بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده کشاورزی
گروه زراعت

تاثیر کاربرد میکوریزای آربوسکولار و کودهای آلی (ورمی کمپوست و اسید هیومیک) بر کارایی جذب و انتقال پتاسیم در سیب زمینی (*Solanum tuberosum L.*)

عباس علی ملک

اساتید راهنما:
دکتر حمیدرضا اصغری
دکتر محمدرضا عامریان

اساتید مشاور:
مهندس مهدی رحیمی
مهندس احمد اخیانی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ماه ۱۳۹۳

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : کشاورزی

گروه : زراعت

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای عباسعلی ملک

تحت عنوان: تاثیر کاربرد میکوریزا آربوسکولار و کودهای آلی (ورمی کمپوست و اسید هیومیک) بر کارایی جذب و انتقال پتاسیم در سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.)

در تاریخ ۱۳۹۳/۶/۳۰ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد اگرواکولوژی مورد ارزیابی و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی : حمیدرضا اصغری		نام و نام خانوادگی : مهدی رحیمی	
نام و نام خانوادگی : محمدرضا عامریان		نام و نام خانوادگی : احمد اخیانی	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی : احمد غلامی		نام و نام خانوادگی : حمید عباسدخت	
نام و نام خانوادگی : حسن مکاریان			
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			

دانشکده کشاورزی
دانشگاه صنعتی شاهرود

تقدیم به

پدر بزرگوارم، که در همه حال همراهی ام نمود

مادرم فداکارم، او که دعای خیرش را بدرقه راهم کرد

برادران و خواهران عزیزم که همواره مشوق و پشتیبانم بوده اند

اساتید ارجمندم که اندیشیدن را به من آموختند نه اندیشه ها

تشکر و قدردانی

سپاس می گویم خداوند منان را که به من نعمت خواندن و نوشتن عطا نمود. در پایان این مرحله از تحصیل بر خود لازم می دانم که از بزرگوارانی که در طی مراحل زندگی و تحصیل یاری ام نمودند قدردانی نمایم.

نخست از پدر و مادر گرامی ام تشکر و قدرانی می نمایم. آنان که دعای خیرشان حامی و پشتیبان اینجانب نه تنها در دوران تحصیل بلکه در تمام زندگی ام بود. از برادران و خواهرانم که با قبول مسئولیت هایم در خانواده فرصت تحصیل را برایم فراهم آوردند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

این پایان نامه تحت راهنمائی های ارزنده و علمی اساتید گرامی ام آقای دکتر حمیدرضا اصغری و آقای دکتر محمدرضا عامریان انجام شد که در طی انجام این پایان نامه حضوری فعال داشته و بی شک بدون مساعدت و یاری ایشان انجام این تحقیق محال بوده است لذا از محبت های بی دریغ آنان صمیمانه سپاسگزارم. از اساتید مشاور پایان نامه آقای مهندس مهدی رحیمی و آقای مهندس احمد اخیانی به سبب راهنمائی های علمی شان و از اساتید محترم داور این پایان نامه آقای دکتر احمد غلامی و آقای دکتر حسن مکاریان که زحمت بازخوانی این پایان نامه را به عهده داشتند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

از کارکنان آموزش دانشکده، از کارشناسان آزمایشگاه های گیاهشناسی، خاکشناسی، زراعت و آبیاری، آقای مهندس حسین پور، آقای مهندس شاکری، آقای مهندس مطهری نژاد و آقای مهندس گلی و از همکلاسی های خوبم و سایر دوستان و سرورانی که به نحوی از الطاف بی ریایشان بهره مند گشتم تشکر و قدردانی می نمایم.

عباس علی ملک

شهریور ۱۳۹۳

تعهد نامه

اینجانب **عباس علی ملک** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی کشاورزی اکولوژیک** دانشکده **کشاورزی** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **تاثیر کاربرد میکوریزای آربوسکولار و کودهای آلی (ورمی کمپوست و اسید هیومیک) بر کارایی جذب و انتقال پتاسیم در سیب زمینی** تحت راهنمائی **دکتر حمیدرضا اصغری و دکتر محمدرضا عامریان** 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

با توجه به تثبیت کودهای شیمیایی در خاک و آلودگی محیط زیست، استفاده از کودهای آلی و زیستی در جهت آزادسازی منابع درون مزرعه‌ای به جا مانده از مصرف سال‌های گذشته که به صورت غیر قابل دسترس هستند می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی و نیل به کشاورزی پایدار باشد. این مطالعه به منظور بررسی تاثیر کاربرد میکوریزا آربوسکولار و کودهای آلی (ورمی کمپوست و هیومیک اسید) بر کارایی جذب و انتقال پتاسیم در سیب زمینی در یک خاک غنی از پتاسیم انجام شد. برای اهداف این مطالعه یک مزرعه با غلظت پتاسیم قابل جذب زیاد انتخاب و آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل سه سطح ورمی کمپوست (۰، ۵ و ۱۰تن در هکتار) و دو سطح هیومیک اسید و دو سطح میکوریز بودند. نمونه برداری طی دو مرحله ۶۵ و ۸۵ روز پس از کاشت صورت گرفت و صفات اندازه‌گیری شده شامل غلظت پتاسیم در برگ و غده بود. سپس با استفاده از فرمول‌های مربوطه کارایی جذب پتاسیم نیز محاسبه شد. نتایج نشان داد که در هر دو نمونه برداری اسید هیومیک با انتقال پتاسیم از بخش هوایی به زیرزمینی باعث افزایش معنی‌دار ($P<0.05$) غلظت پتاسیم بخش زیر زمینی گیاه نسبت به شاهد گردید. که این انتقال منجر به افزایش تعداد غده و کاهش قطر غده، وزن خشک ساقه و ارتفاع بوته شد. همچنین اثر هیچ یک از تیمارها بر کارایی جذب پتاسیم معنی‌دار نشد. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، با استفاده از اسید هیومیک می‌توان هم به صورت مستقیم و هم غیر مستقیم قسمت اعظم پتاسیم مورد نیاز گیاهان در خاک‌های قلیایی را تأمین نموده و آلودگی محیط زیست به خصوص آب‌های سطحی به کودهای شیمیایی را کاهش داد.

کلمات کلیدی: آربوسکولار میکوریزا، اسید هیومیک، پتاسیم، سیب زمینی، ورمی کمپوست

مقالات مستخرج

ملک ع. ع.، اصغری ح. ر.، عامریان م. ر.، اخیانی ا. و رحیمی م. (۱۳۹۳). " تاثیر کاربرد میکوریزا آربوسکولار و کودهای آلی (ورمی کمپوست و هیومیک اسید) بر غلظت فسفر در برگ و غده سیب زمینی در یک خاک غنی از فسفر". چهارمین کنفرانس بین المللی چالش‌های زیست محیطی و گاهشناسی درختی. ساری. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

ملک ع. ع.، عامریان م. ر.، اصغری ح. ر.، اخیانی ا. و رحیمی م. (۱۳۹۳). " تاثیر کاربرد میکوریزا آربوسکولار و کودهای آلی (ورمی کمپوست و هیومیک اسید) بر غلظت پتاسیم در برگ و غده سیب زمینی در یک خاک غنی از پتاسیم". اولین همایش ملی مدیریت پایدار منابع خاک و محیط زیست. کرمان. دانشگاه شهید باهنر کرمان

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- کلیات ۴

۱-۲-۱- سیب زمینی ۴

۱-۲-۱-۱- اهمیت سیب زمینی ۴

۱-۲-۱-۲- تاریخچه‌ی کاشت سیب زمینی ۵

۱-۲-۱-۳- گیاهشناسی سیب زمینی ۶

۱-۲-۱-۴- مراحل رشد و نمو سیب زمینی ۸

۱-۲-۱-۵- سازگاری و اکولوژی ۹

۱-۲-۱-۶- ارقام سیب زمینی ۱۰

۱-۲-۱-۷- خصوصیات رقم آگریا ۱۱

۱-۲-۱-۸- نیاز غذایی ۱۱

۱-۲-۲- جایگاه شیمیایی پتاسیم ۱۲

۱-۲-۲-۱- پتاسیم در خاک ۱۲

۱-۲-۲-۲- اشکال مختلف پتاسیم در خاک ۱۳

۱-۲-۲-۳- تثبیت پتاسیم ۱۳

۱-۲-۲-۴- پتاسیم در گیاه ۱۴

۱-۲-۲-۴-۱- فعالیت آنزیمی ۱۴

۱-۲-۲-۴-۲- فتوسنتز و نقل و انتقال ۱۴

۱-۲-۲-۴-۳- سنتز پروتئین و نشاسته ۱۵

۱-۲-۲-۵- علائم کمبود پتاسیم در سیب زمینی ۱۶

۱-۲-۲-۶- آزادسازی پتاسیم ۱۶

۱-۲-۳- اسید هیومیک ۱۶

۱-۲-۴- ورمی کمپوست ۱۷

۱-۲-۵- میکوریزا ۱۸

۱-۲-۵-۱- تعریف و تاریخچه میکوریزا ۱۸

۱-۲-۵-۲- طبقه بندی قارچ‌های میکوریز ۱۹

۱-۲-۵-۳- چگونگی و مراحل رشد میکوریزا ۲۰

۱-۲-۵-۴- اهمیت میکوریزا در بوم نظام‌ها ۲۱

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱- نقش اسید هیومیک در گیاه ۲۴

۲-۱-۱- تأثیر اسید هیومیک بر هورمون‌ها و مواد گیاهی ۲۴

۲-۱-۲- تأثیر اسید هیومیک بر رشد ریشه و ساقه ۲۴

۲-۱-۳- تاثیر اسید هیومیک بر میزان کلروفیل و فتوسنتز ۲۵

۲-۲- نقش اسید هیومیک در خاک ۲۶

۲-۲-۱- تأثیر اسید هیومیک بر جذب عناصر غذایی ۲۶
۲-۲-۲- تأثیر اسید هیومیک بر اسیدیته خاک ۲۷
۲-۲-۳- تأثیر اسید هیومیک بر جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک ۲۷
۲-۳- تاثیر مصرف اسید هیومیک در سیب زمینی ۲۸
۲-۴- تاثیر مصرف اسید هیومیک در سایر گیاهان ۲۹
۲-۵- تاثیر ورمی کمپوست بر جذب و فراهمی عناصر غذایی ۲۹
۲-۶- تاثیر ورمی کمپوست بر بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک ۳۰
۲-۷- تاثیر ورمی کمپوست بر افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ۳۲
۲-۸- تاثیر ورمی کمپوست در تلفیق با کودهای شیمیایی ۳۲
۲-۹- برتری کاربرد ورمی کمپوست نسبت به کاربرد کمپوست و کود دامی ۳۳
۲-۱۰- اثر میکوریز آربوسکولار (AM) بر کیفیت خاک ۳۴
۲-۱۱- میکوریزا و روابط آبی ۳۴
۲-۱۲- میکوریزا و اختصاص مواد فتوسنتزی ۳۵
۲-۱۳- اثر همزیستی میکوریز بر جذب عناصر غذایی ۳۵
۲-۱۳-۱- میکوریز و جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم (NPK) ۳۵
فصل سوم: مواد وروش‌ها
۳-۱- موقعیت جغرافیایی و مشخصات آب و هوایی محل اجرای آزمایش ۴۰
۳-۲- خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش ۴۰
۳-۳- مشخصات طرح آزمایشی و تیمارهای آزمایش ۴۰
۳-۴- نحوه‌ی اعمال تیمارها و نقشه طرح ۴۱
۳-۵- کاشت و داشت ۴۱
۳-۶- نمونه برداری ۴۱
۳-۷- صفات اندازه‌گیری شده و روش اندازه‌گیری ۴۲
۳-۷-۱- قطر غده ۴۲
۳-۷-۲- وزن خشک ۴۲
۳-۷-۳- اندازه‌گیری کلروفیل برگ ۴۳
۳-۷-۴- غلظت پتاسیم برگ و غده ۴۳
۳-۷-۵- کارایی جذب پتاسیم ۴۳
۳-۷-۶- غلظت فسفر برگ و غده ۴۳
۳-۷-۷- تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها ۴۴
۳-۸- روش تجزیه و تحلیل نتایج ۴۴
فصل چهارم: نتایج و بحث
۴-۱- تعداد غده در بوته ۴۶
۴-۲- قطر غده ۵۰
۴-۲-۱- قطر بزرگ غده ۵۰
۴-۲-۲- قطر کوچک غده ۵۳
۴-۳- وزن تر غده (در بوته) ۵۵
۴-۴- وزن خشک غده (در بوته) ۵۵

