخ گیاه به تنش خشکی در بین برگ های مختلف، متفاوت بود. در حالی که وقتی این بوته ها در معرض کادمیوم قرار گرفتند تحت شرایط تنش آبی ضعیف، فشار تورگر کاهش یافت (بارسلو، ۱۹۸۶). تاثیر آلومینیوم نیز تحت شرایط تنش خشکی در میان ارقام مختلف آفتابگردان متفاوت بود (کریک و همکاران، ۱۹۸۸). به طور کلی تاثیر ترکیب تنش ها می تواند متفاوت از تاثیر هر کدام از آنها به تنهایی باشد (ریژسکی و همکاران، ۲۰۰۲). درک اثر متقابل بین تنش ها جهت اصلاح اراضی آلوده به فلزات سنگین مهم است (جانسون و استیونسون، ۱۹۹۴).

۲-۲-۲- کادمیوم

این فلز در گروه 2B جدول تناوبی قرار دارد. ظرفیت معمولی آن II می باشد. عدد اتمی آن ۴۸ و دارای ۸ ایزوتوپ طبیعی و تعدادی ایزوتوپ مصنوعی است. کادمیوم در طبیعت بیشتر به صورت سولفید دیده می شود. این فلز بسیار شبیه روی است و به مقدار اندک به همراه روی یا همراه با سنگ معادن فلزاتی نظیر سرب و مس یافت می شود. تمامی نمک های کادمیوم نظیر انواعی از کمپلکس های کلرید کادمیوم ($CdCl_2$)، سولفات کادمیوم ($CdSO_4$) و یا فرم اکسید کادمیوم (CdO) می توانند موجب ورود کادمیوم به بدن گردند (جعفری، ۱۳۸۲).

۱ - Aquaporins

۲-۲-۲-۱- اثرات کادمیوم بر بدن انسان

کادمیوم فلزی بسیار خطرناک است و نقشی در متابولیسم بازی نمی کند. تا کنون هیچ آنزیمی یافت نشده است که به عنوان کوفاکتور به کادمیوم احتیاج داشته باشد. این فلز از راه های متعدد می تواند وارد بدن گردد. ولی غذا و سیگار دو منبع مهم ناقل این فلز به بدن انسان به شمار می روند. به طور کلی انسان روزانه در حدود ۴۰-۲۰ میکروگرم کادمیوم از طریق بلع و تنفس وارد بدن می کند و از این مقدار ۵ تا ۱۰ درصد جذب بدن می شود. در مجموع جذب از طریق تنفس ۳۰ درصد بیشتر از جذب از راه بلع می باشد (کرانتو و همکاران، ۲۰۰۸). مسمومیت حاد با کادمیوم در اثر خوردن مقدار زیادی از این ماده رخ می دهد. هوا، آب آشامیدنی و خاک عوامل آلوده کننده ای می باشند که نسبت به غذا و سیگار از اهمیت کمتری برخوردارند. دفن زباله های حاوی کادمیوم و استفاده از کود های شیمیایی فسفاته موجب آلودگی خاک به این فلز می گردد. آب آشامیدنی نیز از طریق لحیم های استفاده شده در لوله های انتقال دهنده آب آلوده می شود و در صورتی که آب اندکی اسیدی باشد فلز را در خود حل می کند. همچنین فاضلاب ها به ویژه فاضلاب های صنعتی نیز از جمله منابع مهم آلاینده آب و خاک به کادمیوم می باشند و مخصوصا در مناطقی که از این منابع در راستای تولید محصولات زراعی استفاده می گردد، می تواند با انتقال کادمیوم به زنجیره غذایی انسان مشکلات عدیده ای را ایجاد نماید. کادمیوم پس از ورود به جریان خون در تمام بدن پخش می شود اما عمدتا در کبد و کلیه ها انباشته می گردد (جعفری، ۱۳۸۲).

۲-۲-۲-۲- منابع تولید کادمیوم

مصارف کادمیوم در گذشته نسبت به زمان حال کمتر بوده است و بیشتر در تهیه آلیاژها و برای جلوگیری از فرسایش و ایجاد مقاومت در آنها در برابر فرسودگی مورد استفاده قرار می گرفته است. کادمیوم با چگالی ۸/۶ گرم بر سانتی متر مکعب، یکی از فلزات سنگین متداولی است که توسط کارخانه های برق، سیستم های گرمایی، آبکاری فلزات، لحیم ها، کوره های مخصوص سوزاندن زباله

ها، ترافیک شهری، کارخانه های سیمان، فرمولاسیون رنگ ها، ساخت باطری هـای نیکـل-کـادمیوم، تثبیت پلی وینیل کلراید، تولید پلاستیک، ساخت اتومبیل، صنایع نظامی، صنایع هوا-فضا، قارچ کـش ها، حفاظ رآکتور های هسته ای، تولید کودهای فسفاته، فرآیند معدنی شدن سنگ هـا، تولیـد روغـن موتور و معادن تولید می شود. کادمیوم در محیط های طبیعی به صورت یک عنصر مجزا وجود نـدارد بلکه بیشتر به عنوان فلز همراه دیده می شود (پودیال و همکاران، ۲۰۰۷).

در سال های اخیر میزان استفاده از این فلز ۵ تا ۱۰ درصد افزایش یافته است. کـادمیوم فلـزی سمی است در عین حال از لحاظ صنعتی بسیار حائز اهمیت مـی باشـد. ایـن عنصـر بـه عنـوان مـاده پوششی استفاده گسترده ای دارد. رنگ کادمیوم در طبیعت سفید، نقره ای و بـراق اسـت امـا قابلیـت کدر شدن دارد (پودیال و همکاران، ۲۰۰۷).

۲-۲-۲-۳- جذب و انتقال کادمیوم در گیاه

تجمع کادمیوم می تواند برای تمام موجودات زنده خطرناک باشد به طوری که غلظت های بالای آن ممکن است سرطان زا و جهش زا باشد. در محلول های خاک دارای غلظت های کادمیوم ۳۵ میلی مولار غالبا تنها گونه های متراکم کننده کادمیوم توان رویش دارند. برای مثال از میان گیاهان عالی از تیره براسیکاسه، گیاه *Thlaspi caerulescens* دارای این ویژگـی مـی باشـد. میـزان جـذب کـادمیوم توسط گیاهان، وابسته به غلظت آن در خاک، قابلیت زیسـت فراهمـی ترکیـب، pH خـاک، پتانسـیل ردوکس، دما و غلظت دیگر عناصر می باشد. به نظر می رسد جذب یون های کـادمیوم بـا ناقـل هـای عناصری مثل پتاسیم، منیزیوم، کلسیم، آهن، منگنـز، مـس، روی و نیکـل در رقابـت باشـد (ریسـر و امرسون، ۲۰۰۷).

تکنیک های متعددی برای تخمین سرعت جریان عناصر سمی یا ضروری در سلول های گیـاهی ابداع شده اند. به عنوان مثال میکرو الکترود هـای حسـاس بـه کـادمیوم بـرای انـدازه گیـری جریـان کادمیوم در ریشه های گیاهان عالی ساخته شدند. پیشنهاد شده که کـادمیوم پـس از وارد شـدن بـه

سلول های ریشه از طریق بافت پوستی ابتدا از طریق مسیر آپوپلاستی[1] یا سیم پلاستی[2] به آوند های چوبی می رسد و سپس به مولکول های کلات گیاهی[3] متصل شده و در نهایت به صورت فسفات کادمیوم یا در کریستال های اگزالات کلسیم رسوب می کند (اورکات و نیلسون، ۲۰۰۰).

ساز و کارهای تحمل که در مواجهه با سطوح بالای کادمیوم مشاهده می شود شامل تجمع در دیواره سلولی ریشه ها و اندام های هوایی، ساخت ترکیبات کلاتی پلی پپتیدی مانند کلات های گیاهی و ذخیره کادمیوم به صورت کمپلکس در سیتوپلاسم یا به صورت کمپلکس های غیر قابل حل از فسفات در سلول های اپیدرمی ساقه می باشند (کافی و همکاران، ۱۳۸۸).

۲-۲-۲-۴- تنش کادمیوم

مقدار مجاز کادمیوم موجود در خاک، حداکثر ۳ پی پی ام می باشد اما این مقدار امروزه به دلیل فعالیت های انسانی رو به فزونی است (سالت و همکاران، ۱۹۹۵). تحرک بالای این فلز در سیستم خاک-گیاه ورود آن را به زنجیره های غذایی آسانتر می کند (متوالی و همکاران، ۲۰۰۳). این عنصر به راحتی توسط بافت پوست ریشه گیاه جذب می شود و برای انتقال به برگ ها در آوندهای چوبی بارگذاری می شود (سالت و همکاران، ۱۹۹۵).

مطالعات زیادی در مورد اثرات سمیت کادمیوم بر متابولیسم گیاه صورت گرفته است. از جمله این اثرات می توان به کاهش جذب عناصر غذایی (ساندالیو و همکاران، ۲۰۰۱)، تغییر در متابولیسم نیتروژن (بوساما و همکاران، ۱۹۹۹)، جلوگیری از فتوسنتز از طریق تاثیر بر متابولیسم کلروفیل و ساختار کلروپلاست، فعالیت فتوسیستم II و آنزیم های مربوط به متابولیسم کربن فتوسنتزی اشاره کرد (کرانتو و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین کادمیوم از طریق تغییر در ترکیبات لیپیدی گیاه موجب

---

[1]-Apoplast
[2]-Symplast
[3]-Phytochelatines

تغییراتی در عملکرد غشاء های زیستی می گردد و این مسئله می تواند موجب تاثیر بر فعالیت برخی آنزیم های مربوط به غشاء نظیر H^+-ATPase گردد (فدور و همکاران، ۱۹۹۵).

گونه های مختلف گیاهی دامنه وسیعی از انعطاف پذیری در مقابل کادمیوم نشان می دهند. به طوری که در این میان می توان گونه هایی با حساسیت بسیار بالا تا ژنوتیپ هایی با قابلیت تجمع کادمیوم در مقادیر بالا مشاهده نمود. برای مثال لگوم ها نسبت به غلات و علفهای چمنی تحمل کمتری در برابر مسمومیت کادمیومی دارند (دات و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین دو لپه ای هایی مانند اسفناج یا کاهو در مقایسه با تک لپه ای هایی مانند یولاف و گندم، کادمیوم را بیشتر جذب می کنند (کافی و همکاران، ۱۳۸۸).

سمیت کادمیوم در گیاهان منجر به پیچیدگی برگ ها، کلروز و کاهش رشد ریشه و ساقه، اختلال در تعادل آبی گیاه و آسیب به تشکیلات فتوسنتزی می شود (کوستا و مورل، ۱۹۹۴). یکی از اثرات مخرب تنش کادمیوم، تحریک تنش اکسیداتیو می باشد که در اثر آن گونه های فعال اکسیژن (ROS) تولید می گردند. ROS تولید شده در سلول ها در طبیعت بسیار فعال می باشند و باعث از بین بردن عملکرد طبیعی و متابولیسم سلول می شوند. کادمیوم موجب افزایش فعالیت برخی از آنزیم های آنتی اکسیدان نظیر کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون رداکتاز و نیز ترکیبات غیر آنزیمی نظیر آسکوربات، گلوتاتیون و آلفا توکوفرول می گردد (حیات و همکاران، ۲۰۰۵). پاسخ های متفاوت به تنش اکسیداتیو حاصل از کادمیوم را می توان به مقدار کادمیوم و نیز غلظت گروه های تیول موجود یا تحریک شده در اثر کادمیوم مربوط دانست. تیول ها دارای خواص آنتی اکسیدانی کافی برای بی اثرکردن تنش اکسیداتیو هستند (پوشنریدر و همکاران، ۲۰۰۴). کادمیوم به راحتی توسط ریشه ها جذب و به قسمت های هوایی منتقل می شود و در آنجا می تواند با مقادیر زیاد تجمع یابد.

از مهمترین اثرات سمیت کادمیوم، کلروز (زرد شدن) برگ ها می باشد. به نظر می رسد این پدیده رابطه نزدیکی با عملکرد سمی کادمیوم دارد زیرا غلظت آن در بافت اندام های هوایی، به دقت

از طریق اندازه گیری سطح کلروفیل اندام هوایی قابل محاسبه است (بودی و همکاران، ۱۹۹۵). مکانیسمی که از طریق آن کادمیوم موجب کلروز برگ ها می گردد، ناشناخته است. به نظر می رسد که کادمیوم می تواند تاثیر مستقیم روی آنزیم های دخیل در مسیر بیوسنتز کلروفیل داشته باشد (بودی و همکاران، ۱۹۹۵) و از طریق تاثیر بر کمپلکس های پروتئین رنگیزه های مربوط به فتوسیستم ها تاثیر گذار باشد (هورواس و همکاران، ۱۹۹۶). به علاوه غلظت های بالای کادمیوم در بافت برگ به طور غیر مستقیم از طریق ایجاد اختلال متابولیکی، باعث تسهیل در ریزش برگ ها (واسیلیو و همکاران، ۱۹۹۷)، آسیب اکسیداتیو (سوماسککارو، ۱۹۹۲)، افزایش فعالیت کاتابولیک (عبدالباسط و همکاران، ۱۹۹۵) یا ناکافی بودن برخی عناصر ضروری نظیر Fe یا Mg (سیدلکا و کروپا، ۱۹۹۹)، بر میزان کلروفیل تاثیر می گذارد. جایگزینی یون Mg مرکزی در مولکول کلروفیل با کادمیوم می تواند مکانیسم دیگری در رابطه با تخریب کلروفیل باشد (درازیک و همکاران، ۲۰۰۶).

اثرات متعدد و متفاوت کادمیوم در مطالعات مختلف را می توان مربوط به گونه های مختلف گیاهی و تیمار های متفاوت کادمیوم در آزمایش ها دانست. از طرف دیگر، اثرات کادمیوم بر فعالیت های فتوسنتزی نیز بحث برانگیز است. نتایج برخی مطالعات حاکی از آن است که کادمیوم بازدارنده ای قوی برای فعالیت های فتوشیمیایی کلروپلاست ها، به ویژه فتوسیستم II می باشد (گریگر و اورگن، ۱۹۹۱). در مقابل، مطالعات دیگر نشان داده است واکنش های نوری فتوسنتز به تنش کادمیوم حساس نیستند (زالونتای، ۱۹۹۹). همچنین مشخص شده که روزنه ها و آنزیم های چرخه کالوین، اولین هدف هایی هستند که کادمیوم بر آنها تاثیر می گذارد (کروپا، ۱۹۹۹). تاکید می شود که تناقض در نتایج آزمایش های مربوط به اثرات کادمیوم روی ساختار های فتوسنتزی، احتمالا با شرایط آزمایش ها مرتبط باشد به طوری که اعمال تیمار کادمیوم از مطالعه ای به مطالعه دیگر متفاوت است (باریلا و همکاران، ۲۰۰۱).

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱- زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش

آزمایش در سال ۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود، واقع در شهر بسطام (کیلومتر ۸ جاده شاهرود- آزادشهر) اجرا شد. شهرستان شاهرود در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۶۶ متر است. منطقه بسطام دارای اقلیم سرد و خشک است. میانگین بارندگی سالانه در این منطقه بین ۱۵۰ تا ۱۶۰ میلی متر است و بارندگی ها عمدتاً در فصل پاییز و زمستان رخ می دهد. در سال زراعی ۹۰-۸۹ بارندگی در طی ماه های بهار و تابستان ناچیز بوده و در بهمن ماه به حداکثر خود رسید که مقدار آن ۲۳ میلی متر بود. حداقل و حداکثر دمای منطقه به ترتیب ۹/۶- و ۴۰ درجه سانتی گراد است.

۳-۲- خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش

نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری در جدول ۳-۱ نشان داده شده است.

۳-۳- مشخصات طرح آزمایشی

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در ۳ تکرار و به صورت گلدانی روی گیاه سویا انجام شد.

تیمارها عبارت از ۴ سطح قارچ میکوریزا شامل شاهد (a_1)، گلوموس موسه آ (a_2)، گلوموس اینترارادیس (a_3) و گلوموس فاسیکولاتوم (a_4) و ۴ سطح کادمیوم (به فرم نیترات کادمیوم) شامل صفر (b1)، ۲۰(b2)، ۴۰(b3) و ۶۰(b4) میلی گرم در کیلوگرم خاک بودند. جهت فراهم کردن تعداد بوته لازم برای آزمایش تعداد گلدان ها سه برابر در نظر گرفته شد. در مجموع ۱۶ ترکیب تیماری وجود داشت که در جدول ۳-۲ نشان داده شده است.

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

پارامتر های اندازه گیری شده	مقدار	واحد
درصد اشباع	۳۰/۶	درصد
هدایت الکتریکی	۸/۰۹	دسی زیمنس بر متر
اسیدیته گل اشباع	۷/۸۹	–
درصد مواد خنثی شونده	۲۷/۰	درصد
کربن آلی	۰/۷۹	درصد
نیتروژن کل	۰/۰۵۷	درصد
فسفر قابل جذب	۱۴/۰	پی پی ام
پتاسیم قابل جذب	۱۴۳/۰	پی پی ام
رس	۲۲/۴	درصد
سیلت	۴۴/۷	درصد
شن	۳۲/۹	درصد
درصد رطوبت	۱/۵	درصد
نسبت جذب سدیم	۴/۱	–
مجموع کاتیون ها	۸۱/۲	میلی اکی والان در لیتر
Na^{+}	۲۲/۲	میلی اکی والان در لیتر
Mg^{2+}	۲۶/۰	میلی اکی والان در لیتر
Ca^{2+}	۳۳/۰	میلی اکی والان در لیتر
مجموع آنیون ها	۸۰/۶	میلی اکی والان در لیتر
SO_4^{2-}	۲۸/۶	میلی اکی والان در لیتر
Cl^{-}	۴۷/۵	میلی اکی والان در لیتر
HCO_3^{-}	۴/۵	میلی اکی والان در لیتر
CO_3^{2-}	۰/۰	میلی اکی والان در لیتر
Cadmium	۰/۰۰۴	پی پی ام

جدول ۳-۲- ترکیبات تیماری مورد استفاده در آزمایش

عدم استفاده از قارچ و کادمیوم	a_1b_1
عدم استفاده از قارچ بهمراه کاربرد ۲۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	a_1b_2
عدم استفاده از قارچ بهمراه کاربرد ۴۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	a_1b_3
عدم استفاده از قارچ بهمراه کاربرد ۶۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	a_1b_4
استفاده از گونه ی گلوموس موسه آ و عدم استفاده از کادمیوم	a_2b_1
استفاده از گونه ی گلوموس موسه آ بهمراه کاربرد ۲۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	a_2b_2
استفاده از گونه ی گلوموس موسه آ بهمراه کاربرد ۴۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	a_2b_3
استفاده از گونه ی گلوموس موسه آ بهمراه کاربرد ۶۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	a_2b_4
استفاده از گونه ی گلوموس اینترارادیس و عدم استفاده از کادمیوم	a_3b_1
استفاده از گونه ی گلوموس اینترارادیس بهمراه کاربرد ۲۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	a_3b_2
استفاده از گونه ی گلوموس اینترارادیس بهمراه کاربرد ۴۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	a_3b_3
استفاده از گونه ی گلوموس اینترارادیس بهمراه کاربرد ۶۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	a_3b_4
استفاده از گونه ی گلوموس فاسیکولاتوم و عدم استفاده از کادمیوم	a4b1
استفاده از گونه ی گلوموس فاسیکولاتوم بهمراه کاربرد ۲۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	a4b2
استفاده از گونه ی گلوموس فاسیکولاتوم بهمراه کاربرد ۴۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	a4b3
استفاده از گونه ی گلوموس فاسیکولاتوم بهمراه کاربرد ۶۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک	a4b4

۳-۴- عملیات اجرایی

۳-۴-۱- آماده سازی گلدان ها برای کاشت و اعمال تیمارها

مقدار ۹ کیلوگرم خاک به صورت دو سوم خاک مزرعه و یک سوم پرلیت برای هر گلدان آماده گردید. خاک داخل هر گلدان به صورت لایه ای قرار گرفت (۵ لایه) و غلظت های مورد نظر کادمیوم (به صورت نیترات کادمیوم) در هوای آرام و با استفاده از افشانه به خاک افزوده و کاملا مخلوط گردید. در مرحله ی بعد مقدار ۳۰ گرم قارچ میکوریزا به هر گلدان اضافه شد.