۴-۵- وزن خشک برگ ۵۶
۴-۶- وزن خشک ساقه ۵۹
۴-۷- وزن خشک ریشه ۶۳
۴-۸- تجمع ماده خشک (TDM) ۶۶
۴-۹- شاخص برداشت ۶۹
۴-۱۰- ارتفاع گیاه ۶۹
۴-۱۱- میزان کلروفیل برگ (عددSPAD) ۷۱
۴-۱۲- غلظت پتاسیم در برگ و غده ۷۶
۴-۱۲-۱- غلظت پتاسیم برگ ۷۶
۴-۱۲-۲- غلظت پتاسیم غده ۷۹
۴-۱۳- جذب کل پتاسیم برگ و غده ۸۲
۴-۱۳-۱- جذب کل پتاسیم برگ ۸۲
۴-۱۳-۲- جذب کل پتاسیم غده ۸۳
۴-۱۴- غلظت فسفر در برگ و غده ۸۳
۴-۱۴-۱- غلظت فسفر برگ ۸۳
۴-۱۴-۲- غلظت فسفرغده ۸۶
۴-۱۵- جذب کل فسفر برگ و غده ۸۷
۴-۱۵-۱- جذب کل فسفر برگ ۸۷
۴-۱۵-۲- جذب کل فسفر غده ۸۹
۴-۱۶- درصد همزیستی میکوریزایی ۸۹
۴-۱۷- کارایی جذب پتاسیم ۹۴
نتیجه‌گیری کلی ۹۴
پیشنهادات ۹۵
پیوست ها ۹۷
منابع ۱۰۹

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۱- نقشه‌ی اجرای طرح ۹۸
شکل ۴-۱- اثر اصلی اسید هیومیک بر تعداد غده در بوته در نمونه برداری سوم ۴۷
شکل ۴-۲- اثر متقابل سه گانه بر تعداد غده در بوته در نمونه برداری سوم ۴۹
شکل ۴-۳- اثر اصلی میکوریز بر قطر بزرگ غده در نمونه برداری سوم ۵۱
شکل ۴-۴- اثر اصلی اسید هیومیک بر قطر بزرگ غده در نمونه برداری سوم ۵۱
شکل ۴-۵- اثر متقابل سه گانه بر قطر بزرگ غده در نمونه برداری سوم ۵۲
شکل ۴-۶- اثر اصلی اسید هیومیک بر قطر کوچک غده در نمونه برداری سوم ۵۳
شکل ۴-۷- اثر اصلی میکوریز بر قطر کوچک غده در نمونه برداری سوم ۵۴
شکل ۴-۸- اثر متقابل سه گانه بر قطر کوچک غده در نمونه برداری سوم ۵۵
شکل ۴-۹- اثر متقابل ورمی کمپوست و اسید هیومیک بر وزن خشک غده در نمونه برداری دوم ۵۶
شکل ۴-۱۰- اثر متقابل سه گانه بر وزن خشک برگ در نمونه برداری اول ۵۷
شکل ۴-۱۱- اثر متقابل ورمی کمپوست و میکوریز بر وزن خشک برگ در نمونه برداری پنجم ۵۹
شکل ۴-۱۲- اثر متقابل سه گانه بر وزن خشک ساقه در نمونه برداری اول ۶۰
شکل ۴-۱۳- اثر اصلی اسید هیومیک بر وزن خشک ساقه در نمونه برداری سوم ۶۱
شکل ۴-۱۴- اثر متقابل ورمی کمپوست و میکوریز بر وزن خشک ساقه در نمونه برداری پنجم ۶۳
شکل ۴-۱۵- اثر متقابل سه گانه بر وزن خشک ریشه در نمونه برداری اول ۶۴
شکل ۴-۱۶- اثر متقابل میکوریز و اسید هیومیک بر وزن خشک ریشه در نمونه برداری دوم ۶۵
شکل ۴-۱۸- اثر متقابل سه گانه بر وزن خشک ریشه در نمونه برداری سوم ۶۶
شکل ۴-۱۹- اثر متقابل ورمی کمپوست و اسید هیومیک بر وزن خشک کل در نمونه برداری دوم ۶۷
شکل ۴-۲۰- روند تغییرات وزن ماده خشک کل تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی درطی ۵ مرحله نمونه برداری ۶۸
شکل ۴-۲۱- اثر اصلی اسید هیومیک بر ارتفاع گیاه در نمونه برداری سوم ۷۱
شکل ۴-۲۲- اثر اصلی اسید هیومیک بر ارتفاع گیاه در نمونه برداری چهارم ۷۱
شکل ۴-۲۳- اثر متقابل میکوریز و اسید هیومیک بر میزان کلروفیل برگ در نمونه برداری دوم ۷۳
شکل ۴-۲۴- اثر متقابل ورمی کمپوست و میکوریز بر میزان کلروفیل برگ در نمونه برداری سوم ۷۴
شکل ۴-۲۵- اثر متقابل میکوریز و اسید هیومیک بر میزان کلروفیل برگ در نمونه برداری چهارم ۷۵
شکل ۴-۲۶- اثر متقابل سه گانه بر میزان کلروفیل برگ در نمونه برداری چهارم ۷۶
شکل ۴-۲۷- اثر متقابل میکوریز و اسید هیومیک بر غلظت پتاسیم برگ در نمونه برداری اول ۷۸
شکل ۴-۲۸- اثر متقابل ورمی کمپوست و اسید هیومیک بر غلظت پتاسیم برگ در نمونه برداری سوم ۷۸
شکل ۴-۲۹- اثر اصلی ورمی کمپوست بر غلظت پتاسیم غده در نمونه برداری اول ۸۰
شکل ۴-۳۰- اثر اصلی اسید هیومیک بر غلظت پتاسیم غده در نمونه برداری اول ۸۱
شکل ۴-۳۱- اثر اصلی اسید هیومیک بر غلظت پتاسیم غده در نمونه برداری سوم ۸۲
شکل ۴-۳۲- اثر متقابل سه گانه بر جذب کل پتاسیم برگ در نمونه برداری اول ۸۳
شکل ۴-۳۳- اثر متقابل ورمی کمپوست و اسید هیومیک بر غلظت فسفر برگ در نمونه برداری اول ۸۴
شکل ۴-۳۴- اثر اصلی میکوریز بر غلظت فسفر برگ در نمونه برداری سوم ۸۶

شکل ۴-۳۵- اثر اصلی میکوریز بر غلظت فسفر غده در نمونه برداری اول ۸۶
شکل ۴-۳۶- اثر اصلی ورمی‌کمپوست بر جذب کل فسفر برگ در نمونه برداری اول ۸۸
شکل ۴-۳۷- اثر متقابل سه گانه بر جذب کل فسفر برگ در نمونه برداری اول ۸۹
شکل ۴-۳۸- اثر اصلی ورمی کمپوست بر درصد همزیستی میکوریزایی در نمونه برداری اول ۹۰
شکل ۴-۳۹- اثر اصلی میکوریز بر درصد همزیستی میکوریزایی در نمونه برداری اول ۹۱
شکل ۴-۴۰- اثر اصلی میکوریز بر درصد همزیستی میکوریزایی در نمونه برداری سوم ۹۳

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱- تجزیه واریانس تعداد غده در بوته تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید ۹۹
جدول ۴-۲- تجزیه واریانس قطر بزرگ غده تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید ۹۹
جدول ۴-۳- ضرایب همبستگی ساده بین تعداد غده و قطر غده ۹۹
جدول ۴-۴- تجزیه واریانس قطر کوچک غده تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید ۱۰۰
جدول ۴-۵- تجزیه واریانس وزن‌تر غده در بوته تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید ۱۰۰
جدول ۴-۶- تجزیه واریانس وزن خشک غده در بوته تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید ۱۰۱
جدول ۴-۷- تجزیه واریانس وزن خشک برگ تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید ۱۰۱
جدول ۴-۸- تجزیه واریانس وزن خشک ساقه تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید ۱۰۲
جدول ۴-۹- تجزیه واریانس وزن خشک ریشه تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید ۱۰۲
جدول ۴-۱۰- تجزیه واریانس وزن ماده خشک کل تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید ۱۰۳
جدول ۴-۱۱- تجزیه واریانس شاخص برداشت تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید ۱۰۳
جدول ۴-۱۲- تجزیه واریانس ارتفاع گیاه تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید ۱۰۴
جدول ۴-۱۳- تجزیه واریانس محتوی کلروفیل برگ تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید ۱۰۴
جدول ۴-۱۴- تجزیه واریانس غلظت پتاسیم تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید ۱۰۵
جدول ۴-۱۵- تجزیه واریانس جذب کل پتاسیم تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید ۱۰۵
جدول ۴-۱۶- تجزیه واریانس غلظت فسفر تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید ۱۰۶
جدول ۴-۱۷- تجزیه واریانس جذب کل فسفر تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید ۱۰۶
جدول ۴-۱۸- تجزیه واریانس درصدهمزیستی میکوریزایی تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید ۱۰۷
جدول ۴-۱۹- تجزیه واریانس کارایی جذب پتاسیم تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید ۱۰۷

فصل اول:

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

از زمان جنگ جهانی دوم مصرف کودهای شیمیایی به منظور افزایش عملکرد گیاهان زراعی به خصوص در کشورهای در حال توسعه، رشد چشمگیری داشته است. طی چند دهه‌ی اخیر نیز، استفاده از ارقام پر محصول سبب افزایش تولیدات کشاورزی و به موازات آن مصرف کودهای شیمیایی افزایش یافته است. این کودها به دلیل مصرف راحت‌تر و اثر بخشی مناسب بیش از سایر کودها در گذشته مصرف شده‌اند، غافل از اینکه مصرف بیش از حد آن‌ها علاوه بر مشکلات اقتصادی، آلودگی‌های زیست محیطی عدیده‌ای از جمله برهم خوردن تعادل جذب عناصر غذایی و تجمع آلاینده‌ها در خاک، گیاه و آب‌های سطحی و زیر زمینی را به دنبال دارد (Sharma, 2002a). امروزه پاسخ فیزیولوژیک محصولات زراعی به کودهای شیمیایی نیز به حد نهایی خود رسیده است و اکنون در بسیاری از نقاط جهان، مصرف کود بیشتر چیزی بر محصول نمی‌افزاید (Brown, 1997). برای حل این معضل ضروری به نظر می‌رسد راهکارهای مفیدی در زمینه‌ی کاهش مصرف انواع کودهای شیمیایی و متعاقب آن آلودگی‌های زیست محیطی ارائه گردد.

امروزه تلاش برای دستیابی به افزایش محصول با واژه پایداری همراه شده است. استفاده از کشاورزی پایدار بر پایه مصرف کودهای آلی و بیولوژیکی با هدف حذف یا تقلیل چشمگیر در مصرف نهاده‌های شیمیایی، یک راه حل مطلوب جهت غلبه بر مشکلات زیست محیطی به شمار می‌آید. در واقع کشاورزی پایدار به عنوان یک نظام زراعی، شامل رهیافت‌هایی است که وابستگی کشاورزان به برخی نهاده‌های شمیایی را کاهش داده و با جایگزین کردن آنها با نهاده‌های بیولوژیک منجر به کاهش تخریب محیط زیست و تعادل بین نسل‌ها می‌شود.

سیب زمینی (*Solanum tuberosum L.*) یکی از محصولات غده‌ای مهم است و بدلیل داشتن موادی همچون نشاسته، پروتئین‌ها و ویتامین‌های مختلف (مانند A و C) از اهمیت خاصی در جیره‌ی غذایی مردم جهان برخوردار است (Haase *et al*., 2007). در راستای افزایش عملکرد هکتاری و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی دو عامل به زراعی و به نژادی نقش اساسی به عهده دارند. چنین به نظر

می‌رسد که یکی از دلایل اصلی پایین بودن عملکرد متوسط هکتاری سیب زمینی در کشور (۲۰ تن در هکتار) عموما ناشی از عدم توجه به مسائل به زراعی این محصول است که در این میان تغذیه عمده‌ترین نقش را به عهده دارد. از میان عناصر غذایی، پتاسیم به میزان زیاد توسط سیب زمینی جذب می‌گردد. در صورت کمبود پتاسیم قابل استفاده در خاک، دوره رشد سیب زمینی کوتاه و در نتیجه از میزان تولید کاسته می‌شود، از طرفی فزونی پتاسیم در خاک (۶۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) نیز موجب افزایش شوری خاک می‌شود و این امر با توجه به حساس بودن گیاه سیب زمینی به شوری می‌تواند در دراز مدت ایجاد مشکل نماید. لذا برای حصول عملکرد مطلوب (بیش از ۳۰ تن در هکتار) مقدار پتاسیم در خاک و گیاه نباید کمتر از حد بحرانی آن باشد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۴).

شهر مجن واقع در ۳۷ کیلومتری شمال غرب شاهرود (استان سمنان) یکی از قطب‌های تولید سیب زمینی کشور محسوب می‌شود، اما در سال‌های اخیر به علت عدم مدیریت صحیح نهاده‌های درون و برون مزرعه‌ای عملکرد این محصول کاهش چشمگیری داشته است. خاک‌های این منطقه عمدتا آهکی می‌باشند و مقدار پتاسیم در آن بین ۲۰۰ تا ۸۰۰ پی‌پی‌ام متغیر است. با وجود مقدار کافی پتاسیم در خاک این منطقه، مقدار آن در گیاه در حد مطلوب (۳/۵-۵ درصد) نمی‌باشد. به نظر می‌رسد یکی از محدودیت‌های مهم کارایی پایین پتاسیم وجود یون‌های کلسیم و منیزیم در خاک‌های آهکی این منطقه است. از آنجا که سالانه مقدار زیادی کودهای پتاسه به خاک‌های آهکی این منطقه افزوده می‌شود بنابراین برهمکنش ماده آلی و کود زیستی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. هدف از این تحقیق بررسی تاثیر کاربرد میکوریزا آربوسکولار و کودهای آلی (ورمی کمپوست و اسید هیومیک) بر کارایی جذب و انتقال پتاسیم در برگ و غده سیب زمینی در یک خاک غنی از پتاس از منطقه مجن بود تا از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و خطرات زیست میحطی آن جلوگیری شود.

۱-۲- کلیات

۱-۲-۱- سیب زمینی

۱-۲-۱-۱- اهمیت سیب زمینی

یکی از اهداف مهم دولت‌ها در مقابله با گرسنگی، بالا بردن سطح تغذیه می‌باشد. در بین محصولات مختلف تامین کننده منابع غذایی انسان ۱۵ محصول وجود دارد که ۹۰ درصد نیازمندی‌های غذایی مردم جهان را تامین می‌کند. یکی از این ۱۵ محصول سیب زمینی می‌باشد (میرکمالی و همکاران، ۱۳۸۳). سیب زمینی از نظر توازن پروتئین در غده‌ها، دارا بودن اسیدهای آمینه مهم سازنده پروتئین، ویتامین‌ها و مواد معدنی در تغذیه انسان دارای اهمیت ویژه می‌باشد به گونه‌ایی که از نظر سطح زیر کشت و تولید در دنیا بعد از گندم، برنج و ذرت در مقام چهارم قرار دارد. این محصول در حدود ۱۴۰ کشور کشت می‌شود که بیش از ۱۰۰ کشور آن در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری واقع شده‌اند، اما هنوز بیشترین تولید در مناطق معتدله در کشورهای صنعتی متمرکز است (رضایی و سلطانی، ۱۳۸۳).

در جهان و در کشور ما سیب زمینی یکی از محصولات زراعی اساسی به شمار می‌رود و هم اکنون یکی از مهمترین مواد غذایی مردم کشور ایران است و بعد از غلات نیاز کشور به این محصول اساسی در درجه دوم اهمیت قرار دارد (مبلی و همکاران، ۱۳۸۹). شاید کمتر خانواده‌ایی است که روزانه سیب زمینی را در برنامه غذایی خود قرار ندهد. در ۱۰۰ گرم سیب زمینی ترکیبات زیر وجود دارد : آب ۷۵ درصد، کربوهیدرات ۲۲ درصد، پروتئین ۱/۵ درصد، چربی ۱ درصد، مواد کانی ۰/۶ درصد، فیبر ۰/۴ درصد، ویتامین‌های مختلف از قبیل A، B، نیاسین، اسید پانتوتنیک، اسید فولیک، بیوتن و C. که میزان ویتامین‌های A و C بیشتر از سایر ویتامین‌های آن می‌باشد. همچنین ترکیباتی مانند پتاسیم، فسفر، کلسیم، منگنز، مس و آهن و مقدار کمی هم از عناصر روی، نیکل، کادمیوم و سرب. مقدار پتاسیم سیب زمین خیلی زیاد است ولی مقدار کمی سدیم دارد (دانشور، ۱۳۸۲).

از نظر اهمیت غذایی سیب زمینی نسبت به غلات، مواد غذایی و انرژی بیشتری در واحد سطح تولید می‌کند، زیرا عملکرد متوسط گندم ۴ تن در هکتار و سیب زمینی ۲۵ تن در هکتار است و با توجه به این که ۷۵ درصد وزن سیب زمینی را آب و فقط ۲۵ درصد آن را ماده خشک تشکیل می‌دهد، باز هم ۶/۲۵ تن مواد غذایی خشک در هکتار را تولید می‌کند که حدود ۵۰ درصد بیشتر از عملکرد گندم است. با توجه به این که ۲/۲ درصد ترکیبات غده سیب زمینی را پروتئین و نزدیک ۲۰ درصد آن را ماده قندی تشکیل می‌دهد، بنابراین از یک هکتار با تولید حداقل ۲۵ تن سیب زمینی، ۵۵۰ کیلوگرم پروتئین و بالغ بر ۸۰ هزار مگاژول انرژی تولید می‌شود که این مقدار در مقایسه با گندم و برنج خیلی بیشتر است (مبلی و همکاران، ۱۳۸۹).

۱-۲-۱-۲- تاریخچه‌ی کاشت سیب زمینی

کشت سیب زمینی و استفاده از آن به وسیله بشر سابقه طولانی دارد. در ابتدا سیب زمینی به عنوان یک گیاه دارویی مورد استفاده قرار می‌گرفته است. سیب زمینی گیاه بومی آمریکای جنوبی می‌باشد. به احتمال زیاد کشور پرو اولین مکانی بوده که کاشت سیب زمینی ازآنجا گزارش شده است (دانشور، ۱۳۸۲). تحقیقات انجام گرفته نشان می‌دهد «اینکاها» که در ۲۰۰۰ سال قبل ازمیلاد مسیح در سرزمین پرو تمدن درخشانی داشتند، آن را کشت و مورد استفاده غذایی قرار می‌دادند (Splittstoesser, 1990). برای اولین بار در قرن شانزدهم (سال ۱۵۶۵ میلادی)، توسط کاشفین اسپانیولی به اروپا وارد گردید و در قرن هجدهم و نوزدهم میلادی در کشورهای مختلف اروپایی، سیب زمینی به طور گسترده‌ای برای تولید پوره مورد استفاده قرار گرفت. این محصول جای خود را در میان سایر محصولات پیدا کرده است و امروزه در تغذیه مردم این کشورها ارزش حیاتی دارد. سابقه کشت سیب زمینی در ایران به حدود ۲۰۰ سال قبل در منطقه فریدن اصفهان بر می‌گردد که کشت آن به صورت سنتی صورت می‌گرفت و عملکرد آن به طور متوسط حدود ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده است (پوریای ولی، ۱۳۸۹).

۱-۲-۱-۳- گیاهشناسی سیب زمینی

سیب‌زمینی گیاهی یکساله با نام علمی *Solanum tuberosum L.* از تیره بادمجانیان (Solanaceae) و آتوتتراپلوئید با ۴۸ کروموزوم می‌باشد (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۴). این تیره بیش از ۹۰ جنس و ۲۰۰۰ گونه دارد (دانشور، ۱۳۸۲). سیب زمینی گیاهی دو لپه، علفی با یک یا چند ساقه اصلی و معمولاً به فرم ایستاده رشد می‌کند. ارتفاع بوته به ۶۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر می‌رسد. طول دوره رشد گیاه به رقم و شرایط تولید بستگی زیادی داشته و از ۳ تا ۶ ماه متغیر است و جهت بهره‌برداری از غده‌های زیر زمینی آن کشت می‌شود (رضایی و سلطانی، ۱۳۸۳). بخش‌های این گیاه عبارتند از:

گل: گل‌های سیب‌زمینی منظم، دارای رنگ سفید مایل به قرمز ارغوانی است که به صورت گل آذین پنج تایی می‌باشد. گرده، با باد انتقال می‌یابد و خودگشنی به طور طبیعی، انجام می‌شود. دگرگشنی در این محصول نادر است و در صورت وقوع، به نظر می‌رسد حشرات در آن دخالت دارند (مبلی و همکاران، ۱۳۸۹).

میوه: سیب زمینی دارای میوه سته است که به رنگ‌های سیاه و یا بنفش وجود دارد. میوه غیرخوراکی و دارای سولانین و به قطر دو سانتی‌متر می‌باشد. بعضی از ارقام سیب زمینی تولید تعداد زیادی بذر می‌کند در حالی که تعدادی از آنها به ندرت تولید بذر می‌نمایند و ارقامی از نظر تولید بذر حد متوسط هستند، غیر از کارهای تحقیقاتی و مسائل مربوط به اصلاح گیاه، از این رو بذور کمتر برای تکثیر سیب زمینی استفاده می‌شود (رستگار، ۱۳۸۵).

برگ: برگ سیب‌زمینی کمی کرکدار بوده و به صورت متناوب و مرکب و هر برگ دارای ۹ یا بیشتر برگچه می‌باشد. کرک‌هایی که در سطح برگ وجود دارند حاوی مقداری سولانین بوده که این سم می‌تواند یک سیستم دفاعی بخصوص در مقابل شته باشد (رستگار، ۱۳۸۵).

ساقه: دو نوع ساقه در سیب‌زمینی وجود دارد، نوع اول ساقه‌های هوایی هستند که طول آنها ۶۰ تا ۱۵۰ سانتی متر می‌رسد. در ابتدا سبز بوده و ممکن است بر اثر پیری و تجمع ترکیباتی چون آنتوسیانین به رنگ های قرمز و یا بنفش در آیند. ساقه هوایی می‌تواند به صورت خوابیده روی زمین

یا به صورت کاملاً ایستاده باشد. نوع دوم ساقه‌های زیر زمینی هستند که به آن دستگ یا استولن می‌گویند. ساقه زیر زمینی به صورت رونده و افقی در سطح زیرین خاک رشد می‌کند و از محل طوقه و یا از قسمت‌های مختلف ساقه‌های هوایی که در زمین قرار دارند، خارج می‌شوند و دارای انشعابات فراوانی هستند (رستگار، ۱۳۸۵). تعداد این انشعابات در ابتدا کم بوده، ولی به تدریج بر تعداد آن ها افزوده می‌گردد. تعداد، طول و قطر استولن‌ها به عوامل زیادی بستگی دارد. شرایط آب و هوایی و رقم از این جمله عوامل هستند. طول استولن‌ها بین ۳۰ تا ۵۰ سانتی متر و قطر آن بین ۲ تا ۳ میلی متر متغیر است. انتهای استولن ها متورم شده و پر از اندوخته غذایی می‌شوند و غده‌های سیب زمینی را به وجود می‌آورند. البته تمام استولن ها تولید غده نمی‌نمایند (مبلی و همکاران، ۱۳۸۹).

ریشه: بوته‌های رشد یافته از بذرهای حقیقی، یک ریشه راست و باریک توسعه می‌دهند که از آن انشعابات جانبی به وجود می‌آیند. بوته‌های رشد یافته از غده در گره‌های ساقه زیرزمینی و استولن تولید ریشه‌های نابجا می‌کنند. در سیب زمینی ریشه ها کم عمق هستند (۴۰ تا ۵۰ سانتی متر)، اما اگر لایه‌های غیر قابل نفوذ یا تغیر ناگهانی خاک از نوعی به نوع دیگر در پروفیل خاک وجود نداشته باشد، عمق ریشه ممکن است تا یک متر نیز برسد (رضایی و سلطانی، ۱۳۸۳).

غده: غده را می‌توان به عنوان بخشی از ساقه در نظر گرفت که برای ذخیره سازی مواد غذایی و تولید مثل سازش یافته است. گاهی در کنار برگ‌های ساقه غده‌های هوایی تشکیل می‌شود. این امر زمانی رخ می‌دهد که تولید مواد غذایی توسط شاخه و برگ ادامه داشته باشد، ولی انتقال فرآورده‌های آسیمیلاسیون به غده‌ها متوقف شده باشد. این توقف انتقال ممکن است در اثر صدمات مکانیکی یا هجوم قارچ‌ها به قسمت تحتانی ساقه ایجاد شود (رضایی و سلطانی، ۱۳۸۳). شکل غده‌های سیب زمینی ممکن است گرد، پهن، تخم مرغ شکل، هلالی کشیده، تخم مرغی کشیده، پهن و کشیده ضخیم باشند. همچنین گوشت سیب زمینی به رنگ‌های سفید یکنواخت، سفید کرمی، زرد، قرمز، قرمز قهوه ای و قرمز روشن دیده می‌شود. روی غده جوانه ها به وجود می‌آیند که اصطلاحا به آن‌ها

«چشم[1]» می‌گویند. در واقع هر چشم از سه جوانه تشکیل گردیده است که ازبرگ‌های فلس مانندی پوشیده شده است که به آنها «ابرو[2]» می‌گویند. هر غده سیب زمینی دارای جوانه‌های جانبی و انتهایی است. جوانه‌های انتهایی غده سیب زمینی در نقطه مقابل جوانه ای قرار دارد که غده به ساقه زیر زمینی متصل است (دانشور، ۱۳۸۲).

۱-۲-۱-۴- مراحل رشد و نمو سیب زمینی

تقسیم بندی نمو سیب زمینی برای مقاصد زراعی ارتباطی به گلدهی و رسیدگی میوه و دانه ندارد، بلکه بر مبنای تشکیل و رشد غده انجام شده است. نمو سیب زمینی شامل مراحل زیر است:

کاشت تا سبز شدن : طی این دوره جوانه رشد کرده و اولین برگ به طور کامل از خاک خارج می‌شود. طول این دوره به میزان خواب جوانه‌های موجود روی غده، دما و رطوبت خاک، عمق و روش کاشت، بافت و ساختمان خاک بستگی داشته و غالباً ۳ تا ۴ هفته می‌باشد (خواجه پور، ۱۳۸۳).