۳-۴-۲- کاشت

عملیات کاشت در تاریخ ۲۱ تیر ۱۳۹۰ انجام شد. تعداد ۱۵ بذر از رقم DPX پس از آغشته شدن به باکتری به صورت دستی، در عمق ۱/۵ سانتی متری در هر گلدان کاشته شد. پس از سبز شدن و استقرار کامل بوته ها جهت دستیابی به تراکم مطلوب (۲۴ بوته در متر مربع) تعداد ۵ بوته در هر گلدان حفظ گردید. گلدان ها تا فرا رسیدن سرما در پاییز در محیط باز قرار داده شدند و پس از آن تا رسیدگی فیزیولوژیک به گلخانه منتقل شدند.

۳-۴-۳- داشت

در هفته ی اول بعد از کاشت آبیاری بصورت دستی و هر روز انجام شد، بعد از آن آبیاری هر ۳ روز یکبار انجام شد. علف های هرز رشد یافته در داخل گلدان ها به صورت دستی برداشته شدند. همچنین ۳ بار عمل سله شکنی سطح گلدان ها انجام شد.

۳-۴-۴- نمونه برداری

عمل نمونه برداری در ۲ مرحله انجام شد. مرحله ی اول زمانی که گلدان ها در بیرون از گلخانه قرار داشتند و ۸۳ روز پس از کاشت انجام شد. بعد از این مرحله با توجه به سرمای هوا و احتمال خطر سرمازدگی گلدان ها به داخل گلخانه برده شدند و مرحله ی دوم نمونه برداری در گلخانه و ۱۲۵ روز پس از کاشت انجام شد.

۳-۵- صفات زراعی و مرفولوژیک

۳-۵-۱- ارتفاع بوته

به هنگام برداشت، تعداد ۳ بوته از هرگلدان انتخاب و اقدام به اندازه گیری ارتفاع بوته بر حسب سانتی متر گردید. سپس از ارتفاع این بوته ها میانگین گرفته شد و عدد نهایی ثبت گردید.

۳-۵-۲- تعداد شاخه فرعی

تعداد شاخه های فرعی نیز در ۳ بوته انتخابی مورد شمارش قرار گرفته و میانگین گیری شدند.

۳-۵-۳- وزن خشک ساقه و برگ

پس از برداشت بوته ها برگ ها و ساقه ها جدا و در داخل پاکت قرار داده شدند و به مدت ۷۲ ساعت در آون با حرارت ۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. سپس نمونه ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ توزین شدند.

۳-۵-۴- وزن خشک ریشه

پس از قطع اندام های هوایی از گلدان ها، ریشه های مربوط به ۳ بوته در هر ترکیب تیماری و از هر تکرار (یک گلدان) بیرون آورده شد و بعد از شستشو به آزمایشگاه منتقل شدند و به مدت ۷۲

ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. سپس نمونه ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ توزین شدند.

۳-۶- صفات فیزیولوژیک

۳-۶-۱- کلروفیل

اندازه گیری کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه SPAD502 از ۵۳ روز پس از کاشت آغاز و برای ۴ هفته متوالی ادامه یافت.

۳-۶-۲- حجم ریشه

برای تعیین حجم ریشه ها، ابتدا استوانه ای مدرج با آب به حجم ۵۰۰ میلی لیتر رسانده شد سپس ریشه ها داخل آب قرار گرفتند میزان بالا آمدن آب حجم ریشه را نشان داد.

۳-۶-۳- سنجش میزان کادمیوم موجود در اندام هوایی

نمونه برداری برای اندازه گیری مقدار کادمیوم ذخیره شده در اندام هوایی ۸۲ روز بعد از کاشت صورت گرفت. برای این منظور از دستگاه ICP[۱] (مدل GBC Integra XL sequential ساخت کشور استرالیا) استفاده گردید. ICP یا طیف سنجی پلاسمای جفت شده القایی یک سیستم آنالیز عنصری است که نوع طیف بینی آن نشری و روش اتم سازی آن از طریق پلاسما صورت می گیرد. پلاسما مجموعه ای از الکترون ها و یون های مثبت گاز آرگون دارای انرژی بالا و دمایی در حدود ۱۰۰۰۰ درجه کلوین است. این محیط به وسیله امواج رادیویی با توان بالا ایجاد می شود. با تولید میدان مغناطیسی، الکترون ها و یون های پلاسما در محیطی مغناطیسی در مسیر های مدور با شتاب خیلی بالا به حرکت در می آیند. اتم های خنثی آرگون درون پلاسما در اثر برخورد با ذرات باردار در

[۱]- Inductively Coupled Plasma

حال حرکت، یونیزه شده و به این ترتیب بقای پلاسما ادامه می یابد. نمونه از میان یک مجرای باریک مکنده به وسیله جریان آرگون در پلاسما پخش و سپس انرژی الکترون ها و یون ها به نمونه منتقل و باعث اتمی شدن و برانگیختگی آن می شود. به این ترتیب پرتو هایی با طول موج های خاص عناصر موجود در محلول منتشر می شوند. موقعیت طول موج نشان دهنده نوع عنصر و شدت آن نشان دهنده مقدار عنصر موجود در نمونه است. دقت اندازه گیری عناصر در این سیستم در حد قسمت در میلیارد (ppb) است.

برای آماده سازی نمونه ها به یک گرم از نمونه پودر شده گیاه، ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک رقیق شده با آب مقطر (به نسبت ۱:۱) افزوده و روی هیتر با دمای ۹۵ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه حرارت داده شد (تمام این عملیات در زیر هود انجام شد). سپس به محلول قبلی ۵ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه شده و مجددا به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد قرار داده شد. این مرحله دو بار تکرار شد. در مرحله بعد ۲ میلی لیتر آب مقطر دو بار تقطیر و ۳ میلی لیتر آب اکسیژنه ۳۰٪ به محلول اضافه شد و به مدت ۵ الی ۶ دقیقه در همان دمای ۹۵ درجه سانتی گراد قرار گرفت. پس از گذشت مدت زمان لازم مجددا یک میلی لیتر آب اکسیژنه ۳۰٪ افزوده شد و محلول به مدت ۳ الی ۴ دقیقه در ۹۵ درجه سانتی گراد قرار گرفت. در مرحله آخر، ۵ میلی لیتر اسید کلریدریک و ۱۵ میلی لیتر آب دو بار تقطیر اضافه کرده و بعد از گذشت ۱۵ دقیقه محلول با کاغذ صافی واتمن ۱۲ صاف گردید. آنگاه حجم محلول در بالن حجمی ۵۰ میلی لیتری، با آب دو بار تقطیر به حجم رسانیده شد. محلول آماده شده برای قرائت توسط دستگاه ICP توسط دستگاه پمپ خلا[۱] و کاغذ سلولز استات ۰/۰۲ (کاغذ صافی مخصوص ICP) صاف شد.

۱ - Holder

۳-۶-۴- مقدار نسبی آب برگ[1]

مقدار نسبی آب برگ ۷۰ روز بعد از کاشت برحسب درصد اندازه گیری شد. برای این منظـور از هر ترکیب تیماری ۱ بوته به طور تصادفی انتخاب و یک بـرگ کـاملاً گسـترده و رشـد یافتـه قطـع گردید. بوته انتخاب شده به عنوان یک واحـد نمونـه‌گیـری در نظـر گرفتـه شـد و در یـک پوشـش پلاستیکی داخل فلاسک یخ به آزمایشگاه منتقل و با ترازوی بـا دقـت ۰/۰۰۱ وزن شـد (وزن تـر) و سپس به مدت ۲۴ ساعت (حبیبی، ۱۳۷۲) در آب مقطر و در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی گـراد قرار داده شد (کرامر، ۱۹۸۳). سپس آب روی آن با کاغذ صافی خشک شد و مجـدداً وزن شـد (وزن اشباع). پس از آن به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار داده شده و سپس وزن شد (وزن خشک). محاسبه مقدار نسبی آب برگ با استفاده از رابطه زیر صورت گرفت (توحیدلو، ۱۳۷۸).

مقدار نسبی آب برگ = {(وزن تر - وزن خشک) / (وزن اشباع - وزن خشک)} × ۱۰۰

۳-۶-۵- تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه

در انتهای فصل رشد سویا عمل تخلیه ی ریشه ها از گلدان ها انجام شد و سپس ریشـه هـا بـه آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه ابتدا ریشه ها با آب مقطر شستشو و سپس برای رنگ بـری در محلول KOH 10% به مدت ۲۰ دقیقه در بن ماری قرار داده شدند. در ادامه ریشه ها بـه مـدت ۲۰ دقیقه در آب اکسیژنه غوطه ور شدند. ریشه ها مجددا با آب مقطر شسته و به مـدت ۷۲ سـاعت در محلول کاتن بلو قرار گرفتند بعد از ۴۸ ساعت ریشه ها مجددا با آب مقطر شسته شـدند (فیلیپـز[2] و هایمن[3]، ۱۹۷۰). برای تعیین درصد کلونیزاسیون میکوریزایی ریشه ها از روش تلاقی خطوط مشبک استفاده شد(مک گونیگل[4] و همکاران، ۱۹۹۰). ریشه های رنگ آمیزی شده به طور تصادفی در داخل

۲- Leaf relative Water Content

۱. Philips

۲. Hyman

۳. McGonigle

داخل پتری دیش پخش شدند. سپس زیر لوپ آزمایشگاهی میزان همزیستی ریشه بر حسب طول ریشه همزیست تعیین شد. تعداد نقاطی از ریشه که با خطوط عمودی و افقی برخورد کرده بودند شمرده شدند. نقاطی از تلاقی که به قارچ آلوده بودند شمارش شدند و در نهایت از تقسیم این عدد بر کل برخوردها درصد طول ریشه همزیست با قارچ تخمین زده شد. این کار برای همه تیمارها با سه تکرار انجام گرفت.

۳-۶-۶- کلروفیل a و b

برای اندازه گیری کلروفیل a و b باید از نمونه های برگی تازه استفاده شود. برای این منظور از هر ترکیب تیماری ۳ بوته به طور تصادفی انتخاب و از هر بوته یک برگ کاملاً گسترده و پهن انتخاب شد. با توجه به حجم بالای کار این نمونه ها در فریزر نگهداری شدند. برای اندازه گیری در آزمایشگاه ابتدا از هر نمونه برگی ۰/۰۵ گرم تهیه شد. سپس نمونه را در ۱ سی سی استون ۸۰ درصد در یک لوله آزمایش قرار داده و با یک میله نمونه در لوله کاملاً له شد بعد به هر لوله ۴ سی سی استون اضافه گردید تا حجم به ۵ سی سی برسد. بعد از این مرحله لوله ها به مدت ۷۲ ساعت در یخچال در دمای ۴ درجه قرار گرفتند تا قسمت های مختلف از هم تفکیک شوند. بعد از اتمام این مراحل روشناور را جدا کرده و توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج های (۶۶۳ و۶۴۷) قرائت شد و با استفاده از روش(Lichtenthaler and welburn (1987 میزان رنگیزه های فتوسنتزی محاسبه شد. محاسبه ی کلروفیل a و b از روابط زیر صورت گرفت.

Ca= $۱۲/۲۵A_{۶۶۳} - ۲/۷۹۸A_{۶۴۷}$

Cb= $۲۱/۵۰A_{۶۴۷} - ۵/۱۰A_{۶۶۳}$

CT= Ca + Cb

Ca مقدار کلروفیل a، Cb مقدار کلروفیل b، CT مقدار کلروفیل کل

۳-۶-۷- پایداری غشاء

برای اندازه گیری پایداری غشاء از هر ترکیب تیماری ۳ تا ۴ برگ هم سن انتخاب گردید. سپس در آزمایشگاه به وسیله ی پانچ ۰/۱ گرم دیسک برگی تهیه گردید. نمونه ها داخل ۱۰ سی سی آب مقطر قرار گرفتند. از هر ترکیب تیماری ۲ نمونه تهیه شد. یک نمونه در آون در دمای ۴۰ درجه به مدت ۳۰ دقیقه و نمونه ی دیگر در دمای ۱۰۰ درجه به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفت. بعد از سپری شدن زمان مورد نیاز نمونه ها در دمای عادی اتاق قرار گرفتند تا به دمای ۲۵ درجه سانتی گراد برسند. سپس با استفاده از دستگاه EC متر مقدار EC محلول ها خوانده شد.پایداری غشاء با استفاده از رابطه ی زیر محاسبه گردید.

پایداری غشاء = (1-(a/b))*100   a =دمای ۴۰ درجه   b =دمای ۱۰۰ درجه

۳-۷- تجزیه و تحلیل داده ها

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزارهای SAS و MSTAT-C و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار EXCEL انجام شد. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت.

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- صفات مورفولوژیک

۴-۱-۱-ارتفاع بوته

ارتفاع بوته به طور معنی داری ($p < ۰/۰۱$) تحت تاثیر غلظت های کادمیوم قرار گرفت (جدول پیوست ۱). به طوری که بیشترین ارتفاع بوته در غلظت صفر کادمیوم (۴۳/۰۸ سانتی متر) و کمترین ارتفاع از غلظت ۶۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک (۳۳/۴۱ سانتی متر) به دست آمد و این در حالی بود که بین غلظت ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک (۳۶/۸۳ سانتی متر) و۴۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک (۳۸/۳۳ سانتی متر) از نظر آماری تفاوتی مشاهده نشد (جدول۴-۱).

این نتیجه تاییدی است بر نتایج به دست آمده توسط شانکر و همکاران (۲۰۰۵)، که بیان کردند عناصر سنگین که به بخش هوایی گیاه انتقال داده می شوند، به علت اختلال در سوخت و ساز سلولی بخش هوایی، ارتفاع گیاه را کاهش می دهند. شاه و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند کاهش رشد بخش هوایی درنتیجه تأثیر کادمیوم می تواند به علت کاهش میزان کلروفیل و فعالیت فتوسیستم I ایجاد گردد. همچنین کاهش ارتفاع گیاه در غلظت های بالای کادمیوم را می توان به علت تاثیر منفی کادمیوم بر فعالیت هورمون سیتوکینین دانست. این هورمون تأثیر به سزایی در تکثیر سلول و رشد گیاه دارد. علاوه بر این کاهش رشد ممکن است به طور کلی به علت از دست رفتن اتساع سلولی و نیز کاهش فعالیت میتوزی و یا مهار طویل شدن سلول ها باشد (شاه و همکاران، ۲۰۰۸). از طرفی کادمیوم در سلول ها از طریق تأثیر بر دیواره های سلولی و تیغه میانی و افزایش پیوند عرضی بین ترکیبات دیواره سلولی سبب مهار گسترش سلولی می شود (حسن و همکاران، ۲۰۰۶).

گونه های مختلف میکوریزا اثر معنی داری بر ارتفاع گیاه نداشتند (جدول پیوست ۱). این نتیجه با نتایج به دست آمده توسط محققین دیگر که بیان می کنند میکوریزا باعث افزایش ارتفاع گیاه می شود مطابقت ندارد. رضوانی و همکاران (۱۳۹۰) در طی تحقیقی روی دوسطح میکوریزا شامل عدم کاربرد و گونه ی اینترارادیس و ۵ سطح فسفات بر گیاه سویا به این نتیجه رسیدند که

کاربرد میکوریزا باعث افزایش معنی دار ارتفاع گیاه می شود. نتـایج دوپونـویس و همکـاران (۲۰۰۵) نیز نشان داد که گیاه آکاسیا تلقیح شده با میکوریزا و تیمار شده با سنگ فسـفات ارتفـاع بیشـتری نسبت به گیاهان تلقیح نشده داشتند. قارچ های میکوریزا به دلیل افـزایش سـطح جـذب ریشـه از طریق تشکیل هیف، سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی به وسیله گیاهان مـی شـوند ایـن عامـل باعث افزایش ارتفاع گیاهان میکوریزایی نسبت به گیاهان غیر میکوریزایی مـی شود(مارشـنر و دل، ۱۹۹۴).

۴-۱-۲- تعداد شاخه فرعی

تجزیه واریانس داده های حاصل از شمارش تعداد شاخه های فرعی حاکی از معنی دار بودن اثـر تیمارهای میکوریزایی ($p < ۰/۰۵$) و نیز اثر غلظت های کـادمیوم ($p < ۰/۰۱$) بـر ایـن صـفت بـود (جدول پیوست ۱).

جدول ۴-۱- مقایسه میانگین ارتفاع و تعداد شاخه فرعی تحت تاثیر گونه های مختلف میکوریزا و غلظت های کادمیوم

تیمار	ارتفاع گیاه (سانتی متر)	تعداد شاخه فرعی در بوته
گونه میکوریزا		
شاهد	۳۷/۱۶ a	۹/۰۰b
گلوموس موسه	۳۸/۵۰ a	۱۰/۴۱ ab
گلوموس اینترارادیس	۳۹/۸۳ a	۱۱/۵۰ a
گلوموس فاسیکولاتوم	۳۶/۱۶ a	۹/۵۰ b
غلظت کـادمیوم (میلـی گـرم در کیلـوگرم خاک)		
صفر	۴۳/۰۸ a	۱۲/۳۳ a
۲۰	۳۶/۸۳ bc	۹/۸۳ b
۴۰	۳۸/۳۳ b	۱۰/۶۶ b
۶۰	۳۳/۴۱ c	۷/۵۸ c
LSD 5%	۴/۴۸	۱/۶

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی دار می باشد.