رشد رویشی : این دوره از سبز شدن آغاز شده و با شروع غده‌بندی به اتمام می‌رسد. طی این مدت که به حدود ۳ تا ۵ هفته می‌رسد، برگ‌ها و ساقه‌ها در هوا و ریشه‌ها و استولن‌ها در زیر خاک رشد می‌کنند (خواجه پور، ۱۳۸۳).

آغاز غده‌بندی : در این زمان اولین غده به اندازه یک نخود در راس یک استولن مشاهده می‌شود. زمان شروع غده‌بندی تحت تاثیر میزان انتقال مواد غذایی به سمت ریشه قرار دارد. اما معمولاً هنگامی که ارتفاع بوته به ۱۵ تا ۲۰ سانتی متر می‌رسد، شروع می‌شود. در بعضی ارقام و شرایط، این مرحله با اوایل باز شدن گل‌ها همراه است. دوران غده‌بندی، که طی آن غدد قابل برداشت تشکیل می‌گردند، در شرایط مساعد زراعی حدود دو هفته به طول می‌انجامد (خواجه پور، ۱۳۸۳). شاخص سطح برگ در این مرحله بین ۱ تا ۳ می‌باشد (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۴).

1-Eye
2-Eyebrows

رشد غده : گیاه در این مرحله در حداکثر رشد رویشی می‌باشد، پوشش زمین کامل است و غدد در حال رشد سریع می‌باشد. دوره رشد غده ۶۰ تا ۹۰ روز به طول می‌انجامد. رشد ساقه با ایجاد انشعاباتی ادامه می‌یابد و گلدهی بر روی ساقه‌های اصلی و انشعابات ظاهر می‌شود (خواجه پور، ۱۳۸۳). شاخص سطح برگ در این مرحله به حداکثر خود یعنی ۳/۵ تا ۶ می‌رسد و سپس با ریزش برگ‌های مسن‌تر تا نزدیک به ۱ کاهش می‌یابد (کوچکی و همکارن، ۱۳۷۴).

رسیدگی : در این مرحله بخش هوایی گیاه پیر به نظر می‌رسد و برگ‌ها شروع به زرد شدن می‌کنند. پوست چوب پنبه‌ای غدد در حال تشکیل و ضخیم شدن است. در این زمان درصد ماده خشک غده به حد مطلوب منطبق با شرایط تولید، رقم و هدف تولید (۱۷ تا ۲۳ درصد) رسیده و پوست چوب پنبه‌ای در اثر مالش با دست جدا نمی‌شود (خواجه پور، ۱۳۸۳). ارقام زودرس ظرف ۹۰ تا ۱۰۰ روز بعد از کاشت به مرحله رسیدگی می‌رسند، درحالی‌که ارقام دیررس ۱۵۰ روز یا بیشتر نیاز دارند (کوچکی و همکاران،۱۳۷۴).

۱-۲-۱-۵- سازگاری و اکولوژی

سیب زمینی در اکثر نواحی جهان و در محدوده عرض جغرافیایی ۶۵ درجه شمالی تا ۴۵ درجه جنوبی و از سطح دریا تا ارتفاع بیش از ۳۵۰۰ متر از سطح دریا (بسته به عرض جغرافیایی) مورد کشت قرار می‌گیرد. سیب‌زمینی گیاهی سرما دوست و حساس به گرما است که رشد خوبی در دمای شبانه روز حدود ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد دارد. شروع رشد جوانه در دمای ۷ تا ۹ درجه سانتی‌گراد به کندی آغاز می‌شود، در دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد دارای رشد حداکثر است و در دمای ۶ درجه سانتی‌گراد متوقف می‌شود. دمای مناسب برای غده‌دهی ۱۶ تا ۱۹ درجه سانتی‌گراد است. شب‌های خنک برای تجمع کربوهیدارت‌ها مطلوب می‌باشد. سیب‌زمینی به یخبندان حساس می‌باشد. اندام‌های رویشی از دمای ۲- درجه سانتی‌گراد یا کمتر آسیب می‌بینند. سرمازدگی غدد ممکن است به دلیل کشت دیرهنگام و یا تاخیر در برداشت در نواحی سرد اتفاق افتد (خواجه پور، ۱۳۸۳).

سیب‌زمینی از نظر گلدهی روز بلند و از نظر غده‌بندی، گیاهی روز کوتاه به شمار می‌رود. شدت نور زیاد برای غده‌دهی زود هنگام مناسب است و موجب افزایش عملکرد و درصد ماده خشک غده می‌شود. اما شدت نور خیلی زیاد می‌تواند موجب تنش رطوبتی، زودرسی و کاهش عملکرد گردد. سیب‌زمینی حساسیت زیادی به pH خاک ندارد و در محدوده pH حدود ۶ تا ۷/۵ به خوبی رشد می‌کند. سیب‌زمینی از گیاهان حساس به شوری خاک محسوب می‌شود. (خواجه پور، ۱۳۸۳).

۱-۲-۱-۶- ارقام سیب زمینی

ارقام سیب زمینی از لحاظ طول دوره‌ای که لازم است تا گیاه مراحل زندگی خود را کامل کند و غده‌های رسیده و بالغ تولید نماید از ۳ تا بیش از ۶ ماه نیاز دارد و به ۴ گروه زودرس، میان رس، دیر رس و کاملا دیر رس تقسیم بندی می‌شود. طول دوره رشد در ارقام زودرس ۹۰ تا ۱۲۰ روز، در ارقام میان‌رس ۱۲۰ تا ۱۵۰ روز، در ارقام دیررس ۱۵۰ تا۱۸۰ روز و در ارقام کاملا دیررس بیش از ۱۸۰ روز می‌باشد. واضح است که این محدوده‌های زمانی مطلق نیستند و نیز طول دوره رشد با کاهش دما افزایش می‌یابد (خواجه‌پور، ۱۳۸۳). در ارقام زودرس، غده سریعتر حجیم می‌گردد و محصول زودتر می‌رسد که برای کشت دوم در مناطق مستعد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در خصوص کشت دوم به جهت برخورد نمودن با سرمای پاییزه می‌بایستی از ارقام زودرس تا حداکثر میان رس استفاده نمود تا گیاه بتواند در طول فصل رشد، عملکرد اقتصادی داشته باشد. میزان مواد خشک و نشاسته ارقام زودرس سیب زمینی کم است، بنابراین بیشتر مصرف تازه خوری دارند. در صورتی که میزان نشاسته ارقام دیررس بیشتر است و بیشتر برای محصولات تبدیلی مانند چیپس و سیب زمینی سرخ کرده استفاده می‌گردد. خاصیت انبارداری این نوع سیب زمینی خیلی زیاد است (فلاحی، ۱۳۷۶).

۱-۲-۱-۷- خصوصیات رقم آگریا

از لحاظ رسیدگی میان‌رس (تقریباً دیررس)، توسعه انـدام هـوایی خـوب، رنـگ پوسـت زرد، رنـگ گوشت زرد، ظاهر غده بیضی کشیده، عمق چشم کم عمق، سایز غده خیلی بزرگ، عملکرد خیلی بـالا، ماده خشک خیلی بالا (حدود ۲۲/۵٪)، خاصیت انبار داری خوب، مناسب صنایع چیپس سازی، تقریبـاً حساس به بیماری پیچیدگی برگ، مقاومت خیلی خوب به ویروس A، مقاومت خوب بـه ویـروس X و Y، حساس نسبت به بیماری اسکب معمولی می باشد (پوریای ولی، ۱۳۸۹).

۱-۲-۱-۸- نیاز غذایی

نیاز سیب زمینی به عناصر غذایی زیاد است. مقدار عناصر غذایی خاک بر میزان رشد رویشی، زمان غده‌بندی، زمان رسیدگی، اندازه و وزن مخصوص غده، توسعه بافت چوب پنبه‌ای و آسیب پذیری غـدد از ضربات مکانیکی تاثیر می‌گذارد.

نیتروژن: کمبود نیتروژن سبب کاهش عملکرد، گسترش بیماری‌ها و پیری زودرس گیاه مـی‌شـود. از سوی دیگر زیادی نیتروژن خاک سبب تحریک رشد رویشی، تاخیر در غده‌بندی و رسیدگی، کـاهش وزن مخصوص غده، افزایش درصد غدد درشت، ایجاد حفره‌های مغزی و قندهای احیاکننده می‌گـردد. زیادی نیتروژن خاک می‌تواند موجب افزایش نیترات غدد گردد و از این لحاظ بسیار نامطلوب می‌باشد. همچنین مصرف مقادیر بالای کودهای نیتروژنه باعث افزایش بیش از حد رشد اندام هوایی و به تـاخیر افتادن تشکیل غده می شود (حسندخت و کاشی، ۱۳۷۸).

فسفر: فسفر در مراحل اولیه رشد گیاه و سپس در غده‌سازی ضروری اسـت. فراوانـی فـسفر خـاک موجب افزایش تعداد غده در بوته می گردد. از طرفی کمبود فسفر در اوایل فـصل رشـد، سـبب تـأخیر رشد قسمت‌های انتهایی شده و غده‌ها کوچک، دوکی شکل و قدری سفت می‌شوند. همچنـین ممکـن است فسفر میزان آلودگی ویروسی را کاهش دهد. میزان مصرف فسفر اغلب ۱۰۰ کیلـوگرم در هکتـار است ولی در خاکهایی که تثبیت فسفر بیشتر است، به مقدار بیشتری فسفر نیاز است. فسفر در ظهـور

و آغازش غده‌ها نقش اساسی دارد که یکی از دلایل این امر افـزایش فعالیـت آنـزیم‌هـای منطقـه راس استولون‌ها است که در زمان آغازش غده‌ها تولید می‌شوند و تولید این آنزیم‌ها رابطه تنگاتنگی با فسفر قابل دسترس دارد (Rosen and Nearney, 2003).

پتاسیم: نیاز سیب‌زمینی به پتاسیم از بسیاری از محصولات دیگـر بیـشتر اسـت. فراوانـی پتاسـیم خاک موجب کاهش وزن مخصوص سیب زمینی و توسعه پوست چوب پنبه‌ای می‌شود. ایـن دو صـفت موجب کاهش خسارات مکانیکی در جریان برداشت و انبارسازی می‌گردد. فراوانی پتاسیم خـاک بـرای کاهش قندهای احیاکننده و در نتیجه افـزایش کیفیـت انبـارداری و سـرخ کـردن مطلـوب مـی‌باشـد (حسندخت و کاشی، ۱۳۷۸).

۱-۲-۲- جایگاه شیمیایی پتاسیم

پتاسیم یکی از عناصر شیمیایی جدول تناوبی است که نماد آن K و عدد اتمی آن ۱۹ می‌باشد. پتاسیم، فلز قلیایی سفید مایل به نقره‌ای است که به طور طبیعی به صورت ترکیبی با عناصر دیگر در آب دریا و دیگر کانی‌ها یافت می‌شود. این عنصر به سرعت در هوا اکسید شده، بسیار واکنش‌پذیر است (مخصوصا در آب) و از نظر شیمیایی همانند سدیم است.

۱-۲-۲-۱- پتاسیم در خاک

پتاسیم یکی از ترکیبات اصلی پوسته زمین است. مقدار آن در لیتوسفر به طور متوسط ۲/۵۸ و در خاک حدود ۱/۲ درصد است. از نظر فراوانی عنصری، هفتمین و به عنوان عنصر غذایی برای گیاه نیز چهارمین عنصر معدنی در لیتوسفر به حساب می‌آید. پتاسیم به طور معمول فراوان‌ترین عنصر غذایی پر نیاز در ۱۵ سانتی‌متری لایه سطحی خاک است. متوسط مقدار پتاسیم سنگ‌های آذرین، شیل، ماسه سنگ و سنگ آهک در لیتوسفر به ترتیب ۲۶، ۲۷، ۱۱ و ۲/۷ گرم در کیلوگرم می‌باشد. بیشترین مقدار پتاسیم در کانی‌های اولیه و کانی‌های ثانویه رسی وجود دارد. مقدار پتاسیم در

خاک‌های معدنی از ۰/۴ تا ۳ درصد یا بیشتر تغییر می‌کند در حالیکه در خاک‌های آلی این مقدار حدود ۰/۰۲ تا ۰/۰۳ درصد است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۴).

۱-۲-۲-۲- اشکال مختلف پتاسیم در خاک

چهار شکل مختلف پتاسیم در خاک به ترتیب سهل‌الوصول بودن برای گیاه شامل پتاسیم محلول، پتاسیم تبادلی، پتاسیم غیر تبادلی(تثبیت شده) و پتاسیم ساختمانی می‌باشد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). با وجود اینکه پتاسیم کل در خاک به مراتب بیشتر از نیاز گیاه است ولی تنها قسمت کوچکی از آن برای گیاه قابل دسترس می‌باشد. به طور کلی ۹۰ تا ۹۸ درصد کل پتاسیم خاک به شکل غیر قابل دسترس، ۱ تا ۱۰ درصد به شکل پتاسیم به کندی قابل دسترس و ۰/۱ تا ۲ درصد آن به سرعت قابل دسترس می‌باشد. تعادل موجود بین شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک باعث تداوم تامین پتاسیم برای گیاهان می‌شود. پتاسیم محلول و تبادلی خیلی سریع با هم به تعادل می‌رسند در حالیکه تعادل بین پتاسیم ساختمانی و پتاسیم تثبیت شده با پتاسیم تبادلی و محلول به کندی حاصل می‌گردد (ملکوتی و کاوسی، ۱۳۸۳).

۱-۲-۲-۳- تثبیت پتاسیم

قابلیت دسترسی پتاسیم برای گیاهان به وسیله‌ی فرآیندهای فیزیکوشیمیایی مختلف در خاک کنترل می‌شود. از میان فرآیندهای مختلف، تثبیت پتاسیم و به عبارت دیگر به تله افتادن یون پتاسیم در بین لایه‌های رسی از بیشترین اهمیت برخوردار است این پدیده در تمام رس‌ها به یک اندازه تحقق نیافته بلکه در رس‌های یک به یک حداقل و در رس‌های دو به یک و به خصوص ایلایت (نوعی کانی رسی ۲ به ۱) به حداکثر می‌رسد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۴).

ملکوتی و کاوسی (۱۳۸۳) حرکت تدریجی پتاسیم از محلول خاک و مکان‌های جذب سطحی با نیروی پیوند کم به طرف مکان‌های با نیروی پیوند بیشتر و نیز به طرف مکان‌های بین لایه‌ای با جذب

اختصاصی که نتیجه‌ی آن کمتر شدن پتاسیم قابل دسترس نسبت به پتاسیم کل می‌باشد را به عنوان تعریفی از تثبیت پتاسیم ارائه داده‌اند. برخی از محققان عقیده دارند که در خاک‌های با قدرت تثبیت بالاتر از ۶۵ درصد باید میزان مصرف کودهای پتاسیمی نسبت به حالت عادی افزایش یابد. برخی نیز توصیه کرده‌اند که در خاک‌های با ظرفیت تثبیت پتاسیم خیلی زیاد، تعیین مقدار کود مصرفی سالیانه باید مستقل از مقدار پتاسیم قابل جذب خاک صورت گرفته و برای مقابله با قدرت تثبیت بالای پتاسیم کاربرد سالانه ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (K_2O) را امری ضروری دانسته‌اند.

۱-۲-۲-۴- پتاسیم در گیاه

پتاسیم، یک عنصر مهم برای رشد گیاهان بوده و در انواع گوناگون خاک یافت می‌شود. بطور کلی پتاسیم در سلول‌های گیاهی نقش‌های مهمی بر عهده دارد که مختصرا به آن‌ها اشاره می‌کنیم.

۱-۲-۲-۴-۱- فعالیت آنزیمی

پتاسیم یکی از کوفاکتورهای مهم است که در هنگام فعالیت آنزیمی نیاز است. پتاسیم حداقل ۶۰ آنزیم متفاوت را که در رشد گیاه موثرند فعال می‌کند. همچنین آنیون‌های معدنی و دیگر ترکیبات گیاه را از نظر تغذیه‌ای قابل مصرف می‌کند. پتاسیم کمک می‌کند تا pH بین ۷ و ۸ باقی بماند که اپتیمم عمل بسیاری از آنزیم‌هاست. میزان پتاسیم در سلول مشخص می‌کند که چند آنزیم می‌تواند فعال شود و نسبت فعالیت شیمیایی در آن‌ها چگونه است. بنابراین نسبت انجام واکنش در سلول بستگی به میزان ورود پتاسیم در سلول دارد (El-defan *et al*., 1999).

۱-۲-۲-۴-۲- فتوسنتز و نقل و انتقال

نقش پتاسیم در فعالیت آنزیمی و تولید ATP در تنظیم سرعت فتوسنتز مهم‌تر از نقش آن در فعالیت روزنه‌ای است. وقتی انرژی خورشیدی به ترکیب CO_2 و H_2O و در نتیجه تشکیل قند منجر می‌شود، اولین محصول پر انرژی ATP است که به عنوان منبع انرژی در بسیاری از واکنش‌های

شیمیایی مصرف می‌شود. بار الکتریکی لازم برای تولید ATP با یون K^+ تامین می‌شود. وقتی میزان پتاسیم در گیاه کم باشد میزان فتوسنتز و تولید ATP نیز کم می‌شود و همه‌ی فرایندهای وابسته به ATP کاهش می‌یابد. برعکس آن تنفس سلولی افزایش می‌یابد که باعث کاهش رشد و نمو در گیاه می‌شود (Hussein, 2005). قندی که در فتوسنتز ساخته می‌شود باید در میان آوندها و قسمت‌های دیگر گیاه برای مصرف و ذخیره شدن ترابری شود. سیستم ترابری مواد با استفاده از انرژی به فرم ATP کار می‌کند. اگر میزان پتاسیم کم شود میزان ATP نیز کم می‌شود و سیستم انتقال مواد نیز از کار می‌افتد (Singh *et al*., 2009). پتاسیم همچنین نقش بزرگی در نقل و انتقال آب و مواد غذایی درون آوند آبکشی دارد. وقتی میزان پتاسیم کاهش یابد جابجایی نیترات و فسفات و کلسیم و منیزیم و آمینواسیدها کاهش می‌یابد. نقش پتاسیم در انتقال شیره‌ی پرورده در آوند آبکشی اغلب با آنزیم‌های مخصوص و هورمون‌های رشد گیاهی تداخل دارد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۴).

۱-۲-۲-۴-۳- سنتز پروتئین و نشاسته

پتاسیم در سنتز پروتئین ضروری است. خواندن رمزهای ژنتیکی در سلول گیاهی برای ساخت پروتئین و آنزیم که تمام فرایندهای رشد گیاه را تنظیم می‌کند بدون میزان کافی از پتاسیم غیر ممکن است. وقتی گیاه با کمبود این یون مواجه می‌شود با وجود مقدار زیاد نیتروژن قابل دسترس پروتئین نمی‌سازد. بجای آن تراکم مواد خام پروتئین مثل آمینواسیدها و آمیدها و نیترات‌ها زیاد می‌شود. آنزیم " نیترات ردو کتاز " ساختار پروتئین را می‌شکند و پتاسیم مسئول فعالیت و سنتز آن می‌باشد (El-defan *et al*., 1999). همچنین آنزیم‌های دخیل در سنتز نشاسته با پتاسیم فعال می‌شوند. پس با کاهش میزان پتاسیم، نشاسته کاهش می‌یابد در حالیکه کربوهیدرات‌های قابل حل و ترکیبات نیتروژن افزایش می‌یابد. همچنین پتاسیم در تنظیم فعالیت فتوسنتزی و تنظیم نسبت تبدیل قند به نشاسته موثر است. در حضور پتاسیم به اندازه‌ی کافی و سطوح بالای قند نشاسته به طرف اندام‌های ذخیره‌ای حرکت می‌کند (Singh *et al*., 2009).

۱-۲-۲-۵- علائم کمبود پتاسیم در سیب زمینی

از میان عناصر غذایی، پتاسیم به میزان زیاد توسط سیب زمینی جذب می‌گردد. در صورت کمبود پتاسیم قابل استفاده در خاک دوره رشد سیب زمینی کوتاه و در نتیجه از میزان تولید کاسته می‌شود، کمبود پتاسیم در سیب زمینی ابتدا در برگ‌های پایینی و مسن تر با شروع سوختگی نوک و حاشیه برگ‌ها شروع و در صورت شدت یافتن کمبود این سوختگی به طرف پهنک ادامه می‌یابد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۴).

۱-۲-۲-۶- آزادسازی پتاسیم

از جمله مشکلاتی که در رابطه با پتاسیم وجود دارد این است که ممکن است مقدار آن در خاک زیاد باشد ولی قابل استفاده برای گیاه نباشد. عوامل مختلفی شامل اندازه ذرات، یون‌های هیدرونیوم (پ هاش خاک)، فعالیت‌های بیولوژیکی، کاتیون‌های غیرآلی، تری و خشکی، کودهای فسفاته، مقدار پتاسیم کل، مواد هوموسی و دیگر عوامل فرآیند انحلال را کنترل می‌کنند (Huang, 2005; Zhou and Huang, 2007). از آنجایی که حرکت پتاسیم در خاک عمدتا تحت تاثیر پخشیدگی می‌باشد هر عاملی که پخشیدگی پتاسیم در خاک را افزایش دهد، قابلیت عرضه پتاسیم را افزایش داده است. افزایش مواد آلی خاک با اصلاح ساختمان خاک و بهبود شرایط تهویه‌ای پخشیدگی پتاسیم را فزونی می‌بخشد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۴). در بخش‌های بعدی این فصل درمورد نهاده‌های مورد استفاده در این تحقیق که جهت آزادسازی پتاسیم به کار گرفته شد بحث خواهیم کرد.

۱-۲-۳- اسید هیومیک

استفاده از کودهای آلی هوموسی از قبیل هیومیک اسید به علت حجم کم ، اثر بخشی بیشتر و صرفه اقتصادی با استقبال زارعین در اقصا نقاط جهان روبرو شده است. اسید هیومیک یک ترکیب پلی مری طبیعی است و از منابع مختلف نظیر خاک، هوموس، پیت، لیگنیت اکسید شده، زغال سنگ

و لئوناردیت استخراج می‌شود که در اندازه مولکولی و ساختار شیمیایی متفاوت‌انـد (Sebahattin and Necedet, 2005). در واقع پس از یک فعالیت میکروسکوپی مقدماتی، زنجیر طویل مواد آلی در خـاک به مولکول‌های کوچک (قندها، فنل‌ها یا اسیدهای آمینه) تبدیل مـی‌شـود. سـپس ایـن مولکـول‌هـای کوچک توسط پلیمریزاسیون، مولکول‌های بزرگ با جرم مولکولی بین ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ گرم بر مـول را تولید می‌کنند. بدین ترتیب اسید هیومیک شکل می‌گیرد. این واکنش‌هـا در دمـای ۲۰ تـا ۲۵ درجـه سانتیگراد و pH ۸ تا ۷ صورت می‌گیرند (معارفدوست، ۱۳۷۸).

هیومیک اسید اثرات سودمندی روی خاک و گیـاه دارد و کـاربرد آن بـه صـورت محلـول پاشـی و کاربرد در خاک، با کلات کردن عناصر ضروری سبب افزایش جذب آنها شده و باروری خاک و عملکـرد گیاهان را افزایش می‌دهد (Liu and Cooper, 2000). قدرت کمپلکس کنندگی اسیدهای هیومیـک و فولویک مربوط به گروه‌های عامل دارای اکسیژن آن نظیر کربوکسیلی (COOH)، فنلـی(OH) و C=O است. اسید هیومیک با داشتن عوامل فعال اسیدی ضعیف کربوکسیل – بنزوئیـک و فنلـی ماننـد یـک مبادله کننده کاتیونی بین خاک و گیاه عمل می‌کند. بدین ترتیب کاتیون مورد نیاز گیاهـان را تـامین می‌کند. این اسید با داشتن عناصر حاصلخیز کننده مانند ازت در رشـد گیاهـان مـوثر اسـت. بنـابراین خاک‌های برخوردار از اسید هیومیک معمولا بیشتر حاصلخیزترند (chen *et al*., 1999).

۱-۲-۴- ورمی کمپوست

کلمه verm از لغت لاتین vermis گرفته شده که به معنی کرم می‌باشد. ورمی کمپوست حاصل یک فرایند نیمه هوازی است که در اثر فعالیت توام گونه‌ای خاص از کرم‌ها، قارچ‌ها، باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها تولید می‌گردد (خاورزی و همکاران، ۱۳۸۰). در تعریف دیگری بیان شده ورمی کمپوستینگ فرآیند تغییر و دگرگون سازی مواد آلی با کمک کرم‌هاست که عموما موادی که مورد استفاده قرار می‌گیرد، مواد زائدی شبیه آنچه در هوموس یا خاک برگ وجود دارد می‌باشد (Munroe,

2010). مهم‌ترین گونه مورد استفاده برای تولید ورمی‌کمپوست، ایزنیا فتیدا[3] است که به دلیل سرعت رشد و تکثیر و پتانسیل کافی برای مصرف انواع مواد آلی زائد، بیش از سایر انواع مورد استفاده قرار گرفته است (Edwards and Neuhauser, 1998). فرآورده‌ای که ورمی کمپوست خوانده می‌شود، از لحاظ کیفی ماده ای آلی با pH تنظیم شده، سرشار از مواد هیومیک و عناصر غذایی به فرم قابل جذب برای گیاه، دارای انواع ویتامین‌ها، هورمون‌های محرک رشد گیاه و آنزیم‌های مختلف است (سماوات و همکاران، ۱۳۸۷).