بیشترین تعداد شاخه ی فرعی در گونه ی اینترارادیس مشاهده شد بـه طـوری کـه نسـبت بـه شاهد ۲۸ درصد بیشتر بود که این نشان دهنده ی تاثیر این گونه ی میکـوریزا بـر تعـداد شـاخه ی فرعی در سویا است (جدول۴-۱). در تیمار کادمیوم بیشترین تعداد شاخه ی فرعی در غلظـت صـفر کادمیوم و کمترین تعداد شاخه ی فرعی در غلظت ۶۰ کادمیوم دیده شـدکه نسـبت بـه شـاهد ۳۹ درصد کاهش نشان داد. این در حالی است که بین غلظت های ۲۰ و ۴۰ میلی گرم کادمیوم اختلاف آماری معنی داری وجود نداشت (جدول ۴-۱).

۴-۱-۳- وزن خشک ریشه

وزن خشک ریشه به طور بسیار معنی داری از تیمارهـای میکـوریزایی و غلظـت هـای مختلـف کادمیوم تاثیر پذیرفت. اثر متقابل میکوریزا در غلظت کادمیوم نیز بر این صفت بسیار معنـی دار بـود (جدول پیوست ۲).

بیشترین مقدار وزن خشک ریشه در گونه ی فاسیکولاتوم دیده شـد کـه نسـبت بـه شـاهد ۲۹ درصد افزایش داشت. این گونه احتمالا بدلیل سازگاری بیشتر با شرایط ادافیکی خـاک و نـوع گیـاه، توانایی بالاتری در همزیستی از خود نشان می دهد. میکوریزا به دلیل ایجاد شبکه ی گسـترده ای از هیف و میسیلیوم باعث افزایش سطح و بیوماس ریشه می شود.

افزایش میزان کادمیوم در خاک سبب کاهش فعالیت ریشـه و در نتیجـه کـاهش تجمـع مـاده خشک در ریشه گردید و به طور مشخص وزن خشک ریشه بوته های رشد کرده در غلظت ۶۰ میلی گرم کادمیوم نسبت به عدم وجود این عنصر ۲۲ درصد کمتر بود (جدول ۴-۲). نتایج بدست آمده با نتایج دیگر پژوهشگران مطابقت داشت. برادران و همکاران (۱۳۸۸) نشان دادنـد وزن خشـک ریشـه سویا تحت تاثیر فلز نیکل قرار گرفت به طوری که با افزایش غلظت این فلز وزن خشک ریشه کاهش

یافت. همچنین پیرسون و کرکهام (۱۹۸۱)، کاهش وزن ریشه با افزایش غلظت کادمیوم را در گیاه گندم گزارش کردند.

در مورد اثرات متقابل، بیشترین مقدار وزن خشک ریشه در غلظت صفر کادمیوم و گونه ی فاسیکولاتوم دیده شد که نسبت به شاهد ۸۳ درصد افزایش نشان داد. همچنین کمترین مقدار وزن خشک ریشه در غلظت ۴۰ کادمیوم و گونه ی اینترارادیس دیده شد که کاهش ۶۳ درصدی نسبت به شاهد داشت (شکل ۴-۱). به جز غلظت ۴۰ کادمیوم و گونه ی اینترارادیس مابقی ترکیبات تیماری در دو گونه ی موسه آ و اینترارادیس با افزایش غلظت کادمیوم موجب افزایش وزن خشک ریشه شدند. این اختلاف در وزن خشک ریشه بین گونه های مختلف بسته به گونه یا اکوتیپ قارچ و نیز میزان تحمل پذیری آن، همچنین بر هم کنش این گونه ها با فلز سنگین و بسیاری از فاکتورهای ناشناخته دیگر می تواند متفاوت باشد.

بسریل و همکاران (۲۰۰۲) در بررسی اثر قارچ های میکوریزی روی گیاه لوبیا در خاک های آلوده به عنصرکادمیوم نشان دادند که با افزایش کادمیوم به خاک، بیوماس و رشد ریشه گیاه کاهش می یابد ولی در حضور قارچ های میکوریزی کادمیوم اثر منفی معنی داری بر بیوماس ریشه گیاه ندارد.

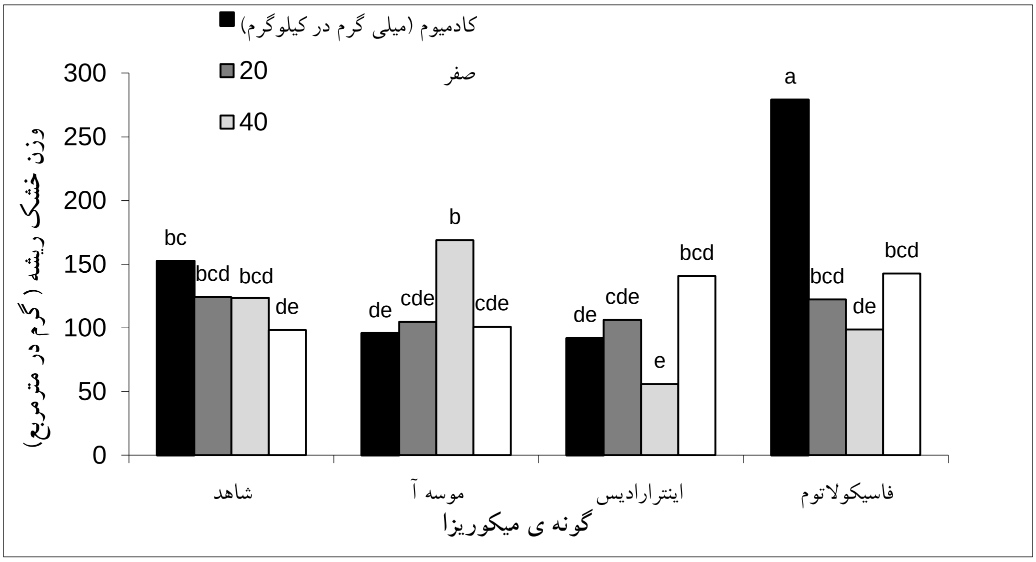
جدول ۴-۲- مقایسه میانگین وزن خشک ریشه، ساقه و برگ تحت تاثیر گونه های مختلف میکوریزا و غلظت های کادمیوم

تیمار	وزن خشک ریشه	وزن خشک ساقه		وزن خشک برگ	
		۸۳	۱۲۵	۸۳	۱۲۵ روز پس از کاشت
	گرم در متر مربع				
گونه میکوریزا					
شاهد	۱۲۴/۶۱ b	۵۳/۳۰	۱۸۳/۳۹ b	۶۷/۳۵ a	۲۵۱/۸۰ b
گلوموس موسه	۱۱۷/۵۸ bc	۴۳/۳۴	۱۸۸/۶۴ b	۶۲/۴۲ a	۲۵۰/۴۸ b
گلوموس اینترارادیس	۹۸/۶۲ c	۴۰/۹۶	۲۴۹/۷۱a	۶۹/۰۵ a	۳۸۹/۶۴ a
گلوموس فاسیکولاتوم	۱۶۰/۷۵ a	۵۱/۳۰	۲۵۸/۱۴ a	۷۵/۲۰ a	۳۵۳/۹۲ a
غلظت کادمیوم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)					
صفر	۱۵۴/۷۷ a	۷۶/۰۱ a	۲۹۴/۵۹ a	۱۱۰/۱۵ a	۳۹۰/۷۸ a
۲۰	۱۱۴/۴۰ b	۴۰/۵۰ b	۲۳۰/۵۷ b	۶۲/۴۴ b	۳۸۱/۳۴ ab
۴۰	۱۱۱/۷۹ b	۳۷/۴۴ b	۱۸۱/۰۹ c	۵۵/۰۴ bc	۲۹۳/۵۸ b
۶۰	۱۲۰/۵۹ b	۳۴/۹۴ b	۱۷۳/۶۳ c	۴۶/۳۸ c	۱۷۹/۹۶ c
LSD 5%	۲۵/۹۶	۱۰/۶۸	۳۶/۳۱	۱۵/۶۸	۹۰/۲۹

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی دار می باشد.

۴-۱-۴-وزن خشک ساقه

وزن خشک ساقه در نمونه برداری اول در سطح ۱ درصد تحت تاثیر غلظت های مختلف کادمیوم قرار گرفت (جدول پیوست ۲). افزایش غلظت کادمیوم از سطح شاهد به ۶۰ میلی گرم موجب کاهش ۵۴ درصدی وزن خشک ساقه گردید که این اختلاف معنی دار نیز بود اما بین سه غلظت ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کادمیوم از لحاظ آماری تفاوت معنی داری وجود نداشت (جدول ۴-۲). احتمالا کادمیوم از طریق تاثیر منفی بر فعالیت ریشه و اختلال در سایر فرآیندهای متابولیسمی باعث کاهش توده ی زنده و به طبع آن کاهش وزن خشک ساقه می شود.



شـــکل۴- ۱- مقایســـه وزن خشـــک ریشـــه تحـــت تـــاثیر ترکیبـــات تیمـــاری حاصـــل از گونـــه هـــای مختلف میکوریزا و غلظت های کادمیوم

اثر میکوریزا بر وزن خشک ساقه در مرحله ی اول نمونه برداری معنی دار نبود. بین گونه هـای مختلف نیز تفاوت معنی داری وجود نداشت. این نتیجه بـا نتیجـه ی بـه دسـت آمـده توسـط علـی اصغرزاد و همکاران (۲۰۰۶) مغایرت دارد. این پژوهشگران در آزمایشی اثـر قـارچ میکـوریزا را روی سویا مورد بررسی قرار دادند و مشخص گردید که قارچ میکوریزا به طور بسیار معنی داری موجـب افزایش وزن خشک ساقه شد.

مرحله ی دوم نمونه برداری به شدت تحت تاثیر تیمارهای میکوریزایی و غلظت هـای متفـاوت کادمیوم قرار گرفت (جدول پیوست۳). به طوری که تاثیر گونه های مختلف میکوریزا، غلظـت هـای کادمیوم و اثر متقابل میکوریزا و کادمیوم بر وزن خشک ساقه در سطح ۱ درصد معنی دار شدند. بـا توجه به جدول ۴-۲ افزایش معنی داری در وزن خشک ساقه در گونـه هـای مختلـف میکـوریزا بـه خصوص در گونه های اینترارادیس و فاسیکولاتوم نسبت به شاهد دیده می شود به طوری که در این دو گونه به ترتیب افزایش ۳۶/۱۶ و ۴۰/۷۶ درصدی نسبت به عدم مصرف قارچ دیده شد. این نتیجه تاییدی بر نتایج به دست آمده توسط علی اصغرزاد و همکاران (۲۰۰۶) و خـان (۲۰۰۶) اسـت. ایـن محققین بیان کردند که تلقیح سویا با قارچ میکـوریزا باعـث افـزایش وزن خشـک سـاقه مـی شـود.

تاجیک خاوه و همکاران (۱۳۹۰) بیان کردند که کاربرد همزمـان بـاکتری بـرادی ریزوبیـوم و قـارچ گلوموس موسه بر گیاه سویا باعث افزایش معنی دار وزن خشک ساقه می شود.

با توجه به جدول۴-۲ کاهش ۴۲ درصدی وزن خشک ساقه با افزایش غلظت کادمیوم از صفر به ۶۰ میلی گرم مشاهده می شود. در مورد اثر متقابل از بین ترکیبات تیماری مـورد مطالعـه از لحـاظ تاثیر بر وزن خشک ساقه اختلاف معنی داری بین شاهد و غلظت صفر کادمیوم و گونه های موسه آ، غلظت ۲۰ کادمیوم و گونه ی اینترارادیس و غلظت ۴۰ کادمیوم و گونه ی فاسیکولاتوم دیـده نشـد. این چهار ترکیب تیماری بیشترین میزان وزن خشک ساقه را به خود اختصاص دادند. این در حـالی است که کمترین میزان وزن خشک ساقه به غلظت ۶۰ کـادمیوم و عـدم مصـرف قـارچ، غلظـت ۴۰ کادمیوم و گونه ی موسه آ و غلظت ۴۰ کادمیوم و گونه ی اینترارادیس اختصاص پیدا کرد. با افزایش غلظت کادمیوم در صورت عدم حضور قارچ و گونه ی موسه آ کاهش در وزن خشک سـاقه مشـاهده گردید ولی در حضور قارچ به خصوص دو گونه ی اینترارادیس و فاسیکولاتوم افزایش نسـبی در وزن خشک ساقه دیده شد (شکل ۴-۲). احتمالا این افزایش به دلیل وجود هیف های میکـوریزایی اسـت که قادر به نگهداری فلز در خود هستند و از انتقال آن به داخل گیاه جلوگیری می کننـد. همچنـین نتایج نشان می دهد که عموماً کاهش وزن خشک ریشه و ساقه در گیاهـان میکـوریزایی کمتـر از گیاهان شاهد است. بنابراین می توان رشد بهتر گیاهان میکوریزایی را مربوط بـه بهبـود وضـعیت تغذیه ای گیاه و دسترسی آن به عناصر غذایی دانست (هورست، ۲۰۰۴).

شکل۴- ۲- مقایسه وزن خشک ساقه ۱۲۵ روز پس از کاشت (نمونه برداری دوم) تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از گونه های مختلف میکوریزا و غلظت های کادمیوم

۴-۱-۵-وزن خشک برگ

اثر غلظت های کادمیوم ($p < ۰/۰۱$) و نیز اثرات متقابل قارچ و کادمیوم ($p < ۰/۰۵$) در اولین نمونه برداری وزن خشک برگ معنی دار شدند (جدول پیوست۲). با افزایش غلظت کادمیوم از صفر به ۶۰ میلی گرم کاهش شدیدی معادل ۵۸/۲ درصد در وزن خشک برگ دیده شد (جدول ۴-۲). کادمیوم از طریق تاثیر منفی بر میزان کلروفیل برگ باعث کاهش فتوسنتز می شود.

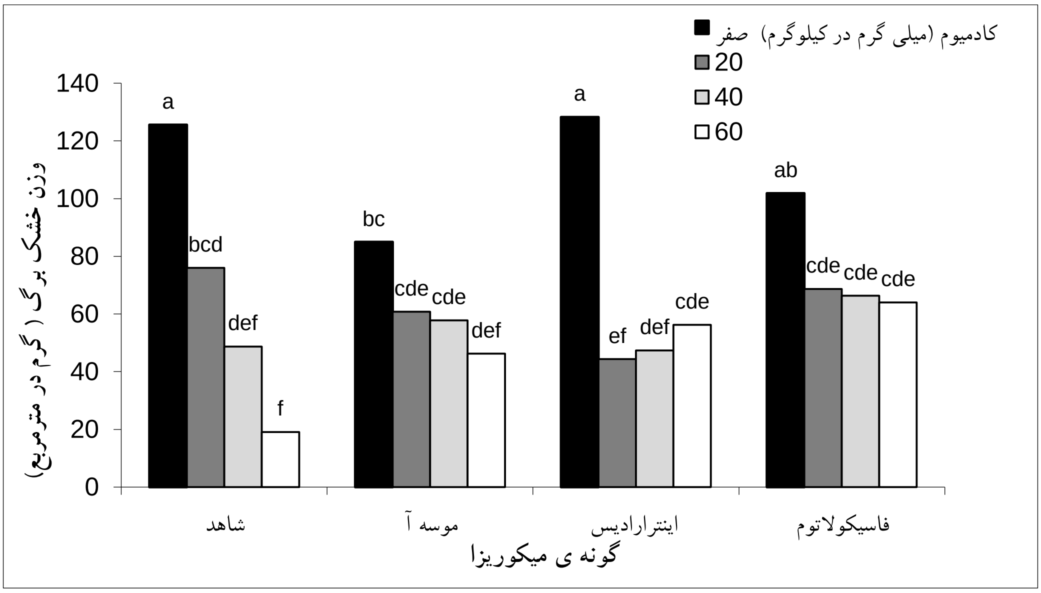
اثر میکوریزا بر وزن خشک برگ در مرحله ی اول معنی دار نبود (جدول ۴-۲). این نتیجه با نتیجه ی بدست آمده توسط آنتونس(۲۰۰۴) که بیان می کند افزایش فتوسنتز گیاهان میکوریزایی به انواع غیرمیکوریزایی باعث افزایش وزن خشک برگ می شود، همخوانی ندارد. علت این افزایش تولید هورمون های محرک رشد گیاه توسط قارچ میکوریزای آرباسکولار بیان شد.

اثر متقابل قارچ میکوریزا و کادمیوم نیز بر وزن خشک برگ نمونه برداری اول در سطح ۵ درصد معنی دار شد (جدول ۴-۲). بطوری که مقادیر بالایی از وزن خشک برگ در شرایط شاهد و نیز عدم کادمیوم و حضور گونه ی اینترارادیس مشاهده شد که البته اختلاف معنی داری با ترکیب تیماری

کادمیوم صفر و گونه ی فاسیکولاتوم نداشت. با توجه به نتایج به دست آمده به نظر می رسد گونه ی فاسیکولاتوم موفق تر از دو گونه ی دیگر میکوریزا در مهار تنش کادمیوم عمل کرده است. چرا که در هر سه غلظت ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کادمیوم وزن خشک برگ بیشتری در حضور گونه فاسیکولاتوم بدست آمد (شکل ۴-۳).

با افزایش غلظت کادمیوم و تجمع زیاد کادمیوم در برگ ها گیاه دچار تنش فتوسنتزی شده و وزن خشک برگ ها کاهش پیدا می کند. از طرفی میکوریزا با افزایش فتوسنتز تا حدودی از شدت خسارت ناشی از کادمیوم کم می کند. با توجه به این موارد کاهش میزان وزن خشک در حضور قارچ کمتر از کاهش در عدم حضور قارچ بوده است.