۱-۲-۵- میکوریزا

۱-۲-۵-۱- تعریف و تاریخچه میکوریزا

همزیستی میکوریزایی نوعی همزیستی بین قارچ و ریشه گیاه میزبان است که در این همزیستی قارچ مواد فتوسنتزی از گیاه میزبان دریافت و در مقابل آب و مواد معدنی غیر قابل دسترس به خصوص فسفر را از خاک جذب نموده و در اختیار گیاه قرار می‌دهد. در طی این همزیستی، میکوریز لیپیدها و کربوهیدرات‌های خود را از ریشه گیاه میزبان بدست می‌آورد این تخصیص ذخایر کربنی به میکوریزاها باعث افزایش ۱۵ تا ۳۰ درصد وزن خشک ریشه‌های آلوده می‌شود (Harsh et al., 2006). اکثر گیاهان (۸۳ درصد دولپه‌ای‌ها و ۷۹ درصد تک لپه‌ای‌ها) قادر به تشکیل سیستم میکوریزایی هستند (Dodd, 2000). مطالعه روی ساختار میکوریزا اولین بار توسط Unger در سال ۱۸۳۰ صورت گرفت و فرانک گیاه‌شناس آلمانی در سال ۱۸۸۵ کلمه‌ی یونانی Mycorrhizae که به معنی ریشه‌ی قارچی است، را به کار برد که از دو بخش Myco به معنای قارچ و Rhizae به معنی ریشه تشکیل شده است (Smith and Read, 1997). تاریخچه‌ی تکاملی گیاهان زمین دقیقا با تکامل قارچ‌های میکوریزا آرباسکولار عجین شده است. اسپورها و هیف‌های مشاهده شده در فسیل‌های

3 .*Eisenia fetida*

دوره‌ی دونین از جمله اولین شواهد برای وجود گلومرومایست‌هاست، که قدمت برخی به ۴۶۰ میلیون سال پیش برمی‌گردد. ساختارهایی مثل آرباسکول در فسیل‌های گیاهی دوره‌ی دونین حضور احتمالی تجمع میکوریز آرباسکولار را نشان می‌دهد (Remy et al., 1994). در این زمان گیاهان هنوز از لحاظ ریشه‌ای تکامل نیافته بودند، با این وجود قدمت AM بیشتر از ریشه‌های واقعی است (Roth-Nebelsick, 2003).

۱-۲-۵-۲- طبقه بندی قارچ‌های میکوریز

بر اساس تفاوت‌های مُرفولوژیک، انواع میکوریز به دو گروه کلی اکتومیکوریز و اندومیکوریز تفکیک شده‌اند. نوع اول اکثراً در ریشه درختان جنگلی و نوع دوم بیشتر در ریشه گیاهان زراعی و مرتعی دیده می‌شوند. اکتومیکوریزها اغلب از انواع قارچ‌های بازیدیومیست‌ها و آسکومیست‌ها هستند که به‌طور معمول، یک غلاف یا پوشش را اطراف ریشه‌های گیاه تشکیل داده و بین سلول‌های اپیدرم و سلول‌های سطحی پوست ریشه نفوذ کرده و در فضای بین سلول‌ها پخش شده، که نتیجه‌ی آن تولید یک شبکه ریسه‌ای بنام هارتیگ است. شبکه هارتیگ با داشتن سطح تماس زیاد، در واقع اندام مبادله کننده آب و مواد غذایی بین قارچ و گیاه است (Tisdal *et al*., 1995; Bolan, 1991; Jackson, 1984).

قارچ‌های اندومیکوریز از فضای بین سلولی و یا از درون سلول‌های اپیدرمی به داخل ریشه راه می‌یابند و در بین سلول‌های پوست ریشه و همین طور در درون آن‌ها توسعه پیدا می‌کنند و اندام‌های اختصاصی به نام آربوسکول و وزیکول را در داخل ریشه بوجود می‌آورند. آربوسکول از انشعابات مکرر انتهای هیف در داخل سلول به وجود می‌آید و محل تبادل متابولیت‌ها بین سلول گیاهی و قارچ می‌باشد. وزیکول نیز از تورم انتهای هیف در بین و یا در درون سلول‌های پوست ریشه تشکیل می‌شود و نقش اندام ذخیره‌ای را به عهده دارد (Hayman, 1983). البته وزیکول در همه گونه‌های میکوریز آرباسکولار مشاهده نمی‌شود. یکی از مهم‌ترین انواع اندومیکوریزها، میکوریز آرباسکولار (AM)

می‌باشد که از نظر کشاورزی اهمیت فوق العاده زیادی دارد (Sharma and Johri, 2002). در یک تقسیم بندی قارچ ها بر مبنای الگوهای تغذیه‌ای، میکوریزای آرباسکولار جزو دسته قارچ‌های همزیست اجباری بیوتروفیک (زنده خواری) قرار می‌گیرد (Hart *et al*., 2001). روابط بیوتروفیک بسیار پیچیده تر از روابط اندوتروفیک هستند، زیرا قارچ‌ها از طریق ساختارهای جذب کننده تخصص یافته، تماس نزدیک‌تری با محتویات سلول میزبان ایجاد می‌کنند، سپس تغییرات هورمونی به وجود می‌آورند که جریان کربن در میزبان را به طرف محل‌های تماس هدایت می‌کند (Shabayev *et al*., 1996). آلن[4] (۱۹۹۱) نیز از دیدگاه دیرینه‌شناسی و تکامل، گیاهان را به دو دسته‌ی گیاهان غیرمیکوریزایی (میکوریز اختیاری) و گیاهان میکوریزایی (میکوریز اجباری) تقسیم‌بندی کرد.

۱-۲-۵-۳- چگونگی و مراحل رشد میکوریزا

برای رشد و توسعه آلودگی میکوریزا، سه مرحله شناخته شده است (Bowen, 1980): ۱- مرحله رشد آهسته. ۲- مرحله رشد سریع یا لگاریتمی: در این مرحله، آلودگی به شدت گسترش می‌یابد. ۳- مرحله رشد ثابت: در این مرحله، حداکثر ریشه‌های آلوده به میکوریزا، تشکیل شده‌اند. روند رشد و توسعه آلودگی، دقیقاً مشابه با منحنی رشد در گیاهان می‌باشد، به عبارت دیگر قارچ نیز متناسب با رشد گیاه توسعه می‌یابد. نیاز بیشتر گیاه به آب و عناصر، می‌تواند منجر شود به این که قارچ فعالیت و گسترش ریسه‌های خود را افزایش دهد. هریسون[5] (۲۰۰۵) گزارش کرد که شواهدی وجود دارد مبنی بر این که در داخل گیاه، سامانه سیگنال‌دهی و سیگنال‌های خاص میکوریزای آرباسکولار، پاسخ‌های کمبود فسفر و توسعه ریشه را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

4. Allen, 1991
5. Harrison, 2005

۱-۲-۵-۴- اهمیت میکوریزا در بوم نظام‌ها

بیش از ۱۰۰ سال تحقیق در زمینه قارچ‌های میکوریز نشان می‌دهد که برای شناخت پویایی بوم نظام، درک کامل وظایف میکوریزا ضرورت دارد (Van der and Heijden, 2002). قارچ‌های میکوریز دارای کارکرد چند منظوره‌ای در بوم نظام‌های زراعی هستند به طوری که طبیعتاً سبب بهبود کیفیت فیزیکی (از طریق گسترش ریسه‌های قارچ)، کیفیت شیمیایی (از طریق افزایش جذب عناصر غذایی) و کیفیت زیستی خاک (از طریق شبکه غذایی خاک) می‌گردند (Cardoso and Kuyper, 2006).

قارچ و گیاه وقتی جدا از هم هستند، نسبت به وقتی که یک نظام میکوریزایی شامل قارچ، خاک و ریشه گیاه میزبان را تشکیل می‌دهند، اثرات کاملا متفاوتی دارند. لذا در استفاده از قارچ‌های میکوریز، نه تنها باید همزیستی قارچ و گیاه میزبان را در یک محیط جدا بررسی کرد، بلکه لازم است ارتباط آنها را در بوم نظام و در کنار سایر عوامل محیطی مورد توجه قرار داد (Jeffries *et al*., 2003). توانایی گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در افزایش حاصلخیزی خاک بسیار متفاوت بوده عموماً این تفاوت‌ها ناشی از اختلاف در توانایی این قارچ‌ها در به‌وجود آوردن اندام‌های درون و برون ریشه‌ای گیاه میزبان است (Abbott and Murphy, 2007).

فصل دوم:

بررسی منابع

۲-۱- نقش اسید هیومیک در گیاه

۲-۱-۱- تأثیر اسید هیومیک بر هورمون‌ها و مواد گیاهی

این ماده می‌تواند به عنوان تنظیم کننده رشد برای تنظیم سطح هورمون‌ها و بهبود رشد گیاهان مورد استفاده قرار گیرد (Nardi *et al*., 2002). افزایش ۳/۱ درصدی اکسین با کاربرد اسید هیومیک در گیاه گندم در ۸۰ روز پس از کشت از اندام‌های هوایی در دو فصل رشد گزارش شده است (Abou-Aly and Mady, 2009). اسید هیومیک به علت افزایش غلظت هورمون‌هایی چون اکسین، جیبرلین و سیتوکنین نقش بارزی در افزایش ارتفاع گیاه دارد (Atiyeh *et al*., 2002). دوگان و دیمر[1] (۲۰۰۴) اعلام نمودند که مصرف برگی و خاکی اسید هیومیک باعث افزایش مقدار اسید اسکوربیک و کیفیت میوه های گوجه فرنگی شد.

۲-۱-۲- تأثیر اسید هیومیک بر رشد ریشه و ساقه

توسعه ریشه سیب زمینی به ویژه در ابتدای فصل رشد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تقویت ریشه‌زایی با مکانیسم‌های متعددی مرتبط است، اولاً اصلاح ساختار فیزیکی خاک فضای مناسب‌تری را برای نفوذ ریشه ایجاد می‌کند. ثانیاً اسید هیومیک با افزایش نفوذپذیری سلول‌های ریشه به جذب بهتر مواد غذایی و توسعه بیشتر گیاه کمک می‌نماید. تأثیر اسید هیومیک بر رشد ریشه چنان واضح و شگرف است که در مواردی حجم ریشه را تا چند برابر افزایش می‌دهد. اسید هیومیک با تولید بیشتر اسیدهای نوکلئیک و اسیدهای آمینه تکثیر سلولی را در کل گیاه و بخصوص در ریشه‌ها افزایش می‌دهد (Dursun *et al*., 2002). نتایج اکثر تحقیقات نشان می‌دهد تاثیر ترکیبات هیومیکی بر رشد ریشه بیشتر از ساقه است (Mallikarjuna *et al*., 1987; Tattini *et al*., 1991).

1. Dogan and Dimer, 2004

لیو و کوپر[2] (۲۰۰۰) در آزمایشی روی گیاه بنت گراس نشان دادند که در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک، وزن خشک ریشه به طور معنی داری افزایش یافت و همچنین فعالیت آنزیم‌ها هم از ۲۳ درصد به ۱۰۰ درصد افزایش یافت که خود عامل افزایش تنفس ریشه و رشد بیشتر آن شد. آیاس و گالسر[3] (۲۰۰۵) گزارش کردند که اسید هیومیک از طریق افزایش در محتوای نیتروژن سبب افزایش رشد و ارتفاع و به تبع آن عملکرد بیولوژیک می‌شود. در مطالعه دیگری اسید هیومیک سبب افزایش قطر و ارتفاع گیاه منداب شد (Albayrak *et al*., 2005).

۲-۱-۳- تاثیر اسید هیومیک بر میزان کلروفیل و فتوسنتز

اسید هیومیک از طریق اثرات مثبت فیزیولوژیکی از جمله اثر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و افزایش غلظت کلروفیل برگ باعث افزایش فتوسنتز و در نهایت عملکرد گیاهان می‌شود (Nardi *et al*., 2002). اسید هیومیک با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو سبب افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌شود (Delfine *et al*., 2005). در آزمایشی نشان داده شد که کاربرد اسید هیومیک چه به صورت محلول پاشی و چه اعمال خاکی به طور معنی داری در محتوی کلروفیل برگ‌ها مؤثر بوده و اثر خود را به طور اساسی بر محتوی کلروفیل b در برگ‌ها داشت (Nardi *et al*., 2002; Karakurt *et al*., 2009). گروسل و انسکیپ[4] (۱۹۹۱) در طی تحقیقات خود پی برد که اسید هیومیک سبب افزایش جذب آهن، روی، مس و منگنز توسط خیار رشد یافته در محلول هوگلند شد که افزایش جذب آهن و منگنز را می‌توان دلیل مناسبی برای افزایش غلظت کلروفیل برگ دانست.

2. Liu and Cooper, 2000
3. Ayas and Gulser, 2005
4. Grossl and Inskeep, 1991

۲-۲- نقش اسید هیومیک در خاک

۲-۲-۱- تأثیر اسید هیومیک بر جذب عناصر غذایی

اسید هیومیک و اسید فولویک با کلات کردن عناصر ضروری سبب افزایش جذب عناصر شده و باروری خاک و تولید در گیاهان را افزایش می‌دهند. مکویاک و همکاران[۵] (۲۰۰۱) دریافته‌اند که اسید هیومیک سبب پایداری و نگهداری بیشتر عناصر غذایی برای گیاهان می‌شود که این کار را از طریق ممانعت از تثبیت یا شستشوی آن‌ها انجام می‌دهد. اسید هیومیک با اسیدی کردن خاک و افزایش سطح ریشه‌ها و ریزوسفر سبب جذب بهتر برخی عناصر نظیر پتاسیم و فسفر می‌گردد (Sanchez *et al*., 2002). مواد هیومیکی تواما با کمپلکس نمودن کاتیون‌ها و آنیون‌ها به طور همزمان دارای اثرات سینرژیکی هستند (Clap, 2001). مواد هیومیکی می‌توانند حلالیت سنگ فسفات را از طریق آزاد نمودن آنیون فسفات و کاتیون کلسیم افزایش دهند. زیرا اسیدیته کل در محلول حاصله کاهش یافته و عمل سوخت و ساز میکروبی بهبود می‌یابد (Day, 2000). جنز و همکاران[۶] (۲۰۰۸) تأثیر اسید هیومیک بر تنباکو را بررسی کردند و پی بردند که اسید هیومیک باعث افزایش سطح فسفات سلول‌ها می‌شود. ریزک و همکاران[۷] (۲۰۱۰) اشاره کردند که بکارگیری اسید هیومیک باعث افزایش فعالیت مواد شیمیایی و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، به خصوص فسفر، در خاک می‌شود.

سلیم و ال نکنای[۸] (۲۰۰۹) تاثیر کاربرد اسید هیومیک همراه با آب آبیاری را در ترکیب با کودهای شیمیایی بر خصوصیات رشد و عملکرد سیب زمینی در مصر مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که کاربرد اسید هیومیک علاوه بر افزایش ۱۶/۵ درصدی عملکرد غده، باعث کاهش آبشویی نیتروژن و پتاسیم و نیز افزایش فراهمی فسفر در خاک شنی می‌گردد. آسما و مگدا[۹] (۲۰۱۰) گزارش دادند که

5. Mackowiak et al., 2001
6. Jones et al, 2008
7. Rizk et al, 2010
8. Selim and El-Neklawy, 2009
9. Asmaa and Magda, 2010

بکارگیری اسید هیومیک باعث افزایش معنی داری در خصوصیات فیزیکی و مقادیر عناصر غذایی سیب زمینی نسبت به شاهد شده است.

در مطالعه‌ای گلخانه‌ای (Jones *et al*., 2004) اثر اسید هیومیک را روی قابلیت جذب عناصر غذایی خاک و عملکرد پیاز بررسی کردند و دریافتند که کاربرد ۲۰ کلیوگرم در هکتار اسید هیومیک به همراه NPK، بیشترین عملکرد پیاز را به همراه ۱۲ درصد افزایش در جذب NPK به همراه داشت. چنانچه اسید هیومیک به صورت اسپری برگی مورد استفاده قرار گیرد از طریق جذب برگی، عناصر ریز مغذی را به گیاه عرضه می کند و یا از طریق فعالیت‌های شبه هورمونی راندمان جذب عناصر را افزایش می دهد (Yildirim, 2007). نیکبخت و همکاران[10] (۲۰۰۸) دریافتند که غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک سبب افزایش معنی داری در رشد ریشه و محتوی فسفر، منیزیم، آهن و پتاسیم در برگ گیاه گلتاب شد.

۲-۲-۲- تأثیر اسید هیومیک بر اسیدیته خاک

اسید هیومیک با دارا بودن میزان زیادی از گروه‌های اسید ضعیف در ساختمان مولکولی خود می‌تواند pH های قلیایی را اصلاح کند (Karakurt *et al*, 2009). با تعدیل pH توسط مواد هیومیک از رسوب آهن در خاک‌ها جلوگیری شده و با تشکیل هیومات کلسیم مانع از رسوب کردن فسفات کلسیم می‌شود (Sanchez *et al*., 2006).

۲-۲-۳- تأثیر اسید هیومیک بر جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک

اسید هیومیک با افزایش نفوذپذیری دیواره سلولی و نیز با تسریع در تولید پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک در درون سلول به رشد و تکثیر هر موجود زنده‌ای کمک می‌کند. بخصوص تأثیر آن بر رشد میکروارگانیسم‌های مفید موجود در خاک که عمدتاً از قارچ‌ها هستند بیشتر است (Ayuso *et al*.,

10. Nikbakht et al., 2008

1996; Sharif *et al*., 2002). اسید هیومیک سبب تحریک رشد و تغذیه قارچهای مفید و افزایش جمعیت آن‌ها می‌شود،که این عمل در برتری این قارچها در رویارویی با قارچهای بیماری زا تأثیر دارد و باعث می‌شود به تدریج قارچهای بیماری‌زا از میدان خارج شوند (Sparks, 1996).

۲-۳- تاثیر مصرف اسید هیومیک در سیب زمینی

اسید هیومیک به عنوان یک اسید آلی حاصل از هوموس و سایر منابع طبیعی می‌تواند از طریق اثرات هورمونی و بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش بیوماس ریشه و اندام هوایی را بدنبال داشته باشد. در آزمایشی اثر کاربرد اسید هیومیک بر سیب زمینی بررسی شد. نتایج نشان داد که مصرف ۱۲۰ کیلوگرم اسید هیومیک در هکتار به روش زیر سطحی نه تنها در این روش از آبشویی مواد غذایی جلوگیری گردید بلکه باعث افزایش کیفیت و عملکرد سیب زمینی نسبت به کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار گردید (Selim and El-Neklawy, 2009). خیساندن بذر سیب زمینی به مدت ۲۴ ساعت در محلول ۰/۰۲ درصد اسیدهای هیومیک میزان عملکرد را ۲۳ درصد افزایش داده، کیفیت غده بهبود یافت و میزان نیترات در غده کاهش نشان داد (سماوات و همکاران، ۱۳۸۷). هاپکینز و استرک[11] (۲۰۰۳) اثر اسید هیومیک را بر رشد سیب زمینی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که اسید هیومیک بر رشد بوته و عملکرد محصول تأثیر مثبت دارد اما بر وزن مخصوص غده بی‌تأثیر است. آسما و ماگدا[12] (۲۰۱۰) گزارش کردند که استفاده از اسید هیومیک همراه با آب آبیاری در سیب زمینی، باعث افزایش معنی دار پارامترهای رشد رویشی (ارتفاع بوته، تعداد برگ و ساقه، وزن خشک و وزن تر برگ)، عملکرد و کیفیت غده (وزن، اندازه، طول، قطر و وزن مخصوص) و نیز سطوح عناصر غذایی سیب زمینی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم و پروتئین) می‌گردد.

ال سید حامدا و ال مورصی[13] (۲۰۱۱) تاثیر مقادیر مختلف فسفر و روش‌های مختلف کاربرد اسید هیومیک را بر خصوصیات رشد، کیفیت و عملکرد سیب زمینی شیرین مطالعه کردند و نتیجه گرفتند

11. Hopkins and Stark, 2003
12. Asmaa and Magda, 2010
13. El Sayed Hameda and El Morsy, 2011

که روش‌های مختلف مصرف اسید هیومیک، تاثیر معنی داری بر کلیه صفات مورد مطالعه داشت به طوری که مصرف خاکی اسید هیومیک دارای تاثیر معنی داری بر رشد گیاه، رنگدانه‌های فتوسنتزی، عملکرد غده و بازار پسندی و کیفیت غده داشت. بعلاوه مصرف خاکی اسید هیومیک باعث افزایش ترکیب غده و کاهش تلفات و پوسیدگی ریشه‌ها و غده‌ها گردید. بهترین نتیجه زمانی حاصل شد که اسید هیومیک در ترکیب با کود فسفر مصرف گردید. نکته قابل توجه اینکه کاربرد اسید هیومیک باعث کاهش ۳۳ درصدی مصرف کودهای فسفره ، کاهش هزینه تولید و کاهش آلودگی محیط زیست نیز می‌شود. مطالعات نشان داده است که کاربرد اسید هیومیک افزایش میزان کربوهیدرات در گوجه فرنگی، سیب زمینی، چغندرقند و هویج را به دنبال دارد (Tan, 2003).

۲-۴- تاثیر مصرف اسید هیومیک در سایر گیاهان

با مصرف مواد هیومیکی (اسید هیومیک) در گوجه فرنگی تعداد میوه تا ۷۰ عدد در هر بوته افزایش یافت (Yildirim, 2007). یانگ و شئو[14] (۲۰۰۰) افزایش شاخص سطح برگ در گندم را با محلول پاشی اسید هیومیک گزارش نمودند. کرکوت و همکاران[15] (۲۰۰۸) اثر اسید هیومیک را در ۵ غلظت بر عملکرد و کیفیت میوه‌های فلفل به صورت تیمار برگی و خاکی بررسی کردند و دریافتند اسید هیومیک اثر معنی داری را بر طول و قطر میوه‌ها نداشت.

۲-۵- تاثیر ورمی کمپوست بر جذب و فراهمی عناصر غذایی

ورمی کمپوست مواد غذایی را به فرم قابل جذب در اختیار گیاه قرار می‌دهد بنابراین جذب مواد غذایی در گیاه افزایش می‌یابد (Sreenivas *et al*., 2000). شارما[16] (۲۰۰۲b) گزارش کرد که میزان نیتروژن، کلسیم، منیزیم، پتاسیم در ورمی کمپوست به ترتیب ۵، ۱۴، ۳ و ۱۱ برابر خاک زراعی است.

14. Yang, and Shao, 2000
15. Karakurt et al., 2009
16. Sharma, 2002b

مطالعه بر روی انواع ورمی کمپوست‌ها حاکی از آن است که ورمی کمپوست باعث افزایش ظرفیت جذب سطحی می‌شود (Fernandez *et al*., 2009). یکی از دلایل دیگری که برای افزایش جذب عناصر در ورمی کمپوست می‌توان اشاره کرد این است که ورمی کمپوست، pH خاک را تعدیل می‌کند و با خاصیت تامپونی از تغییرات بیش از حد pH و در نتیجه نوسانات شدید در مقدار جذب عناصر غذایی جلوگیری می‌کند. از مزایای ورمی کمپوست کند رها بودن این کود است زیرا در هنگام عبور مواد آلی از دستگاه گوارش کرم، لایه نازکی از چربی این مواد را احاطه می‌کند که این لایه طی دو ماه تجزیه می‌شود در نتیجه عناصر غذایی به کندی رها می‌شوند و در اختیار گیاه قرار می‌گیرند از سوی دیگر مواد شیمیایی محلول در آب که باعث آلودگی محیط می‌شوند کاهش می‌یابد (Atiyeh *et al*., 2002; Mitchell and Edwards, 1997).

موهانتری و همکاران[17] (۲۰۰۶) نشان دادند که مصرف ورمی کمپوست در گیاه بادام زمینی باعث افزایش چشمگیر غلظت فسفر در دانه نسبت به تیمار شاهد می‌شود. همچنین در پژوهشی که در خصوص تاثیر کاربرد ورمی کمپوست بر روی گیاه گوجه فرنگی انجام شد، گزارش گردید که غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم در میوه و عملکرد محصول این گیاه نسبت به شاهد به طرز چشمگیری بهبود یافت (Zaller, 2006). در تحقیقی با مصرف ورمی کمپوست حاصل از لاشبرگ ارتفاع گیاه، غلظت نیتروژن کل، پتاسیم، سدیم و مس را به طور معنی‌داری در برنج افزایش داد ولی بر وزن خشک، تعداد پنجه، غلظت فسفر، آهن، منگنز و روی بی‌تاثیر بود (ریگی، ۱۳۸۲).

۲-۶- تاثیر ورمی کمپوست بر بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک

آذرمی و همکاران[18] (۲۰۰۸) در بررسی تاثیر ورمی کمپوست بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک در مزرعه گوجه فرنگی بیان داشتند که کاربرد ۱۵ تن در هکتار ورمی کمپوست باعث افزایش کربن آلی، هدایت الکتریکی و کاهش pH خاک می‌شود. با کاربرد ورمی کمپوست خواص فیزیکی خاک

17. Mohanty et al., 2006
18. Azarmi et al., 2008

مانند وزن مخصوص ظاهری و تخلخل بهبود می‌یابد. استفاده از ورمی کمپوست در زراعت می‌تواند به شدت تنوع زیستی جمعیت‌های میکروبی خاک را تغییر داده بر ساختار اکوسیستم زراعی تاثیر گذار باشد (Aira *et al*., 2007). ورمی کمپوست دارای اسیدهیومیک می‌باشد (Atiyeh *et al*., 2002). با تیمارهای کود بهینه که حاوی مخلوط پتاسیم و اوره می‌باشند، آمونیوم حاصل از فعل و انفعال اوره در خاک موجب کاهش تثبیت پتاسیم کود همراه شده و جذب پتاسیم افزایش می‌یابد (امینی، ۱۳۸۵). ورمی کمپوست نیز با تجزیه و ارائه همزمان NH_4 و K اثری مشابه با کود بهینه دارد. در تحقیقی نشان داده شد که اضافه کردن ورمی کمپوست علاوه بر افزایش عملکرد باعث بهبود خصوصیات بیولوژیکی خاک می شود و همچنین مواد غذایی ماکرو مانند پتاسیم را برای خاک فراهم می‌کند (Norman *et al*., 2005).