اثر تیمارهای میکوریزایی ($p < ۰/۰۱$) و غلظت های کادمیوم ($p < ۰/۰۱$) و نیز اثرات متقابل قارچ و کادمیوم ($p < ۰/۰۵$) در دومین نمونه برداری وزن خشک برگ معنی دار شدند (جدول پیوست ۳). در این مرحله وزن خشک برگ در حضور گونه های اینترارادیس و فاسیکولاتوم به ترتیب افزایش ۵۴/۷ و ۴۰/۵۵ درصدی نسبت به شاهد داشت. این نتیجه با نتایج به دست آمده توسط آلن (۲۰۰۳) و آنتونس(۲۰۰۴) مطابقت دارد. این دانشمندان علت افزایش وزن خشک برگ را تولید هورمون های محرک رشد گیاه توسط قارچ میکوریزای آرباسکولار و افزایش فتوسنتز بیان کردند. همچنین با افزایش غلظت کادمیوم از صفر به ۶۰ میلی گرم کاهش ۵۴ درصدی در وزن خشک برگ مشاهده گردید (جدول ۴-۲). در مورد اثر متقابل همان طور که در شکل ۴-۴ مشاهده می شود اختلاف معنی داری بین شاهد، غلظت ۲۰ کادمیوم و گونه ی موسه آ، غلظت های صفر و ۲۰ کادمیوم و گونه ی اینترارادیس و غلظت صفر کادمیوم و گونه ی فاسیکولاتوم مشاهده نشد. همانند نمونه برداری مرحله ی اول با افزایش غلظت کادمیوم کاهش در میزان وزن خشک برگ در همه ی تیمار های میکوریزایی مشاهده شد که این کاهش در حضور قارچ کمتر از کاهش در عدم حضور قارچ بوده است. با توجه به شکل به نظر می رسد گونه ی اینترارادیس در مهار تنش کادمیوم موفق تر از دو گونه ی دیگر عمل کرده است (شکل ۴-۴).

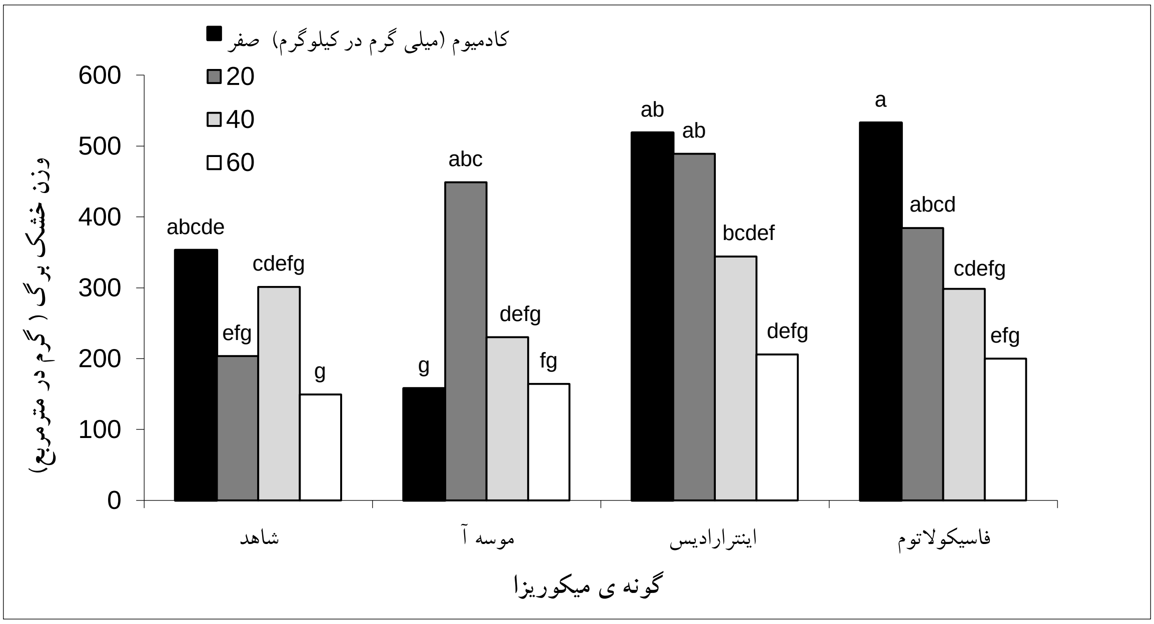


شکل۴- ۳- مقایسه وزن خشک برگ ۸۳ روز پس از کاشت (نمونه برداری اول)تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از گونه های مختلف میکوریزا و غلظت های کادمیوم

۴-۱-۶- سطح برگ

تجزیه واریانس نتایج حاصل از سطح برگ در نمونه برداری اول حاکی از معنی دار بودن اثر غلظت های کادمیوم ($p < ۰/۰۵$) و نیز اثر متقابل میکوریزا و کادمیوم ($p < ۰/۰۱$) بر این صفت بود (جدول پیوست ۴). با توجه به جدول ۴-۳ تنها در غلظت ۲۰ میلی گرم کادمیوم کاهش ۲۳/۵ درصدی و معنی دار نسبت به شاهد در سطح برگ دیده شد. در حالی که سطح برگ ثبت شده در دو سطح دیگر کادمیوم اختلاف معنی داری با شاهد نداشتند.

در مورد اثر متقابل اختلاف معنی داری بین غلظت صفر کادمیوم و عدم مصرف قارچ، گونه ی موسه آ و اینترارادیس، غلظت ۲۰ کادمیوم و گونه موسه آ، غلظت ۴۰ کادمیوم و عدم مصرف قارچ و غلظت ۶۰ کادمیوم و عدم مصرف قارچ وگونه ی فاسیکولاتوم دیده نشد (شکل ۴-۵). در مابقی ترکیبات تیماری کاهش در مقدار سطح برگ مشاهده شد. با افزایش غلظت کادمیوم تنها گونه ی فاسیکولاتوم افزایش در میزان سطح برگ نشان داد. احتمالا این گونه مقاومت بیشتری را به تنش کادمیوم در گیاه نسبت به ۲ گونه ی دیگر ایجاد نمود.



شکل۴- ۴- مقایسه وزن خشک برگ ۱۲۵ روز پس از کاشت (نمونه برداری دوم) تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از گونه های مختلف میکوریزا و غلظت های کادمیوم

در دومین نمونه برداری از سطح برگ اثر تیمارهای میکوریزایی، غلظت های کادمیوم و اثر متقابل میکوریزا در کادمیوم در سطح ۱ درصد معنی دار شدند (جدول پیوست ۴). با توجه به جدول ۴-۳ در این مرحله افزایش سطح برگ در گیاهان تلقیح شده با قارچ نسبت به گیاهان شاهد دیده شد. بیشترین مقدار سطح برگ مربوط به گونه ی اینترارادیس بود که نسبت به شاهد افزایش ۱۵۵ درصدی داشت. در مطالعه ی گیو و همکاران (۲۰۰۶) با تلقیح قارچ گلوموس موسه آ به گیاه ریحان نشان دادند که سطح برگی گیاهان تیمار شده با قارچ نسبت به گیاهان شاهد به طور معنی داری افزایش یافت. همچنین شریفی و همکاران (۱۳۸۹) با آزمایش بر دو کولتیوار ریحان شامل ریحان سبز و بنفش و همچنین دو سطح قارچ شامل شاهد و گلوموس اتونیکاتوم به این نتیجه رسیدند که سطح برگ گیاهان میکوریزایی ریحان های سبز و بنفش به ترتیب ۷۵ و ۸۰ درصد بیشتر از گیاهان شاهد بود. بهبود جذب عناصر معدنی در گیاهان میزبان اغلب منجر به پاسخ های رشدی مثبت در این گیاهان می شود که عمدتاً در سطح اندام هوایی گیاه آشکار است.

کادمیوم باعث کاهش گسترش برگ می شود نتایج حاصل از این تحقیق در این مرحله نیز موید این موضوع است زیرا در گیاهان تحت تنش، کاهش در مقدار سطح برگ نسبت به گیاه شاهد مشاهده شد. در این مرحله از نمونه برداری با افزایش غلظت کادمیوم کاهش شدیدی در سطح برگ مشاهده شد به نحوی که با افزایش غلظت از صفر میلی گرم به ۶۰ میلی گرم کاهش ۳۹ درصدی در سطح برگ دیده شد (جدول ۴-۳).

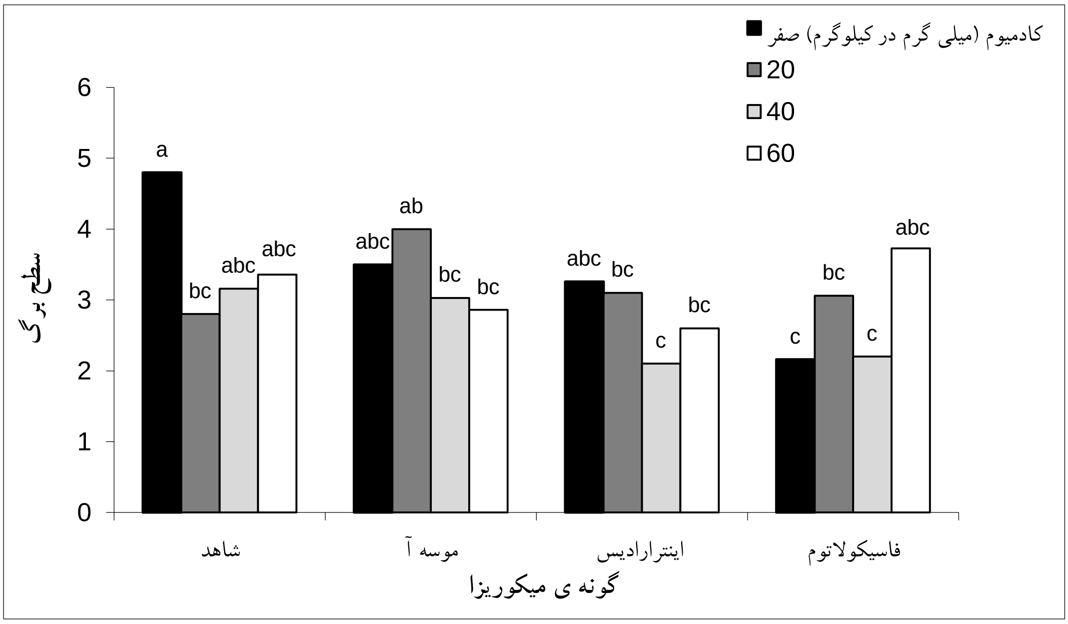
تیمار	**سطح برگ**	
	۸۳	**۱۲۵** روز پس از کاشت
گونه میکوریزا		
شاهد	۳/۳۰	۱/۲۳ c
گلوموس موسه	۳/۳۳	۱/۴۵ bc
گلوموس اینترارادیس	۳/۷۱	۳/۱۴ a
گلوموس فاسیکولاتوم	۳/۲۱	۱/۶۵ ab
غلظت کادمیوم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)		
صفر	۳/۷۰ a	۱/۷۹ a
۲۰	۲/۸۳ b	۳/۲۱ a
۴۰	۳/۷۸ a	۱/۳۸ b
۶۰	۳/۲۴ ab	۱/۰۹ c
LSD 5%	۰/۶	۰/۲۴

جدول ۴-۳- مقایسه میانگین سطح برگ گیاه تحت تاثیر تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

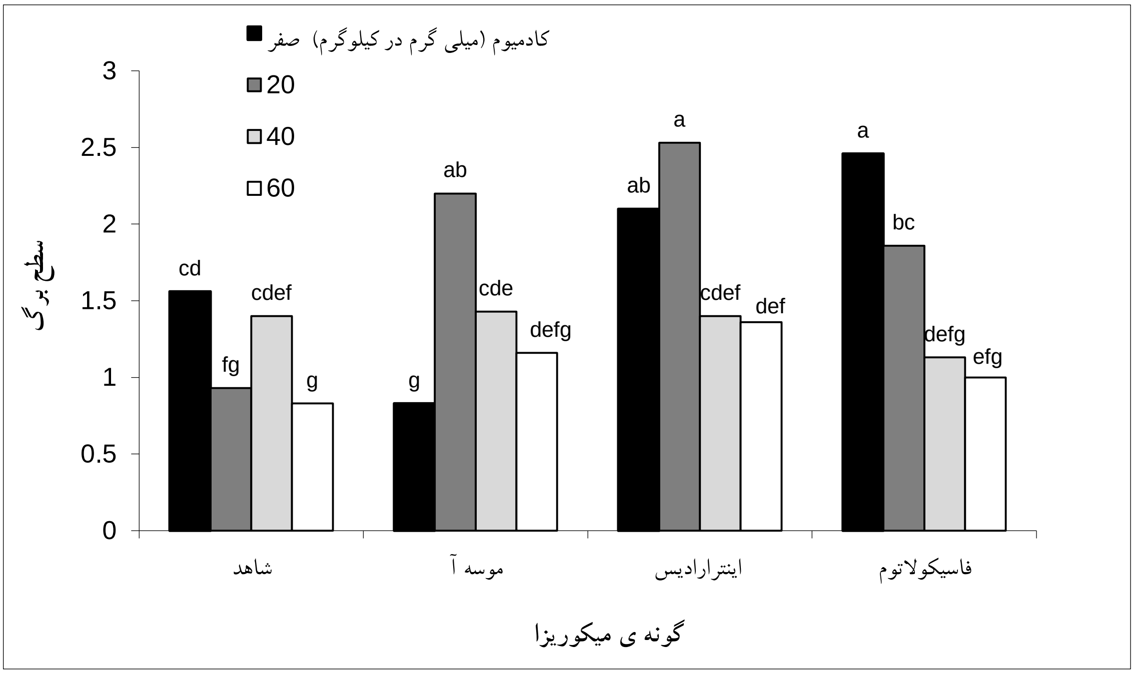
حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی دار می باشد.

در مورد اثر متقابل همان طور که در شکل ۴-۶ دیده می شود بیشترین مقدار سطح برگ مربوط به غلظت ۲۰ کادمیوم و گونه ی اینترارادیس بود که البته اختلاف معنی داری با ترکیبات تیماری صفر کادمیوم و گونه های اینترارادیس و فاسیکولاتوم و غلظت ۲۰ کادمیوم و گونه ی موسه آ نداشت. به نظر می رسد با افزایش غلظت کادمیوم گونه ی اینترارادیس در همه ی ترکیبات تیماری مقادیر بالاتری از سطح برگ را به خود اختصاص داده است. این گونه احتمالا در مراحل پایانی رشد سویا نسبت به دو گونه ی دیگر مقاومت بیشتری را به تنش کادمیوم از خود نشان می دهد. میکوریزا

از طریق بهبود شرایط تغذیه ای و افزایش فتوسنتز باعث افـزایش سـطح بـرگ مـی شـود از طرفـی کادمیوم باعث کاهش گسترش سطح برگ می شود. در اثر متقابـل دو تیمـار، گونـه ی اینتـرارادیس توانست تا حدودی از اثرات مخرب ناشی از کادمیوم بکاهد. بـه طـور کلـی کـاهش معنـی داری در میزان سطح برگ در دومین نمونه برداری نسبت به نمونه برداری اول مشاهده می شود (جـدول ۴-۳). که این کاهش احتمالا بدلیل تجمع کمتر ماده خشک در انتهای فصل رشد در برگ ها و انتقـال بیشتر مواد فتوسنتزی به بخش زایشی گیاه و پیری و ریزش برگ ها در اواخر فصل رشد می باشد.



شـکل۴- ۵- مقایسـه سـطح بـرگ گیـاه ۸۳ روز پـس از کاشـت (نمونـه بـرداری اول)تحـت تـاثیر ترکیبات تیماری حاصل از تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم



شـــکل۴- ۶- مقایســـه ســـطح بـــرگ گیـــاه ۱۲۵ روز پـــس از کاشـــت (نمونـــه بـــرداری دوم)تحـــت تـــاثیر ترکیبات تیماری حاصل از تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

۴-۲- صفات فیزیولوژیک

۴-۲-۱-مقدار نسبی آب برگ

مقدار نسبی آب برگ در اولین نمونه برداری (۸۳ روز پس از کاشت) برحسب درصد اندازه گیری شد. تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم تاثیر معنی داری بر مقدار نسبی آب برگ نداشتند

(جدول پیوست ۵). بر اساس منابع موجود چنانچه مقدار نسبی آب بین ۷۰ تا ۱۰۰ درصد باشد، تنش وارده به گیاه جزئی بوده و به دلیل بسته شدن روزنه ها کاهش موقتی در فتوسنتز رخ می دهد که به سرعت قابل برگشت است ولی اگر مقدار آب نسبی بین ۳۵ تا ۷۰ درصد باشد تنش وارده به حدی است که ظرفیت فتوسنتزی برگ به ویژه در شدت های بالای نور کاهش قابل توجهی پیدا می کند و این وضعیت فقط با آب گیری مجدد و به کندی بهبود می یابد. در مقادیر پایین تر از ۳۵ درصد صدمه وارده به دستگاه فتوسنتزی غیرقابل برگشت است (کافی و مهدوی دامغانی، ۱۳۸۱).

۴-۲-۲-حجم ریشه

حجم ریشه به طور بسیار معنی داری از غلظت های مختلف کادمیوم تاثیر پذیرفت. اثر متقابل قارچ میکوریزا در کادمیوم نیز بر این صفت معنی دار بود (جدول پیوست ۵).

با عنایت به جدول ۴-۴ مشاهده می شود که با افزایش غلظت کادمیوم کاهش معنی داری در حجم ریشه رخ داد. به طوری که با افزایش غلظت کادمیوم از صفر به ۴۰ و ۶۰ میلی گرم به ترتیب کاهش ۳۱ و ۱۶ درصدی در حجم ریشه مشاهده شد (جدول ۴-۴). در مورد اثر متقابل با توجه به شکل ۴-۷ مشاهده می شود که بیشترین حجم ریشه مربوط به تیمارهای ۲۰ کادمیوم و عدم مصرف قارچ، غلظت های صفر و ۶۰ کادمیوم و گونه ی موسه آ، غلظت های صفر و ۲۰ کادمیوم و گونه ی اینترارادیس و غلظت های ۴۰ و ۶۰ کادمیوم و گونه ی فاسیکولاتوم است.کمترین حجم ریشه مربوط به غلظت ۴۰ کادمیوم و عدم مصرف قارچ، غلظت های ۲۰ و ۴۰ کادمیوم و گونه ی موسه آ، غلظت ۶۰ کادمیوم و گونه ی اینترارادیس است. با افزایش غلظت کادمیوم در شرایط استفاده از گونه ی اینترارادیس کاهش در حجم ریشه رخ داد. در مابقی ترکیبات تیماری با افزایش غلظت کادمیوم افزایش نسبی در حجم ریشه رخ داد. این افزایش حجم به دلیل ایجاد رشته های میسیلیوم و هیف توسط قارچ میکوریزا می باشد.

جدول ۴-۴- مقایسه میانگین حجم ریشه تحت تاثیر تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

تیمار	حجم ریشه (میلی لیتر)
گونه میکوریزا	
شاهد	۴۳/۷۵
گلوموس موسه	۴۲/۳۷
گلوموس اینترارادیس	۴۸/۵a
گلوموس فاسیکولاتوم	۵۱/۲۵
غلظت کادمیوم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	
صفر	۵۵/۰۴ a
۲۰	۴۶/۵۸ b
۴۰	۳۸/۰۰ c
۶۰	۴۶/۲۵ b
LSD 5%	۷/۴۵

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی دار می باشد.

شکل۴- ۷- مقایسه حجم ریشه تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

بسریل و همکاران (۲۰۰۲) در بررسی اثر قارچ های میکوریزی بر گیاه لوبیا در خاک های آلوده به عنصرکادمیوم نشان دادند که با افزایش کادمیوم به خاک، بیوماس و رشد ریشه گیاه کاهش می یابد ولی در حضور قارچ های میکوریزی کادمیوم اثر منفی معنی دار بر بیوماس گیاه ندارد.

۴-۲-۳- کلروفیل

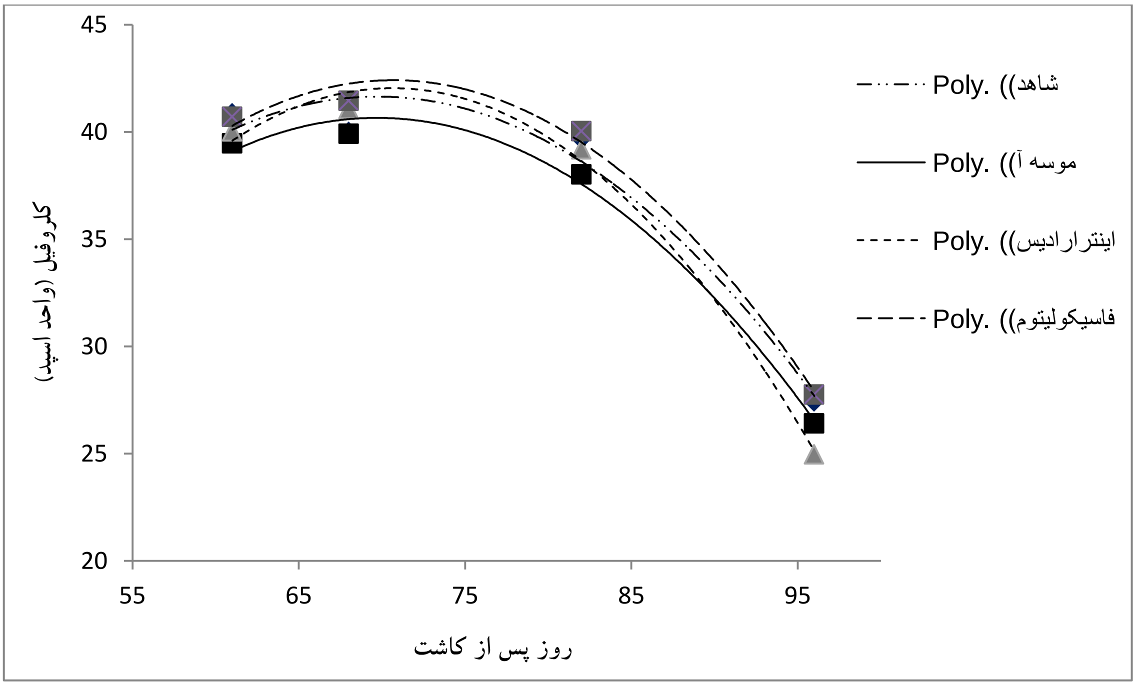
تجزیه داده های حاصل از اندازه گیری کلروفیل طی ۶۱، ۶۸، ۸۲ و ۹۶ روز پس از کاشت نشان داد که اثر میکوریزا و تنش کادمیوم بر میزان کلروفیل برگ معنی دار نبود به جز در ۶۱ روز پس از کاشت که اثر کادمیوم بر این صفت در سطح ۱ درصد معنی دار بود (جدول پیوست ۶). فقط در غلظت ۶۰ میلی گرم کادمیوم پس از گذشت ۶۱ روز از کاشت کاهش معنی داری در مقدار کلروفیل دیده شد (شکل ۴-۸). مطالعه روند تغییرات کلروفیل بین تیمار های مختلف میکوریزا نشان می دهد که بیشترین مقدار کلروفیل تقریبا تا اواخر دوره رشدی گیاه در گونه ی فاسیکولاتوم مشاهده شد (شکل ۴-۹).

مقایسه روند تغییرات کلروفیل بین تیمارهای مختلف کادمیوم حاکی از برتری میزان کلروفیل برگ در عدم مصرف کادمیوم تا حدود ۶۱ روز پس از کاشت بود بعد از این مدت بیشترین مقدار کلروفیل تا اواخر دوره رشد در غلظت ۲۰ میلی گرم کادمیوم مشاهده شد (شکل ۴-۱۰).

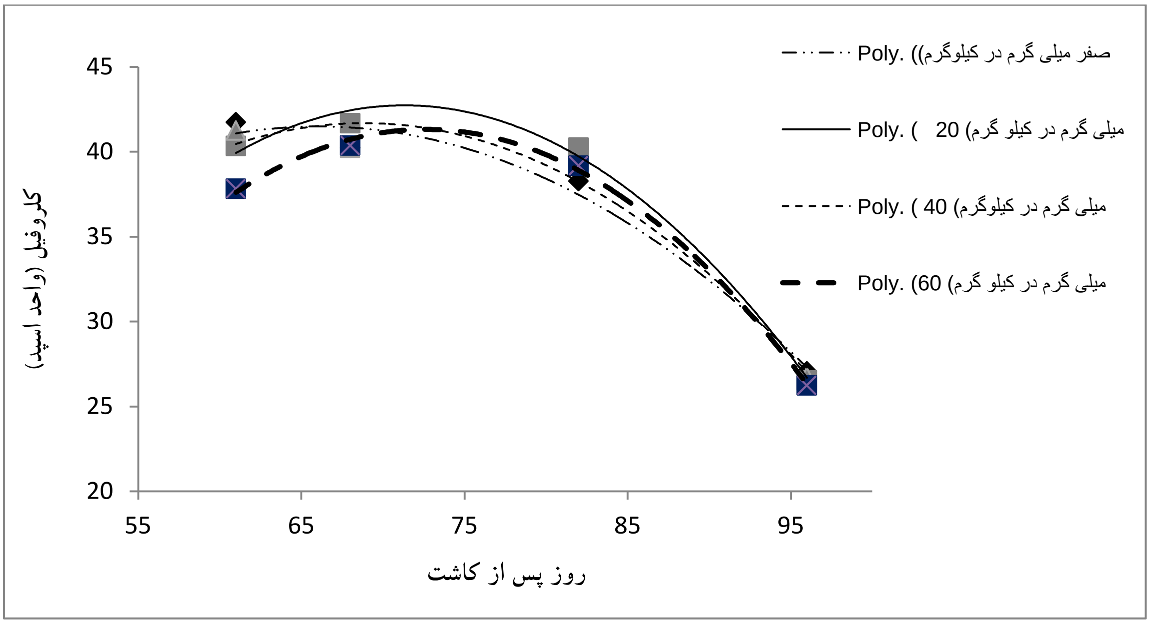
استفاده از قارچ میکویزا باعث افزایش مقدار کلروفیل برگ و افزایش فتوسنتز می شود. همان طوری که در مشاهده می شود افزایش بسیار جزیی در مقدار کلروفیل در گیاهان میکوریزی نسبت به غیر میکوریزی مشاهده می شود. بررسی آلن و همکاران (۱۹۸۱)، گما و همکاران (۱۹۹۷) و دمیر (۲۰۰۴) نیز افزایش محتوای کلروفیل برگ گیاه در پاسخ به تلقیح با قارچ VAM را نشان داد. همچنین این دانشمندان گزارش کردند که همزیستی قارچ با گیاه می تواند فتوسنتز را از طریق سازگاری های ریختی نظیر افزایش سطح برگ گیاه میزبان بهبود بخشد. بهبود جذب عناصر معدنی در گیاهان آغشته به قارچ اغلب منجر به پاسخ های رشدی مثبت در این گیاهان می شود که عمدتاً در سطح اندام هوایی گیاه آشکار است. با افزایش سطح برگ میزان فتوسنتز و به دنبال آن میزان کلروفیل در گیاه افزایش می یابد.

شکل۴- ۸- تغییرات کلروفیل تحت تاثیر غلظت های کادمیوم ۶۱ روز پس از کاشت

همچنین نتایج تحقیقات دیگر نشان داد که مقدار کلروفیل با افزایش غلظت کادمیوم کـاهش می یابد. کاهش ذخیره کلروفیل در برگ ها به علت مهار مراحـل مختلـف بیوسـنتز کلروفیـل اسـت (هگدوس و همکاران، ۲۰۰۱). مهار بیوسنتز کلروفیل احتمالاً بواسطه مهار سنتز δ − آمینولوولنیک اسید و مهار تشکیل پروتوکلروفیلد رداکتاز می باشد. این کاهش همچنین بـه علـت فعالیـت آنـزیم های تخریب کننده ی کلروفیل است (واسیلف و همکـاران، ۱۹۹۷). همچنـین سـلطانی و همکـاران (۱۳۸۵) در آزمایشی تاثیر ۵ سطح کلرید کادمیوم شامل صفر، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ میکرومولار را بر گیاه کلزا بررسی کردند. نتیجه این تحقیق نشان داد که کـادمیوم در غلظـت ۲۰۰ میکرومـولار تاثیر چندانی بر مقدار کلروفیل ندارد اما در غلظت های ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ میکرومولار نسبت به گیاه شاهد مقدار کلروفیل کاهش چشمگیری نشان داد.



شکل ۴- ۹- روند تغییرات کلروفیل تحت تاثیر تیمارهای میکوریزایی



شکل ۴- ۱۰- روند تغییرات کلروفیل تحت تاثیر غلظت های مختلف کادمیوم

۴-۲-۳-۱- کلروفیل a

تاثیر گونه های میکوریزا در سطح ۱ درصد و غلظت های کادمیوم در سطح ۵ درصد بر میزان کلروفیل a معنی دار شد (جدول پیوست ۷). در بین گونه های میکوریزا، گونه ی موسه آ بیشترین تاثیر را بر میزان کلروفیل a داشت. به طوری که نسبت به شاهد افزایش ۳۲/۱۸ درصدی را نشان داد.

هر چند میزان کلروفیل a در گونه های اینترارادیس و فاسیکولاتوم بیشتر از شاهد بود اما بین این دو گونه با شاهد تفاوت معنی داری مشاهده نشد (جدول ۴-۵). تاسانگ و مایوم (۱۹۹۹) گزارش کردند که گیاه *Strophostyles helvala* تلقیح شده با گونه *G. Mosseae* به طور معنی داری وزن خشک اندام هوایی، ریشه و کلروفیل بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی داشت. همچنین در فلفل تلقیح شده با قارچ *G. Intraradices* کلروفیل a و b به طور معنی داری نسبت به گیاهان غیرمیکوریز ایی افزایش یافت (دمیر ۲۰۰۴). همچنین آقابابایی (۱۳۸۸) بیان کرد که افزایش میزان کلروفیل برگ ها در اثر هم زیستی میکوریزایی می تواند به دلیل افزایش جذب فسفر از خاک توسط

این قارچ ها باشد. نتایج نشان می دهد که افزایش فسفر قابل جذب در خاک می تواند به میزان قابل توجهی باعث افزایش غلظت کلروفیل a (۲۸٪) و کلروفیل b (۱۹٪) گردد.

جدول ۴-۵- مقایسه میانگین کلروفیل a و b و کل تحت تاثیر تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

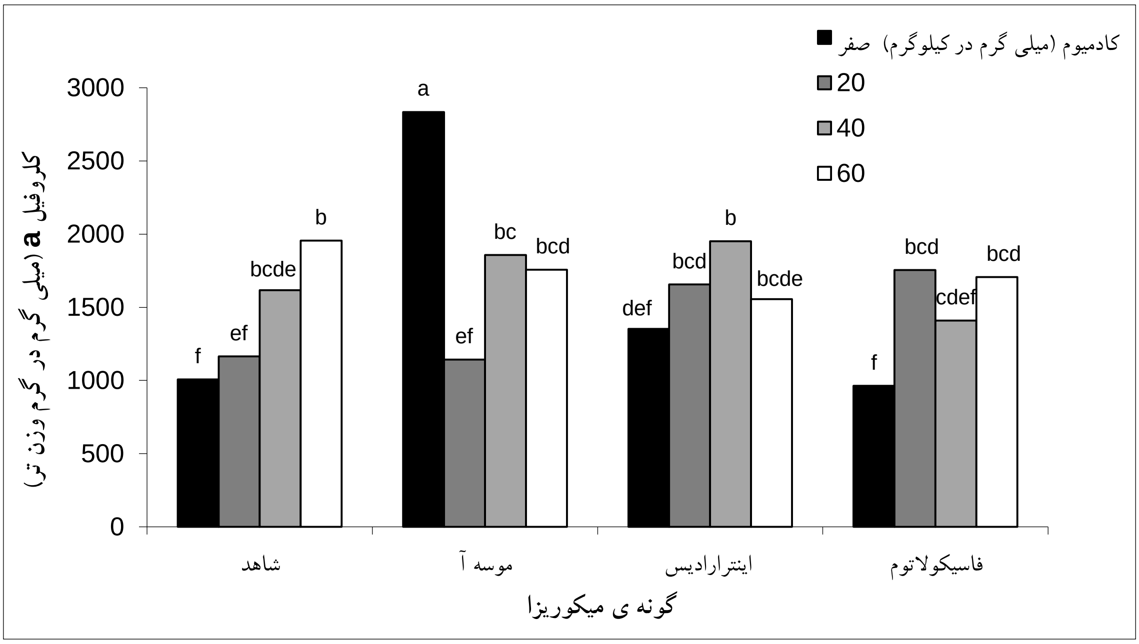
تیمار	**کلروفیل a (میلی گرم در گرم وزن تر)**	**کلروفیل b (میلی گرم در گرم وزن تر)**	**کلروفیل کل (میلی گرم در گرم وزن تر)**
گونه میکوریزا			
شاهد	۱۴۳۶/۰ b	۱۲۳۷/۰	۲۶۷۳/۰
گلوموس موسه	۱۸۹۸/۲ a	۱۱۵۶/۸	۳۰۵۵/۰
گلوموس اینترارادیس	۱۶۲۹/۱ b	۱۲۴۱/۸	۲۸۷۰/۹
گلوموس فاسیکولاتوم	۱۴۵۸/۵ b	۱۱۵۶/۳	۲۶۱۴/۹
غلظت کادمیوم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)			
صفر	۱۵۴۰ ab	۹۶۳/۴ b	۲۵۰۳/۳ b
۲۰	۱۴۲۹/۸ b	۱۲۸۵/۳ a	۲۷۱۵/۱ ab
۴۰	۱۷۰۹ a	۱۳۶۹/۶ a	۳۰۷۸/۷ a
۶۰	۱۷۴۳ a	۱۱۷۳/۷ ab	۲۹۱۶/۷ a
LSD 5%	۲۴۵/۴۸	۲۱۴/۵۱	۳۸۳/۸۷

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی دار می باشد.

در مورد تاثیر کادمیوم با افزایش غلظت به میزان ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم کاهش در میزان کلروفیل a مشاهده شد اما با افزایش غلظت به ۴۰ و ۶۰ میلی گرم افزایش در میزان کلروفیل a مشاهده شد. با توجه به جدول ۴-۵ بیشترین میزان کلروفیل a در غلظت ۶۰ میلی گرم دیده می شود که نسبت به عدم اعمال تیمار افزایش ۱۳ درصدی نشان می دهد. این در حالی است که بررسی ها نشان داده است که کادمیوم سبب کاهش مقدار کلروفیل کل، کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها در گیاهان عالی می شود (سینگ و میر، ۱۹۹۸).

اثر متقابل میکوریزا و کادمیوم بر میزان کلروفیل a نیز در سطح ۱ درصد معنی دار شد (جدول پیوست ۷). از بین ترکیبات تیماری مورد مطالعه از لحاظ تاثیر گذاری بر میزان کلروفیل a، اختلاف معنی داری بین شاهد و ترکیبات تیماری حاصل از غلظت صفر کادمیوم و گونه های فاسیکولاتوم و

اینترارادیس و نیز غلظت ۲۰ کادمیوم و گونه ی موسه آ و عدم میکوریزا دیده نشد. سایر ترکیبات تیماری موجب افزایش معنی دار میزان کلروفیل a گردیدند. بیشترین مقدار این صفت به طور محسوسی در شرایط کادمیوم صفر و گونه ی موسه آ به دست آمد که نسبت به همه ی ترکیبات تیماری از لحاظ آماری برتر بود و نسبت به شاهد افزایشی معادل ۱۸۱ درصد در کلروفیل a را سبب گردید. هم در شرایط عدم استفاده از میکوریزا و هم در شرایط استفاده از گونه های فاسیکولاتوم و اینترارادیس با افزایش در غلظت کادمیوم افزایش در کلروفیل a مشاهده گردید.



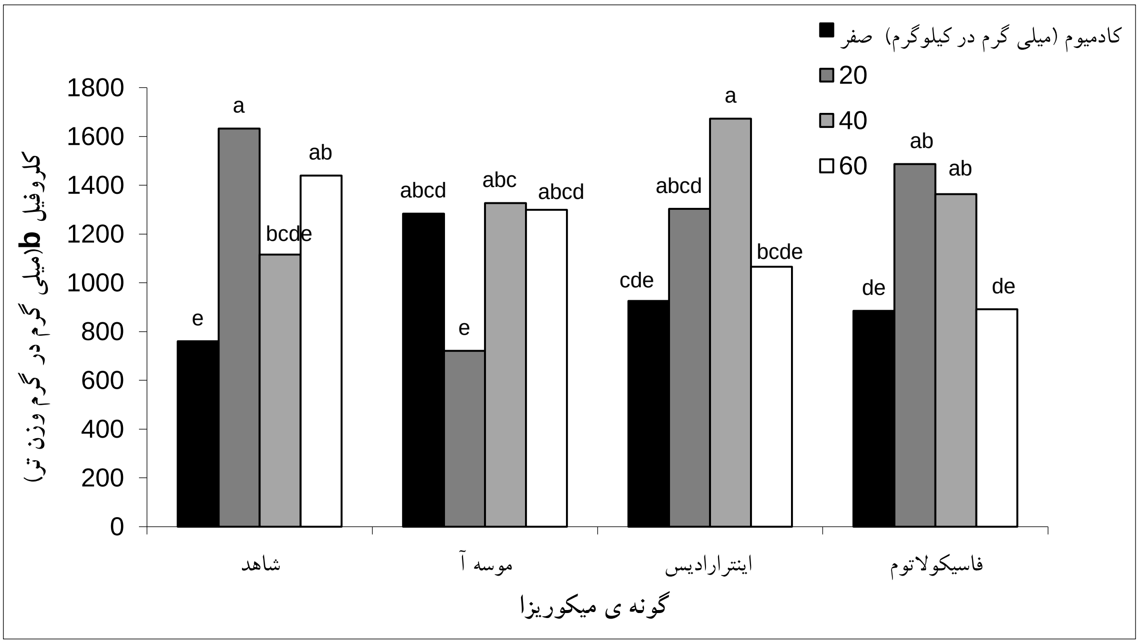
شکل۴-۱۱- مقایسه میزان کلروفیل a تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

۴-۲-۳-۲- کلروفیل b

تاثیر غلظت های کادمیوم و اثر متقابل بین میکوریزا و کادمیوم بر میزان کلروفیل b در سطح ۱ درصد معنی دار شد (جدول پیوست ۷). با افزایش غلظت کادمیوم میزان کلروفیل b نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد. البته بین غلظت های کادمیوم تفاوت معنی داری مشاهده نشد. بیشترین میزان کلروفیل b در تیمار ۴۰ میلی گرم کادمیوم مشاهده شد که نسبت به شاهد افزایش ۴۲ درصدی نشان می دهد (جدول ۴-۵). این نتیجه با نتیجه ی به دست آمده توسط سلطانی (۱۳۸۵) که بیان

می کند مقدار کلروفیل و کاروتنوئید در گیاهان تیمار شده با کادمیوم کاهش می یابد متناقض است. همچنین در این مقاله به نقل از هگدوس و همکاران (۲۰۰۱) بیان شد که کادمیوم باعث کاهش میزان کلروفیل در گیاه جو می شود.

در مورد اثر متقابل با توجه به شکل ۴-۱۲ مشاهده می شود که با افزایش غلظت کادمیوم میزان کلروفیل b تقریبا در تمام گونه ها نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد. بیشترین میزان کلروفیل b در گونه ی اینترارادیس و در غلظت ۴۰ میلی گرم مشاهده شد که نسبت به شاهد ۸۰ درصد افزایش نشان داد البته نسبت به بسیاری از ترکیبات تیماری مورد مطالعه اختلاف معنی داری نداشت.



شکل۴-۱۲- مقایسه میزان کلروفیل b تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

۴-۲-۳-۳- کلروفیل کل

تاثیر غلظت های کادمیوم در سطح ۵ درصد و اثر متقابل میکوریزا و کادمیوم در سطح ۱ درصد بر میزان کلروفیل کل معنی دار شد (جدول پیوست ۷).

بیشترین میزان کلروفیل کل در غلظت ۴۰ میلی گرم کادمیوم مشاهده شد که نسبت به تیمار صفر کادمیوم افزایش ۲۳ درصدی نشان داد (جدول ۴-۵). البته اختلاف آن با دو غلظت دیگر

کادمیوم از لحاظ آماری معنی دار نبود و تنها نسبت به شاهد در گروه آماری متفاوت قرار گرفت. این در حالی است که دانشمندان معتقدند که افزایش غلظت کادمیوم باعث کاهش میزان کلروفیل می شود (واسیلف و همکاران، ۱۹۹۷).

در مورد اثر متقابل با توجه به شکل ۴-۱۳ بیشترین میزان کلروفیل کل در غلظت صفر کادمیوم و گونه ی موسه آ دیده شد که البته اختلاف معنی داری با تیمارهای ۶۰ میلی گرم کادمیوم و عدم مصرف قارچ و ۴۰ میلی گرم کادمیوم و گونه ی اینترارادیس نداشت. با افزایش غلظت کادمیوم به جز گونه ی موسه آ در مابقی ترکیبات تیماری افزایش در میزان کلروفیل کل مشاهده گردید. میکوریزا از طریق تاثیر مثبت بر کلروفیل و فتوسنتز از اثرات مخرب کادمیوم بر کلروفیل می کاهد. اما در گونه موسه آ با افزایش غلظت کادمیوم کاهش در میزان کلروفیل دیده می شود. بطور کلی در حضور قارچ میکوریزا میزان کلروفیل کل بیشتر از عدم حضور قارچ است تنها در غلظت ۶۰ میلی گرم کادمیوم کاهش در میزان کلروفیل نسبت به عدم مصرف قارچ دیده می شود (شکل ۴-۱۳).

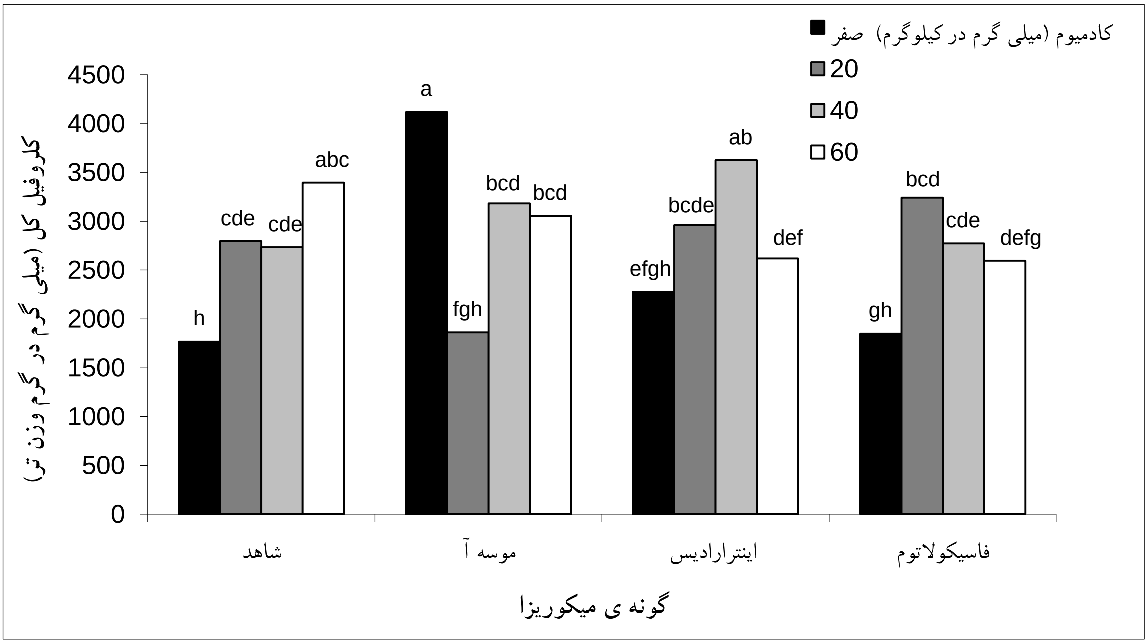
۴-۲-۴- کادمیوم

تجزیه داده های حاصل از اندازه گیری میزان کادمیوم موجود در اندام های هوایی نشان داد که اثر غلظت های مختلف کادمیوم و تیمار های میکوریزایی و نیز اثر متقابل آنها بر میزان کادمیوم اندام های هوایی در سطح ۱ درصد معنی دار بودند (جدول پیوست ۸).

گونه های میکوریزا باعث جذب کادمیوم بیشتری در اندام های هوایی نسبت به شاهد شدند اما بین گونه ها تفاوت معنی داری وجود نداشت. بیشترین مقدار کادمیوم در گونه ی اینترارادیس مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۸۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴-۶).

همان طوری که در جدول ۴-۶ مشاهده می شود در تیمار شاهد، کادمیوم به مقدار ناچیزی جذب گیاه شد که بیانگر عدم وجود کادمیوم یا مقادیر بسیار ناچیز کادمیوم در خاک مورد استفاده

برای بستر آزمایش است. با افزایش غلظت کادمیوم خاک میـزان کـادمیوم موجـود در انـدام هـوائی افزایش یافت. همچنین بین غلظت های ۲۰ و ۶۰ اختلاف معنی داری از لحاظ آماری دیده نشد این در حالی است که بیشترین مقدار کادمیوم جذب شده در همین تیمارها مشاهده می شود (جدول ۴-۶).



شـــکل۴-۱۳- مقایســـه میـــزان کلروفیـــل کـــل تحـــت تـــاثیر ترکیبـــات تیمـــاری حاصـــل از تیمارهـــای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

مقایسه میانگین اثرات متقابل میکوریزا و کادمیوم نشان داد که بـا افـزایش غلظـت کـادمیوم و کاربرد قارچ میزان کادمیوم موجود در اندام های هوایی نسبت به شاهد بیشتر شـد.از بـین ترکیبـات تیماری اختلاف معنی داری بین شاهد و ترکیبات تیماری حاصل از غلظت صفر کادمیوم و گونه های موسه آ، اینترارادیس و فاسیکولاتوم دیـده نشـد. سـایر ترکیبـات تیمـاری باعـث افـزایش معنـی دار کادمیوم جذب شده در اندام هوایی گردیدند. بیشترین مقدار این صـفت در شـرایط کـادمیوم ۶۰ و گونه ی موسه آ و غلظت ۲۰ کادمیوم و گونه ی اینترارادیس بدست آمد. با افزایش غلظـت کـادمیوم گونه ی اینترارادیس از لحاظ مهار تحمل تنش نسبت به دو گونه ی دیگر موفق تر عمل کرده اسـت (شکل ۴-۱۴). این یافته تأییدی بر پژوهش های محققینی دارد که بیان کردند، که در حضور قارچ

های میکوریزی کادمیوم بیشتری در اندام های هوایی گیاه تجمع پیدا می کند. بسریل و همکـاران (۲۰۰۲) نشان دادند که غلظت کادمیوم اندام هوایی گیاه لوبیا در حضور قارچ های میکوریزا افزایش یافته ولی غلظت کادمیوم در بذر لوبیا در حضور قارچ های میکوریزا نسبت به تیمار بدون قارچ به طور معنی داری کاهش می یابد. همچنین آندراده و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادنـد کـه در خـاک های آلوده به عناصر سنگین، قارچ های میکوریزا جذب این عناصـر را در گیـاه سـویا افـزایش مـی دهند.

جدول ۴-۶- مقایسه میانگین میزان کادمیوم موجود در اندام هوایی و درصد کلونیزاسیون ریشه تحت تاثیر تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

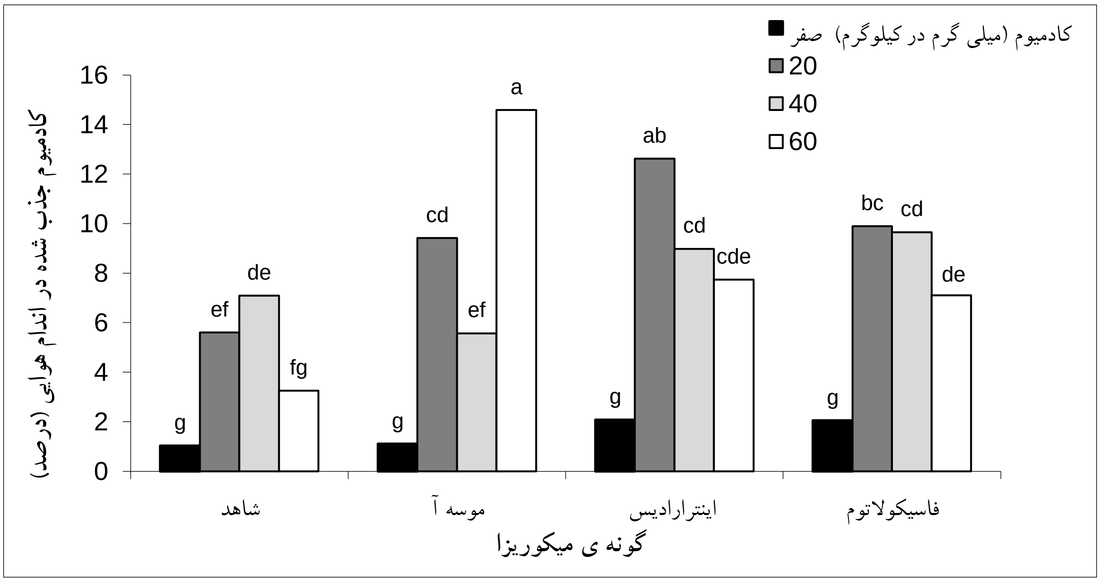
تیمار	میزان کادمیوم جذب شده دراندام هوایی(میلی گرم در کیلو گرم برگ)	درصد کلونیزاسیون ریشه
گونه میکوریزا		
شاهد	۴/۲۴ b	۲۶/۶۱ c
گلوموس موسه آ	۷/۶۶ a	۳۲/۳۷ bc
گلوموس اینترارادیس	۷/۸۵ a	۳۷/۷۲ ab
گلوموس فاسیکولاتوم	۷/۱۷ a	۴۲/۲۰ a
غلظت کـادمیوم (میلـی گـرم در کیلـوگرم خاک)		
صفر	۱/۵۷ c	۳۳/۸۰ bc
۲۰	۹/۳۸ a	۳۶/۴۰ ab
۴۰	۷/۸۲ b	۲۵/۶۷ c
۶۰	۸/۱۷ ab	۴۳/۰۳ a
LSD 5%	۱/۳۸	۸/۴۶

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی دار می باشد.

۴-۲-۵- درصد کلونیزاسیون ریشه

تجزیه واریانس داده های حاصل از درصـد کلونیزاسـیون ریشـه حـاکی از معنـی دار بـودن اثـر تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم ($p < ۰/۰۱$) و اثـر متقابـل آنهـا ($p < ۰/۰۵$) بـر ایـن

صفت بود (جدول پیوست ۸). با توجه به جدول ۴-۶ گونه های میکوریزا تاثیر معنی داری بر درصد کلونیزاسیون ریشه نسبت به شاهد داشتند. بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه در گونه فاسیکولاتوم دیده شد که ۱۵/۶ درصد بیشتر از شاهد بود البته بین این گونه و اینترارادیس اختلاف معنی داری وجود نداشت. الکراکی و همکاران(۱۹۹۸) و جاویتو و همکاران(۱۹۹۸) اظهار داشتند که یکی از شاخص های مهم فعالیت قارچ میکوریزی، میزان کلونیزاسیون سیستم ریشه ای توسط این قارچ ها



شکل۴- ۱۴- مقایسه کادمیوم موجود در اندام هوایی تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

می باشد که به وسیله عوامل مختلفی از جمله خصوصیات ظاهری و ساختمانی سیستم ریشه ای، مقدار و کیفیت ترشحات ریشه ای، مصرف کودهای شیمیایی فسفره و غلظت های بالای عناصر سنگین تحت تأثیر قرار می گیرد. به نظرمی رسد که با افزایش کلونیزاسیون ریشه، ریشه ی گیاه میزبان توسعه یافته و در نتیجه سطح جذب ریشه ها به علت نفوذ هیف های قارچ در خاک افزایش یافته و در نتیجه ریشه به حجم بیشتری از خاک دسترسی پیدا کرده و کارایی جذب آب و عناصر غذایی افزایش یافته و در نتیجه تولید ماده خشک افزایش می یابد.

همان طوری که در جدول ۴-۶ دیده می شود بین تیمارهای ۲۰ و ۴۰ میلی گرم کادمیوم اختلاف معنی داری مشاهده نمی شود این در حالی است که بیشترین مقدار کلونیزاسیون ریشه در

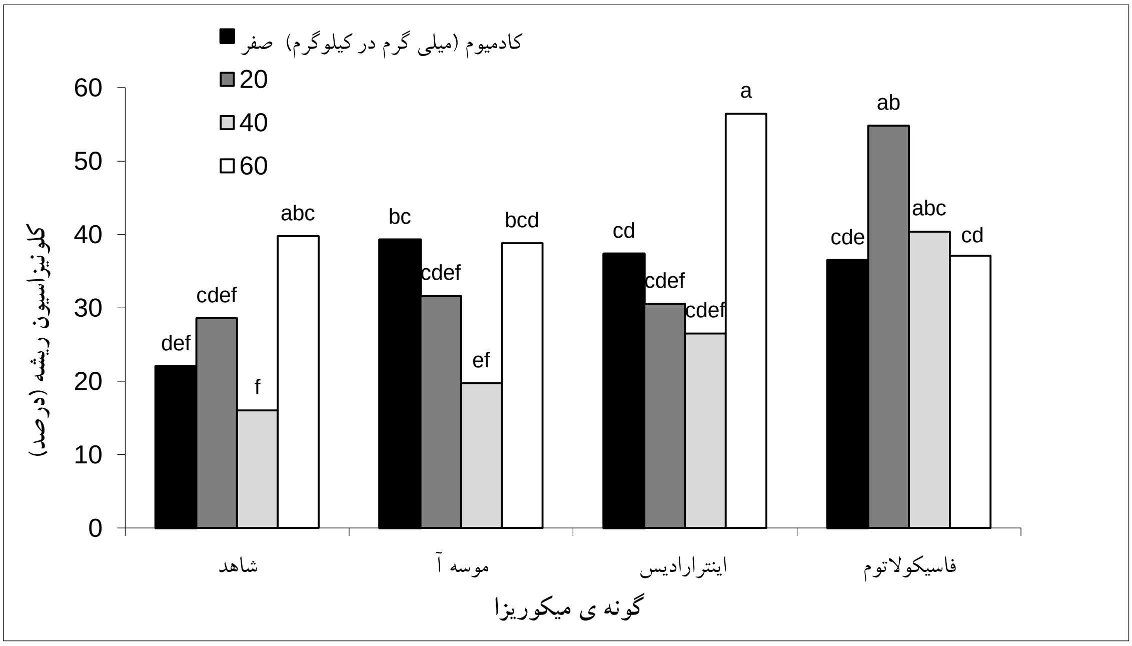
این دو غلظت مشاهده شد. کمترین میزان کلونیزاسیون ریشه در غلظت ۴۰ میلی گرم کادمیوم دیده شد که نسبت به شاهد کاهش ۸ درصدی نشان داد. در مجموع یک روند افزایشی در میزان کلونیزاسیون ریشه با افزایش غلظت کادمیوم دیده شد. اسکویی و همکاران (۱۳۸۸) در آزمایشی با استفاده از سه سطح کادمیوم شامل ۰/۰۲، ۱ و ۵ میلی گرم در لیتر به فرم نیترات کادمیوم و سه سطح میکوریزا شامل شاهد، گلوموس اتونیکاتوم و گلوموس ورسی فرم روی گیاه گوجه فرنگی نشان دادند که با افزایش غلظت کادمیوم درصد کلونیزاسیون ریشه کاهش یافت به عبارت دیگر کادمیوم فعالیت قارچ های میکوریزی را کاهش می دهد اما اختلاف معنی داری بین سطح اول و دوم کادمیوم مشاهده نگردید. همچنین هاشم و همکاران (۱۹۹۰) بیان کردند که با افزایش غلظت این عنصر درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه جاروب کاهش می یابد. به عبارت دیگر کادمیوم فعالیت قارچ های میکوریزی را کاهش می دهد. این نتایج با نتیجه بدست آمده در این تحقیق مغایرت دارد.

اثر متقابل میکوریزا و کادمیوم نیز بر درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح ۵ درصد معنی دار بود (جدول پیوست ۸). همان طور که در شکل ۴-۱۵ مشاهده می شود مقادیر بالایی از درصد کلونیزاسیون ریشه در شرایط غلظت ۶۰ میلی گرم کادمیوم و گونه ی اینترارادیس و غلظت ۲۰ میلی گرم کادمیوم و گونه ی فاسیکولاتوم مشاهده شد که البته اختلاف معنی داری با ترکیب تیماری غلظت ۶۰ میلی گرم کادمیوم و عدم مصرف قارچ و غلظت ۴۰ میلی گرم کادمیوم و گونه ی فاسیکولاتوم نداشت. تنها در شرایط استفاده از قارچ فاسیکولاتوم با افزایش در غلظت کادمیوم افزایش در میزان کلونیزاسیون ریشه مشاهده گردید. تحقیقات انجام گرفته توسط آندراده و همکاران (۲۰۰۴) روی گیاه سویا نیز نشان می دهد که افزایش عنصرکادمیوم سبب کاهش درصد کلونیزاسیون ریشه و تعداد اسپور قارچ هم در مرحله گلدهی و هم در مرحله نهایی رشد سویا می شود.

از طرفی درصد کلونیزاسیون ریشه بسته به گونه یا اکوتیپ قارچ و نیز میزان تحمل پذیری آن به فلزات سنگین، بر هم کنش آن با فلز سنگین، نوع، غلظت فلز سنگین و شرایط ادافیکی خـاک و بسیاری از فاکتورهای ناشناخته دیگر در ارتباط با گیاهان مختلف می تواند متفاوت باشد.

۴-۲-۶- پایداری غشاء

پایداری غشاء در سطح ۵ درصد تحت تاثیر تیمارهـای میکـوریزایی قـرار گرفـت. غلظـت هـای مختلف کادمیوم تاثیر معنی داری بر پایداری غشاء نداشتند (جدول پیوست ۹). با توجه بـه جـدول ۴-۷ مشاهده می شود که گونه های موسه آ و اینترارادیس باعث افزایش پایـداری غشـاء نسـبت بـه شاهد می شوند. بیشترین میزان پایداری غشاء در گونه ی موسه آ دیده می شود که نسبت به شاهد ۹/۷ درصد بیشتر است.



شـــکل۴-۱۵- مقایســـه درصـــد کلونیزاســـیون ریشـــه تحـــت تـــاثیر ترکیبـــات تیمـــاری حاصـــل از تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

جدول ۴-۷- مقایسه میانگین پایداری غشاء پلاسمایی تحت تاثیر تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

تیمار	پایداری غشاء پلاسمایی (درصد)
گونه میکوریزا	
شاهد	۵۷/۶۴ b
گلوموس موسه آ	۶۷/۳۵ a
گلوموس اینترارادیس	۶۲/۶۷ ab
گلوموس فاسیکولاتوم	۵۴/۴۶ b
غلظت کادمیوم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	
صفر	۵۹/۱۳
۲۰	۵۸/۵۲
۴۰	۶۵/۴۴
۶۰	۵۹/۰۴
LSD 5%	۸/۲۲

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی دار می باشد.

۴-۳- نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از این تحقیق به طور خلاصه شامل موارد زیر می باشد:

۱- تیمارهای میکوریزایی بخصوص فاسیکولاتوم و اینترارادیس باعث افزایش معنی دار رشد سویا شدند این درحالی است که گونه ی موسه آ اثر معنی داری بر رشد سویا نداشت.

۲- استفاده از قارچ میکوریزا سبب افزایش جذب فلز کادمیوم در اندام های هوایی نسبت به شاهد شد.

۳- استفاده از قارچ میکوریزا سبب افزایش مقاومت گیاه در مقابل تنش ناشی از کادمیوم شد که این موضوع را می توان با افزایش بیوماس قسمت های مختلف گیاه تشخیص داد.

۴-۴- پیشنهاد ها

۱- این تحقیق به صورت گلدانی روی یک رقم انجام شد. مطالعه واکنش سایر ارقام متداول به تنش کادمیوم و قارچ میکوریزا، مفید خواهد بود.

۲- اثر سایر عناصر سنگین بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک سویا مورد مطالعه قرار گیرد.

۳- اندازه گیری میزان فلز سنگین جذب شده توسط هیف های قارچ میکوریزا

پیوست

جدول پیوست ۱- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ارتفاع و تعداد شاخه فرعی بوته تحت تاثیر تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد شاخه فرعی
تکرار	۲	۲۱**	۰/۶۸
میکوریزا (m)	۳	۱/۰۵ ns	۳/۹۳*
غلظت کادمیوم (C)	۳	۶/۶۶ **	۱۲/۶۷**
میکوریزا × کادمیوم	۹	۰/۹۹ ns	۱/۲۷ ns
خطا	۳۰	۵/۳۸	۱/۹۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۴/۲	۱۹/۰۳

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۲- جدول تجزیه واریانس(میانگین مربعات) وزن خشک ساقه، ریشه و برگ ۸۳ روز پس از کاشت (نمونه برداری اول) تحت تاثیر تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک ساقه	وزن خشک ریشه	وزن خشک برگ
تکرار	۲	۰/۳ ns	۰/۴۸ ns	۰/۱۷ ns
میکوریزا (m)	۳	۲/۶۳ ns	۸/۳۶ **	۰/۹۵ ns
غلظت کادمیوم (C)	۳	۲۷/۲۷ **	۴/۹۲ **	۲۷/۶۱ **
میکوریزا × کادمیوم	۹	۱/۸۹ ns	۸/۱ **	۲/۷۱*
خطا	۳۰	۱۲/۸۱	۳۱/۱۴	۱۸/۸
ضریب تغییرات (درصد)		۲۷/۱۴	۲۴/۸۳	۲۷/۴۵

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۳- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) وزن خشک ساقه و برگ ۱۲۵ روز پس از کاشت (نمونه برداری دوم) تحت تاثیر تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ
تکرار	۲	۰/۷۸ ns	۰/۰۹ ns
میکوریزا (m)	۳	۹/۸۳ **	۵/۱۷ **
غلظت کادمیوم (C)	۳	۱۹/۶۹**	۹/۸۲**
میکوریزا × کادمیوم	۹	۳۳/۱۷**	۲/۵۱*
خطا	۳۰	۴۳/۵۶	۱۰۸/۲۹
ضریب تغییرات (درصد)		۱۹/۸	۳۴/۷۷

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۴- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) سطح برگ ۸۳ و ۱۲۵ روز پس از کاشت (نمونه برداری اول و دوم) تحت تاثیر تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

منابع تغییر	درجه آزادی	سطح برگ (نمونه برداری اول)	سطح برگ (نمونه برداری دوم)
تکرار	۲	۱/۶ ns	۱/۶۸ ns
میکوریزا (m)	۳	۰/۹۵ ns	۹/۹۸**
غلظت کادمیوم (C)	۳	۳/۸۳*	۱۹/۸۷**
میکوریزا × کادمیوم	۹	۵/۷۳**	۸/۴۶**
خطا	۳۰	۰/۷۷	۰/۲۹
ضریب تغییرات (درصد)		۲۳/۲۸	۱۹/۶۲

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۵- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مقدار نسبی آب برگ و حجم ریشه تحت تاثیر تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

منابع تغییر	درجه آزادی	مقدار نسبی آب برگ	حجم ریشه
تکرار	۲	۱۱/۳۹ ns	۰/۰۷ ns
میکوریزا (m)	۳	۰/۶۷ ns	۲/۵۶ ns
غلظت کادمیوم (C)	۳	۰/۹۱ ns	۷/۲۶**
میکوریزا × کادمیوم	۹	۰/۳۴ ns	۸/۴۲**
خطا	۳۰	۸/۰۵	۸/۹۴
ضریب تغییرات (درصد)		۱۴/۹۱	۱۹/۲۴

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۶- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) کلروفیل تحت تاثیر تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

منابع تغییر	درجه آزادی	۶۱	۶۸	۸۲	۹۶ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۲/۳۸	۲/۲۵	۰/۱۸	۲/۲۵
میکوریزا (m)	۳	۰/۷۵	۱/۶۴	۰/۸	۱/۰۶
غلظت کادمیوم (C)	۳	۵/۱۸ **	۱/۴۴	۰/۶۸	۰/۰۸
میکوریزا × کادمیوم	۹	۱/۰۸	۰/۵۱	۰/۹۱	۱/۰۷
خطا	۳۰	۲/۶۴	۲/۰۴	۳/۳۷	۴/۱۶
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۵۷	۵/۰۴	۸/۶۱	۱۵/۶۵

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۷- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) کلروفیل a, b و کل تحت تاثیر تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
تکرار	۲	۰/۵۴ ns	۰/۰۶ ns	۰/۳۷ ns
میکوریزا (m)	۳	۶/۳۰ **	۰/۴۲ ns	۲/۲۷ ns
غلظت کادمیوم (C)	۳	۲/۹۹*	۵/۶۰**	۳/۵۲*
میکوریزا × کادمیوم	۹	۹/۰۵ **	۴/۷۳ **	۸/۱۴**
خطا	۳۰	۲۹۴/۴۳	۲۵۷/۲۸	۴۶۰/۴
ضریب تغییرات (درصد)		۱۸/۳۳	۲۱/۴۷	۱۶/۴۲

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۸- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) درصد کلونیزاسیون ریشه و میزان کادمیوم اندام های هوایی تحت تاثیر تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد کلونیزاسیون ریشه	میزان کادمیوم اندام هوایی
تکرار	۲	۶/۰۲ **	۴/۰۶*
میکوریزا (m)	۳	۵/۲۸ **	۱۲/۴۳ **
غلظت کادمیوم (C)	۳	۶/۰۰**	۵۳/۸۱ **
میکوریزا × کادمیوم	۹	۲/۲۳*	۸/۳۶ **
خطا	۳۰	۱۰/۱۵	۱/۶۵
ضریب تغییرات (درصد)		۲۹/۲۴	۲۴/۵۹

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۹- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) پایداری غشاء تحت تاثیر تیمارهای میکوریزایی و غلظت های کادمیوم

منابع تغییر	درجه آزادی	پایداری غشاء پلاسمایی
تکرار	۲	۰/۹۹ ns
میکوریزا (m)	۳	۰/۰۱*
غلظت کادمیوم (C)	۳	۰/۲۸ ns
میکوریزا × کادمیوم	۹	۰/۳۱ ns
خطا	۳۰	۹/۸۶
ضریب تغییرات (درصد)		۱۶/۲۹

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

منابع:

۱- **آقابابائی، ف . و رئیسی، ف. ۱۳۸۸.** اثر همزیستی میکوریزایی بر جذب عناصر غذایی توسط نهال های برخی ژنوتیپ های تجاری گیاه بادام .یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان.

۲- **برادران فیروزآبادی، س.، رجبیان، ط. و برادران فیروزآبادی، م. ۱۳۸۸.** بررسی اثر نیکل بر رشد ریشه و کلروفیل برگ در گیاه سویا. یازدهمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات. دانشگاه شهید بهشتی. ۲-۴ مردادماه ۱۳۸۹.

۳- **تاجیک خاوه، م.، الهدادی، ا.، دانشیان، ج. و آرمند پیشه، ا. ۱۳۹۰.** بررسی اثر کودهای بیولوژیک بر گره زایی و رشد سویا تحت تنش کم آبی بذر.

۴- **توحیدلو، ق. ۱۳۷۸.** بررسی کارایی مصرف آب و برخی پارامتر های زراعی فیزیولوژیکی سه رگه چغندر قند درشرایط مطلوب و تنش خشکی، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.

۵- **جعفری، ر. ۱۳۸۲.** تاثیر برهمکنش کادمیوم و اسید سالیسلیک بر رشد و برخی پارامتر های فیزیولوژیکی گیاه لوبیا. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت معلم تهران.

۶- **حبیبی، د. ۱۳۷۲.** انتخاب پروژنی های مقاوم به خشکی و شوری چغندر در مرحله جوانه زنی اولیه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.

۷- **خواجه پور، م. ر. ۱۳۸۵.** گیاهان صنعتی (چاپ دوم). انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان. ۵۶۴ صفحه.

۸- **رضوانی، م.، افشنگ، ب.، قلی زاده، ع. و زعفریان، ف. ۱۳۹۰.** ارزیابی تاثیر قارچ میکوریزا و منابع مختلف فسفر بر رشد و جذب فسفر در سویا.

۹- **سلطانی، ف.، قربانلی، م. و منوچهری کلانتری، خ. ۱۳۸۵.** اثر کادمیوم بر مقدار رنگیزه های فتوسنتزی، قندها و مالون دآلدئید در گیاه کلزا.

۱۰- **شریفی، م.، محتشمیان، م.، ریاحی، ح.، آقایی، ا. و علوی، م. ۱۳۸۹.** اثر قارچ اندومیکوریزایی گلوموس اتونیکاتوم بر برخی شاخص های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه ریحان.

۱۱- **قاسمی، ز. و شهابی، ع. ۱۳۸۹.** تأثیر کادمیم بر شاخص های فیزیولوژیک، صفات رویشی و غلظت عناصر غذایی در گیاه گوجه فرنگی در کشت بدون خاک.

۱۲- **علیزاده اسکویی، پ.، علی اصغرزاد، ن.، شریعتمداری، ح.، اصغرزاده، ا. و باغبان سیروس، ش. ۱۳۸۸.** تأثیر دو گونه از قارچهای میکوریز آربوسکولار در کاهش سمیت کادمیوم در گیاه گوجه فرنگی با سطوح مختلف فسفر.

۱۳- **کافی، م. و مهدوی دامغانی، ع. ۱۳۸۱.** مکانیسم های مقاومت گیاهان به تنش های محیطی (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۴۶۷ صفحه.

۱۴- **کافی، م.، برزویی، ا.، صالحی، م.، کمندی، ع.، معصومی، ع. و نباتی، ج. ۱۳۸۸.** فیزیولوژی تنش های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۰۲ صفحه.

۱۵- **کریمی، ه. ۱۳۶۸.** گیاهان زراعی. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۹۳ صفحه.

۱۶- **کوچکی، ع.، راشد محصل، م.، نصیری، م. و صدر آبادی، ر. ۱۳۶۷.** مبانی فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات آستان قدس رضوی. ۳۶۸ صفحه.

۱۷- **کوچکی، ع.، سلطانی، ا. و عزیزی، م. ۱۳۷۶.** اکوفیزیولوژی گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۴۲ صفحه.

۱۸- **لطیفی، ن.۱۳۷۲.** زراعت سویا (ترجمه). چاپ دوم. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۸۷ صفحه.

۱۹- **علیزاده، ا. ۱۳۸۴.** بررسی اثر مقادیر مختلف نیتروژن و تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر خصوصیات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزاء عملکرد و میزان غلظت عناصر غذایی و نیز مطالعه همزیستی میکوریزایی در ذرت. رساله دکتری. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات اهواز.

۲۰- **مجتهدی، ع. و لشگری، ح.۱۳۶۰.** زراعت سویا. چاپ ششم. شرکت سهامی خاص توسعه وکشت دانه های روغنی. ۲۸ صفحه.

۲۱- **ناصری ، ف.۱۳۷۰.** دانه های روغنی(ترجمه). چاپ اول. انتشارات آستان قدس رضوی. ۵۰۳ صفحه.

۲۲-**نور محمدی، ق. و سیادت، ع. و کاشانی، ع. ۱۳۸۰.** زراعت غلات. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. ۴۴۶ صفحه.

۲۳- **یزدی صمدی، ب. و عبد میشانی، س.۱۳۷۳ .** اصلاح نباتات زراعی. چاپ دوم. انتشارات مرکز نشر دانشگاهی. ۲۸۷ صفحه.

24- **Abbott, L.K. and Robson, A.D. 1991.** Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. Agric. Ecosyst. Environ. 35:121-150.

25- **Abbott, L.K. and Robson, A.D. 1984.** Colonization of the root system of subterranean clover by three species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytol. 96:275-281.

26- **Abdel-Basset, R., Issa, A.A. and Adam, M.S. 1995.** Chlorophyllase activity: effects of heavy metals and calcium. Photosynthitica. 31:421-425.

27- **Alizadeh, A. 2005.** Effects of different levels of nitrogen and drought stress absorption and micorrhizal symbiosis in maize. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University. Research and Science Unit. Ahvaz. Iran (In Persian with English abstract).

28- **Al–Karaki, G.N., Al-Raddad, A. 1997.** Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. Mycorrhizae. 7:83-88.

29- **Al-Karaki, G.N. and Clark, R.B. 1998.** Growth, mineral acquisition and water use by mycorrhizal wheat grown under water stress. J. of Plant Nut. 21: 263.

30- **Allen, M.F., Sexton, J.C., Moore, T.S. and Christensen, M. 1981.** Influence of phosphate source on vesicular arbuscular mycorrhizae of Bouteloua gracilis. New Phytologist. 87:687.

31- **Allen, M.F., Smith, W.K., Moore, T.S. and Christensen, M. 1981.** Comparative water relations and photosynthesis of mycorrhizal and non-mycorrhizal Bouteloua gracilis H.B.K. Lagex Steud. New Phytol. 88: 683 - 93.

32- **Allen, M.F.1991.**The ecology of mycorrhizae, Cambridge.Un.Press.

33- **Allen, M.F. 2003.** The Ecology of Mycorrhizae. Cambridge University Press. New York. 534 pp.

34- **Andrade, S.A.L., Abreu, C.A. de Abreu. M.F. and Silveria, A.P.D. 2004.** Influence of lead additions on arbuscular mycorrhiza and Rhizobium symbioses under soybean. Applied Soil Ecology. 26(2):123-131.

35- **Antunes, P.M. 2004.** Determination of nutritional and signaling factors involved in the tripartite symbiosis formed by arbuscular mycorrhizal fungi, *Bradyrhizobium* and soybean. PhD Thesis. The University of Guelph.
36- **Azco´n-Aguilar, C. and Barea, J.M. 1995.** Saprophytic growth of arbuscular mycorrhizal fungi. In: Hock, B. and Varma, A. (Eds.), A. Mycorrhiza Structure, Function, Molecular biology and Biotechnology. Springer, Heidelberg, Germany. 391–407.
37- **Bagyaraj, D.J. 1992.** Vesicular arbuscular mycorrhiza. Application in agriculture. Methods Microbiol. 24:360-373.
38- **Barcelo, J., Poschenrieder, C., Andreu I. and Gaunse, B. 1986.** Cadmium-induced decrease of water stress resistence in bush bean plants. (*Phaseolus vulgaris* L.CV. Contender).1. Effects of Cd on water potential, relative water content and cell wall elasticity. Plant Physiol. 125:17-25.
39- **Baryla, A., Carrier, P., Franck, F., Coulomb, C., Sahut, C. and Havaux, M. 2001.** Leaf chlorosis in oilseed rape (*Brassica napus*) grown on cadmium-poluted soil: causes and consequences for photosynthesis and growth. Planta. 212:606-709.
40- **Becerril, F.R., Calantzis, C., Turnau, K., Caussanel, J.P., Belimov, A.A., Gianinazzi, S., Strasser, R.J. and Pearson, V.G. 2002.** Cadmium accumulation and buffering of cadmium industed stress by arbuscular mycorrhiza in three Pisum sativum L.genotypes. J of Exp Bot. 53(371):1177-1185.
41- **Benaroya, R.O., Tzin, V., Tel-or., E. and zamsk, .E. 2004.** Lead accumulation in the aquatic fern Azolla filicuoides. Plant Physiol. 42:639-645.
42- **Benavides, M.P., Gallego, S.M. and Tomaro, M.L. 2005.** Cadmium toxicity in plants. Braz. J. Plant Physiol. 17: 21–34.
43- **Berevedan, R.E. and Egli, D.B. 2003.** Short periods of water stress during seedfilling, leaf senescence and yield of soybean. Crop Sci. 43:2083-2088.
44- **Blum, A. and Ebercon, A. 1981.** Membranes stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. Crop Sci. 21:43-47.
45- **Boddi, B., Oravecz, A.R. and Lehoczki, E. 1995.** Effects of cadmium on organization and photoreduction of protochlorophyllide in dark-grown leaves and etioplast inner membrane preparations of wheat. Photosynthetica. 31:411-420.
46- **Boussama, N., Quariti, O. and Ghorbal, M.H. 1999.** Changes in growth and nitrogen assimilation in barley seedling under cadmium stress. Plant Nutr. 22:731-75.
47- **Chao, C.C. and Wang, Y.P. 1990.** Effects of heavy-metals on the infection of vesicular–arbuscular mycorrhizae and the growth of maize. J. Agric. Assoc. China. 152: 34–45.
48- **Cooper, K.M. 1984.** Physiology of VA mycorrhizal associations. In C.Ll. Powell and D.J. Bagyaraj (ed.) VA mycorrhiza. CRC Press, Boca Raton, FL, P. 155-186.
49- **Costa, G. and Morel, J.L. 1994.** Water relations, gas exchange and amino acid content in cadmium treated lettuce. Plant Physiol. Biochem. 32:561-570.
50- **Dat, J.F., Foyer, C.H. and Scott, I.M. 1998.** Changes in salicylic acid and antioxidants during induced thermotolerance in mustard seedling. Plant Physiol. 118:1455-1461.

51- **Dat, J.F., Lopez-Delgado, H., Foyer, C.H. and Scott, I.M. 1998.** Parallel changes in H_2O_2 and catalase during thermotolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. Plant Physiol. 116:1351-135.
52- **Demir S. 2004.** Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. Turk. J. Biol. 28: 85 - 90.
53- **Dodd, J.C. 2000.** The role of arbuscular mycorrhizal fungi in agronatural ecosystem. Outlook on Agric, 29:63-70.
54- **Drazic, G. and Mihailovic, N. 2005.** Modification of cadmium toxicity in soybean seedlings by salicylic acid. Plant Sci . 168: 511-517.
55- **Drazic, G., Mihailovic, N. and Lojic, M. 2006.** Cadmium accumulation in *Medicago sativa* seedlings treated with salicylic acid. Biol. Plant. 50:239-244.
56- **Dueck, T.A., Visser, P., Ernest, W.H.O. and Schat, H. 1986.** Vesicular-arbuscular mycorrhizae decrease zinc toxicity to grasses in zinc-polluted soil. Soil Biol. Biochem. 18:331-333.
57- **Duponnois, R., Colombet, A., Hien, V. and Thioulouse, J. 2005**. The mycorrhizal fungus Glomus intraradices and rock phosphate amendment influence plant growth and microbial activity in the rhizosphere of Acacia holosericea. Soil Biol. Biochem. 37:1460-1468.
58- **Faber, B.A., Zasoski, R.J., Munns, D.A. and Shackei, K. 1991.** A method of measuring hyphal nutrient and water uptake in mycorrhizal plants. Can. J. Bot. 69:87-94.
59- **Feher, W.R. and Caviness, C.E. 1997.** Stage of soybean development. Lowa satate. Uni. Press. PP:80.
60- **Feher, W.R., Caviness, C.E., Burmood, D.T. and Pennington, J.S. 1972.** Stage of development descriptions for soybeans. Crop Sci. 11: 929-931.
61- **Fodor, A., Szabo-Nagy, A. and Erdei, L. 1995.** The effect of cadmium on the fluidity and H^+-Atpase activity of plasma membrane from sunflower and wheat roots. Plant Physiol. 14:787-792.
62- **Fontes, R.L.S. and Cox, F.R. 1998.** Zinc toxicity in soybean grown at high Iron concentration in nutrient solution. Crop Sci. 21:1723-1730.
63- **Gavito, M. E. and Miller, M.H. 1998.** Changes in mycorrhiza development, dry matter partitioning and yield of maize. Plant and Soil. 199: 177-186.
64- **Gemma, J.N., Koske, R.E., Roberts, E.M., Jackson, N. and De Antonis, K.1997.** Mycorrhizal fungi improve drought resistance in creeping bentgrass. J. Turfgrass Sci. 73: 15 - 29.
65- **Gouia, H., Ghorbal, M.H. and Meyer, C. 2001.** Effect of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. Plant Physiol. 38: 629-63.
66- **Greger, M. and Ogren, E. 1991.** Direct and indirect effects of Cd^{2+} on photosynthesis in sugar beet. Plant Physiol. 83:129-135.
67- **Harley, J.L. and Smith, S.E. 1983.** Mycorrhizal symbiosis. Academic Press, New York.
68- **Hashem, A.R.1990.** Hymenoscy Phus ericae and the resistance of Vaccinium macrocarpon to lead.Transactions of the mycological Society of Japon. 31(3):345-353.
69- **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. Environ. Sci. 4(1): 1-8.

70- **Hayat, Q., Hayat, SH., Irfan, M. and Ahmad, A. 2010.** Effects of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. Envi. and Exper. Botany. 68:14-25.
71- **Hegedus, A., Erdel, S. and Horvath, G. 2001.** Comparative studies of H2o2 detoxifying enzymes in green and greening barley seedling under cadmium stress. Plant Sci. 160: 1085– 1093.
72- **Horst, V. 2004.** Further root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi in already mycorrhizal plants in suppressed after a critical level of root colonization. J. Plant Physiol. 161: 339-341.
73- **Horvath, G., Droppa, M., Oravecz, A., Raskin, V.I. and Marder, J.B. 1996.** Formation of the photosynthetic apparatus during greening of the cadmium-poisoned barley leaves. Planta. 199:238-243.
74- **Jeffries, P., Spyropoulos, T. and Vardavarkis, E. 1988.** Vesicular-arbuscular mycorrhizal status of various crops in different agricultural soils in northern Greece. Biol. Fert. Soils. 5:333-337.
75- **Johnson, M.S. and Stevenson, J.K.W. 1994.** Revegatation of metalliferous wastes and and after metal mining. In: Hester, R.E., Harison, R.M. (eds.), Mining and its environmental impact. Royal Society of Chemistry. London, pp. 31-48.
76- **Khan, A.G., Kuek, C., Chaudhry, T.M., Khoo, C.S. and Hayes, W.J. 2000.** Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. Chemosphere. 41: 197–207.
77- **Khan, A.G. 2006.** Mycorrhizo remediation-an enhanced form of phytoremediation. J. Zhejiang University Sci. B7(7): 503-514.
78- **Killham, K., and Firestone, M.K. 1983.** Vesicular-arbuscular mycorrhizal mediation of grass response to acidic heavy metal depositions. Plant Soil. 72:39-48.
79- **Kopittke, P.M., Dart, P.J. and Menzies, N.W. 2007.** Toxic effects of low concentrations of Cu on nodulation of cowpea (*Vigna unguiculata*). Environ. Pollution. 145: 309-315.
80- **Kramer, P.S. 1983.** Water relations of plants. Academic press. PP. 342-415.
81- **Krantev, A., Yordanova, R., Janda, T., Szalai, G. and popova, L. 2008.** Treatment with salicic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. Plant Physiol. 165:920-931.
82- **Kriek, D.T., Foy, C.D. and wergin, W.P. 1988.** Role of water stress in different Aluminium tolerance of six sunflower cultivars grown in an acid soil. Plant Nutr. 11:387-408.
83- **Krupa, Z. 1999.** Cadmium against higher plant photosynthesis- a verity of effects and where do they possibly come from?. Naturforsch. 54:723-729.
84- **Lee, C.W., Choi, J.M. and Pak, C.H. 1996.** Michronutrient toxicity in seed germination. J. of the Ame. Society for Hort. Sci. 121:77-82.
85- **Leyval C., Turnau K. and Haselwandter, R. 1997.** Effect of heavy metal pollution on mycorrhizal colonization and function: physiological, ecological and applied aspects. Mycorrhiza. 7: 139-153.
86- **Lewis, S., Donkin, M.E. and Depledge, M.H. 2001.** HSP 70 expression in *Enteromorpha intestinalis* (chlorophyta) exposed to environmental stresses. Aqua. Toxicol. 51:277-291.

87- **Madhava Rao, O.K.V. and Sresty, T.V.S. 2000.** Antioxidative parameters in the seedlings of pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses. Plant Sci.157:113-128.
88- **Marschner, H. and Dell, B. 1994.** Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant Soil 159:89- 102.
89- **Newsham, K.K., Fitter, A.H. and Waterson, A.R., 1995.** Arbuscular mycorrhiza protect annual grass from root pathogenic fungi in the field. J. of Ecology. 83: 991–1000.
90- **Nieboer, E. and Richardson, D.H.S. 1980.** The replacement of the non-descript term "heavy metals" by a biologically and chemically significant classification of metal ions. Environ. Pollution, Serries B, 1:3-26.
91- **Orcutt, D.M. and Nilsen, E.T. 2000.** The physiology of plant under stress: soil and biotic fsctors. John Wiley Pob. Pp. 481-517.
92- **Ortus, I. and Harris, P.J. 1996.** Enhancement uptake of phosphorus by mycorrhizal sorghum plant as influenced by forms of nitrogen. Plant and Soil. 184: 225-264.
93- **Paudyal, S.P., Aryal, R.R., Chauhan, S.V.S. and Maheshwari, D.K. 2007.** Effect of heavy metals on growth of rhizobium strains and symbiotic efficiency of two species of tropical legumes. Scientific World, 5:322-325.
94- **Pearson, C. and Kirkham, K. 1981.** Water relation of wheat cultivars grown with cadmium. J. Plant Nutr. 3: 309-318.
95- **Poschenrieder, C. and Barcelo, J. 2004.** Water relations in heavy metal stressesd plants. In: pasad, M.(ed.), Heavy metal stress in plants from Biomolecules to Ecosystems, 2nd edn. Springer-verlag, New York. PP.249-263.
96- **Remy, W., Taylor, T.N. Hass, H. and Kerp, H. 1994.** Four hundred million year old vesicular arbuscular mycorrhiza. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 91:11841-11843.
97- **Reser, P. and Emerson, P. 2007.** Growth, root and leaf structure and biomass allocation in leucanthemum vulgare as affected by heavy-metal-containing slag. Plant Soil. 59:2461-2467.
98- **Rizhsky, L., Liang, H. and Mittler, R. 2002.** The combined effect of draught stress and heat shock on gene expression in tobacco. Plant Physiol. 130:1-9.
99- **Ross, J.P. 1980.** Effect of nontreated field soil on sporulation of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with soybean. Phytopathology. 70:1200-1205.
100- **Salt, D.E., Prince, R.C., Pickering, I.J. and Raskin, I. 1995.** Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in indian mustard. Plant Physiol. 109:1427-1433.
101- **Sandalio, L.M., Dalurzo, H.C., Gomes, M., Romero-Puertras, M. and del Rio, L.A. 2001**. Cadmium induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. Exp. Bot. 52:2115-2126.
102- **Shah, J. and klessig, D.F. 1999.** Salicylic acid: signal perception and transduction. In: Hooykaas, P.P.J., Hall, M.A. and Libbenga, K.R. (eds). Biochemistry and molecular biology of plant hormones. Elsevier, Amesterdam, Netherlands, pp. 513-541.
103- **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.

104- **Shanker, A.K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H. and Avudainayagam, S. 2005.** Chromium toxicity in plants. Environ. Int. 31: 63-68.
105- **Siedlecka, A. and krupa, Z. 1999.** Cd/Fe interactions in higher plants- it′s consequence for the photosynthetic apparatus. Photosynthetica. 36:321-331.
106- **Singh, B. and Myhr, K. 1998.** Cadmium uptake by barley as affected by Cd sources PH levels. Geoderma. 84: 185 – 194.
107- **Smith, S.E. and Read, D.J. 1997.** Mycorrhizal symbiosis , 2nd end. Academic press, New York.
108- **Somashekaraiah, B.V., Padmaja, K. and Prasad, A.R.K. 1992.** Phytotoxicity of cadmium ions on germinating seedlings of mungbean: involvement of lipid peroxides in chlorophyll degradation. Plant Physiol. 85:85-89.
109- **Stahl, P.D., and Christensen, M. 1991.** Population variation in the mycorrhizal fungus Glomus mosseae: breadth of environmental tolerance. Mycol. Res. 95:303-307.
110- **Subramanian, K.S. and Charest, C., 1997.** Nutritional, growth, and reproductive responses of maize (*Zea mays* L.) to arbuscular mycorrhizal inoculation during and after drought stress at tasselling. Mycorrhiza. 7: 25–32.
111- **Sylvia, D.M. and Neal, L.H. 1990.** Nitrogen affects the phosphorus response of VA mycorrhiza. New Phytol. 115:303-310.
112- **Szalontai, B., Horvath, L.I., Debreczeny, M., Droppa, M. and Horvath, G. 1999.** Molecular rearrangments of thylakoids after heavy metal poisoning, as seen by fourier transform infrared (FTIR) and electron spin resonance (ESR) spectroscopy. Photosyn Res. 61:241-252.
113- **Tasang, A. and Maum, M.A. 1999.** Mycorrhizal fungi increase salt tolerance of Strophostyles helvola in coastalforedunes. University of Waterloo, Canada. Plant Ecol. 144: 159–166.
114- **Trent, J.D., Wallace, L.L., Svejcar, T.J. and Christensen, S. 1998.** Effect of grazing on growth carbohydrate pools and mycorrhizae in winter wheat. Can. J. Plant Sci. 68:115-120.
115- **Vassilev, A., Yordanov, I. and Tsonev, T. 1997.** Effects of Cd^{2+} on the physiological state and photosynthetic activity of young barley plants. Photosynthetica. 34:293-302.
116- **Vassilev, A. and Yordanov, I. 1997.** Reductive analysis of factors limiting growth of cadmium treated plants –review. PlantPhysiology. 23:114- 133.
117- **Virant, klun.I. and Gogala, N. 1995.** Impad of vam on phosphorus nutrition of maize with low soluble phosphate fertilization. J. of plant nutrition. 18(9)-1815-1823.
118- **Weissen horn, I., Mench, M. and Leyval, c. 1995.** Bioavailability of heavy metals and arbuscular mycorrhiza in a sewage sludge amended sandi soil. Soil Biology and Biochem. 27(3). 287-296.
119- **Witte-Claus, P., Tiller-Sarah, A., Talor-Mark, A. and Davieshoward V. 2002.** Addition of nickel to Murashige and Skoog medium in plant tissue culture activates urease and may reduce metabolic stress. Plant Cell Tissue and Organ Cult. 68:103-104.
120- **Yan-de, J., Zhen-li, H.E. and Xio-e, Y. 2007.** Role of rhizobacteria in phytoremeation of heavy metal contaminated soil. J. of Zhejiang Univ. Sci. 8:192-207.

121- **Zhang, W.H. and Tyerman, S.D. 1999.** Inhibition of water channels by $HgCl_2$ in intact wheat root cells. Plant Physiol. 120:849-857.

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

123- **Zho, J.K. 2002.** Salt and drought stress signal transduction in plants. Annu. Rev. Plant Physiol. 53:247-278.

The effects of mycorrhizal symbiosis on the growth and yield of soybean under cadmium stress.

Abstract

One way to increase tolerance to environmental stresses and increase the yield of crop plants is the use of mycorrhizal fungi. Soil inoculation with mycorrhizal growth and yield in the laboratory and in the field increases. In this experiment three species of mycorrhizal fungi application of cadmium stress on the growth and yield of soybean were studied in a pot experiment. This factorial experiment in a randomized complete block design in three replications. Treatments consisted of 4 levels including control mycorrhizal fungi (a1), Glomus Mosseae (a2), G.intraradices (a3) and G.fasciculatum (a4) and 4 levels of cadmium (cadmium nitrate form), including zero (b1), 20 (b2), 40 (b3) and 60 (b4) mg per kg of soil. The results of this study showed that mycorrhiza dry weight of roots, stems, leaves and leaf area as well as the amount of cadmium absorbed by aerial percent of root colonization, root volume and the amount of chlorophyll (a) and chlorophyll is increased in the presence of mycorrhizal fungi. In front of cadmium decreases in dry weight of roots, stems, leaves and leaf area. Cadmium also significantly reduced the volume of roots, plant height and number of branches in concentrations of 20, 40 and 60 mg cadmium.

The interaction between mycorrhiza and cadmium shoot dry weight (second sampling) and significant amount of cadmium absorbed by the shoot so that with increasing concentrations of cadmium and symbiotic mycorrhizal fungi increase the value of this attribute to the absence of mycorrhiza was observed. In general, the survey results suggest that application of mycorrhiza increased plant growth, increase plant tolerance to cadmium stress, helps the body absorb more cadmium from the soil and morphological and physiological traits were improved.

Key words: soybean, mycorrhiza, cadmium.

Faculty of Agriculture

A Thesis for a master's degree in agriculture agriculture trends (MS.C)

The effects of mycorrhizal symbiosis on growth and yield of soybean subjected to cadmium stress

Ehsan Ashabi

Supervisor

Dr. Ahmad Gholami

Dr. Mehdi Baradaran

January 93