همچنین دارای هورمون‌های تنظیم کننده رشد مثل اکسین، جیبرلین و سیتوکینین (Krishnamoorthy and Vajrabhiah, 1986) می‌باشد که این تنظیم کننده‌های رشد بر اثر فعالیت میکروارگانیسم‌هایی مانند قارچ‌ها، باکتری‌ها و اکتینومایست‌ها و کرم‌های خاکی تولید می‌شوند (Edwards C.A. and Burrows, 1988). علاوه بر موارد ذکر شده ورمی‌کمپوست دارای موادی است که غالباً با مصرف کودهای شیمیایی یافت نمی‌شود. این مواد شامل آنزیم‌هایی از قبیل پروتئاز، لیپاز، آمیلاز، سلولاز و کیتاز می‌باشد که این آنزیم‌ها با تجزیه بیولوژیکی مولکول‌های بزرگ و بقایای کشاورزی در خاک فعالیت میکروگانسیم‌ها را تسریع می‌کنند (Garg *et al*., 2006). کاله و همکاران[۱۹] (۲۰۰۲) اظهار نمودند که با به‌کارگیری ورمی کمپوست برخی جمعیت‌های میکروبی خاک‌های شالیزار، تثبیت کننده‌های نیتروژن، اکتینومایست‌ها و هاگ‌های قارچی افزایش یافته و همچنین جمعیت میکوریزای همزیست با ریشه گیاه برنج نسبت به شاهد ۷ درصد افزایش داشت.

19. Kale et al., 2002

۲-۷- تاثیر ورمی کمپوست بر افزایش عملکرد و اجزای عملکرد

در تحقیقات فراوانی که در مورد تاثیر ورمی کمپوست بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاهان صورت گرفته همواره از تاثیر مثبت و افزاینده ورمی کمپوست گزارش داده‌اند. مطالعه انجام شده بر روی توت فرنگی نشان داد که کاربرد ۷/۵ تن در هکتار ورمی کمپوست باعث افزایش عملکرد، بازارپسندی و کیفیت میوه و کاهش ناهنجاری فیزیکی (زالی و تغییر شکل) و بیماری کپک خاکستر می‌شود (Singh *et al*., 2010). کاربرد ورمی کمپوست در کشت گیاه گوجه فرنگی باعث افزایش شاخص‌هایی نظیر عملکرد محصول و محتوای کربوهیدرات در میوه آن شد (Federico *et al*., 2007). در تحقیقی که توسط روی و سینگ[۲۰] (۲۰۰۶) انجام شد، مشاهدات بیانگر آن بود که کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست در مقایسه با عدم کاربرد آن، سبب افزایش قابل توجه تعداد سنبله در بوته جو گردید. آن‌ها دریافتند که استفاده از ورمی کمپوست از طریق تحریک میکروارگانیزم‌های مفید خاک وعرضه مداوم و پایدار عناصر معدنی به گیاه موجب این افزایش شده است. مطالعه آرگولو و همکاران[۲۱] (۲۰۰۶) نیز نشان دهنده افزایش قابل توجه عملکرد محصول در گیاه دارویی سیر بود. آن‌ها دریافتند که مصرف ورمی کمپوست از طریق تسریع در تشکیل پیاز و نیز طولانی شدن دوره پر شدن آن، موجب افزایش کربوهیدرات‌های غیر ساختمانی نظیر فروکتان شده و متعاقبت آن عملکرد محصول سیر نیز بهبود می‌یابد.

۲-۸- تاثیر ورمی کمپوست در تلفیق با کودهای شیمیایی

آلم و همکاران[۲۲] (۲۰۰۷) با بررسی اثر ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی برعملکرد سیب‌زمینی، بالاترین مقدار عملکرد غده (۲۵/۵۶ تن) را با کار برد ۱۰ تن ورمی‌کمپوست همراه با ۱۰۰٪ مقدار توصیه شده کودهای NPK بدست آوردند. آن‌ها دلیل این افزایش تولید را عرضه بهتر عناصر غذایی

20. Roy and Singh, 2006
21. Arguello et al., 2006
22. Alam et al., 2007

مورد نیاز گیاه با مصرف مقادیر توصیه شده کودهای شیمیایی و همچنین تاثیر مواد هورمونی موجود در ورمی‌کمپوست در نتیجه فعالیت کرم‌های خاکی و اثر آن بر رشد و عملکرد گیاه دانستند. انور و همکاران[۲۳] (۲۰۰۵) مشاهده کردند که مصرف ۵ تن ورمی کمپوست در هکتار به همراه کودشیمیایی NPK به میزان ۵۰، ۲۵ و۲۵ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه دارویی ریحان نسبت به تیمار شاهد گردید. مصرف ۴، ۵، ۶ تن ورمی کمپوست در هکتار منجر به افزایش خصوصیات فیزیکی و افزایش فراهمی فسفر قابل استفاده در سیب زمینی شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مقدار ۴ تن ورمی کمپوست در هکتار برای گیاهان برگی مثل اسفناج و مصرف ۶ تن ورمی کمپوست در هکتار برای گیاهان غده‌ای مثل شلغم و سیب زمینی مناسب می‌باشد (Ansari, 2008a).

۲-۹- برتری کاربرد ورمی کمپوست نسبت به کاربرد کمپوست و کود دامی

تهیه ورمی کمپوست به منظور تبدیل ضایعات آلی به کود آلی با ارزش و غنی شده در مقایسه با فرایند تهیه کمپوست به روش سنتی از ارزش غذایی بالایی به دلیل افزایش معدنی شدن و درجه هوموسی شدن برخوردار است (Jeyabal and Kupposwamy, 2001). بوردی و ملکوتی (۱۳۸۶) در بررسی تاثیر منابع مختلف کود آلی (کود دامی، کمپوست و ورمی کمپوست) بر کمیت و کیفیت پیاز قرمز آذرشهر در دو منطقه بناب و خسروشهر بیان کردند بیشترین عملکرد (۷۱/۱ تن در هکتار) و بیشترین درصد پروتئین (۱/۴۹ درصد) در اثر مصرف ۶ تن در هکتار ورمی کمپوست به دست آمد. مشخص شده است که ورمی کمپوست در زمان کوتاه‌تری نسبت به کمپوست معمولی باعث کاهش پاتوژن‌های مضر گیاهی می‌گردد (Toor *et al*., 2006).

23. Anwar et al., 2010

۲-۱۰- اثر میکوریز آربوسکولار (AM) بر کیفیت خاک

مطالعات انجام شده، وجود ارتباطی قوی بین پایداری خاکدانه‌ها و گلومالین که یک گلیکوپروتئین تولید شده بوسیله ریسه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار است، را نشان داده است (Wright and Upadhyaya, 1998). این قارچ‌ها قادرند در طول توسعه‌ی سیستم ریشه‌ای میزبانان خود، یک شبکه‌ی منشعب شده از هیف‌هایی را در محیط اطراف ریشه تشکیل دهند که طول آن‌ها در هر گرم خاک به ۳۰ متر برسد (Cavagnaro *et al*., 2005; Wilson *et al*., 2009). شبکه‌ی گسترده هیفی و ترشح گلومالین به عنوان یک فاکتور مهم در کمک به پایداری خاکدانه در نظر گرفته می‌شود، در نتیجه منجر به افزایش پایداری ساختمان و کیفیت خاک می‌شود (Rillig and Mummey 2009).

۲-۱۱- میکوریزا و روابط آبی

شواهدی وجود دارد مبنی بر اینکه میکوریزا می‌تواند موجب تغییراتی در روابط آبی گیاه از جمله هدایت هیدرولیکی، پتانسیل آب برگ، مقاومت برگ و سرعت تعرق شده و باعث بهبود مقاومت به خشکی و یا تحمل به خشکی در گیاه میزبان شود (Augé, 2001; Augé, 2004). ریسه‌های میکوریز آربوسکولار با یک پوشش پلی‌ساکاریدی میکرودانه‌ها را بطور فیزیکی گرفتار نموده و آن‌ها را محکم به یکدیگر می‌چسباند (Jeffries and Barea, 2001; Jeffries *et al*., 2003). ریشه‌ها و ریسه‌ها یک شبکه گسترده در داخل خاک تشکیل داده و برای آنکه ماکرو ذرات را به محکمی نگهدارند با پلی ساکاریدهای خارج سلولی پوشیده می‌شوند. در حقیقت یک شبکه از ریشه‌ها و ریسه‌های پوشش‌دار ماکروذرات را نگه می‌دارند تا اینکه آن‌ها در آب متلاشی نشوند.

۲-۱۲- میکوریزا و اختصاص مواد فتوسنتزی

شواهد بسیار زیادی وجود دارد که گیاهان می‌توانند سرعت فتوسنتز خود را افزایش دهند تا نیازهای همزیست خود را تأمین نمایند این عمل از طریق افزایش سطح برگ و افزایش مقدار تثبیت Co_2 به ازای واحد وزن برگ و تغییر روابط آبی و هورمونی، انجام می‌گیرد (Akhtar and Siddiqui Zaki, 2008a).

۲-۱۳- اثر همزیستی میکوریز بر جذب عناصر غذایی

سیستم ریشه‌ای که دارای یک شبکه میکوریزی است، منطقه سطحی بزرگتر و مؤثری را برای جذب عناصر غذایی و جستجوی حجم بیشتری از خاک را نسبت به ریشه‌های غیر میکوریزی در اختیار دارد (Grant *et al*., 2005). در ترشحات ریشه‌ی گیاهان میکوریزی ترکیباتی از قبیل اسیدهای آمینه و اسیدهای کربوکسیلیک شناسایی شده و این فرضیه مطرح شده است که کمپلکس بوجود آمده بین این ترکیبات و عناصر منجر به افزایش سرعت پخشیدگی و جذب بیشتر عناصر می‌شود (Sharma and Johri, 2002).

۲-۱۳-۱- میکوریز و جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم (NPK)

جذب نیترات آمونیم بوسیله گیاهان میکوریزی نسبت به نیتریت آمونیم بدلیل تحرک کمتر نیترات آمونیم نسبت به نیتریت آمونیم دارای اهمیت بیشتری است. افزایش جذب فسفر به وسیله میکوریزا، گره‌زایی به وسیله ریزوبیوم را افزایش می‌دهد و به طور غیرمستقیم عنصر نیتروژن را در گیاه افزایش

می‌دهد (Lekberg and Koide,2005). تحقیقات نشان داده کـه قـارچ‌هـای میکـوریزا قادرنـد مقـدار زیادی از نیتروژن را به گیاه انتقال دهند (Govindarajulu *et al*., 2005).

قارچ میکوریز در همزیستی با ریشه‌های گیاه از طریق جـستجوی کامـل حجـم بیـشتری از خـاک جذب فسفر را افزایش می‌دهد که نتیجهٔ آن تبدیل یک موقعیت غیر قابل دسترس بـه قابـل دسـترس است. گیاهان میکوریزی می‌تواننـد فـسفر را در غلظـت پـایین در محلـول خـاک نـسبت بـه گیاهـان غیرمیکوریزی جذب کنند. میکوریز می‌تواند از روش‌های گونـاگون بـه منـابع فـسفر خـاک کـه بـرای گیاهان غیر میکوریزی غیر قابل دسترس هـستند دسترسـی داشـته باشـند (Grant *et al*., 2005). در خاک‌های اسیدی، جائیکه فسفر با آهن یا آلومینیوم پیوسته شده است، دفع عامل کلاته کننده (اسـید سیتریک یا سیدروفورها) بوسیله میکوریز مـی‌تواننـد ذخیـره فـسفر زیـستی در دسـترس را در خـاک افزایش دهد (Haselwandter, 1995). بعلاوه میکوریز، فسفاتازها را تولید می‌کنند که می‌توانـد فـسفر را از منابع آلی متحرک کند (Tarafdar and Marschner, 1994). قارچ‌های میکوریزا فـسفات موجـود در محلول خاک را توسط ناقل‌های فسفات موجود در میسلیوم و خارج ریـشه جـذب شـده بـه صـورت بی‌فسفات در ریشه تجمع می‌یابد و توسط جریان پرتوپلاسمی سلول‌های میـسلیوم بـه میـسلیوم‌هـای داخلی ریشه انتقال می‌یابد. درون ریشه پلی فسفات هیدرولیز شده و به صورت فـسفات در انـدام‌هـای قارچی درون ریشه بخصوص آرباسکولار به داخـل ریـشه رهـا مـی‌شـود بـه همـین دلیـل در گیاهـان میکوریزی فسفر بیشتری دیده می‌شود (فلاح، ۱۳۸۵). تحقیقـات نـشان داده‌انـد هیـف‌هـای خـارجی قارچ‌ها قادر به تحویل بیش از ۸۰ درصد از فـسفر مـورد نیـاز گیـاه هـستند (Marschner and Dell, 1994).

مطالعات گذشته نشان داده است هیف‌های خارجی قارچ‌های میکوریز قادر به تـأمین ۱۰ درصـد از نیاز گیاه همزیست خود به پتاسیم هـستند (Marschner and Dell, 1994) ولـی راجـو و همکـاران[۲۴]

24. Raju et al., 1990

(۱۹۹۰) نشان دادند گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریز در جذب پتاسیم گیاه همزیست با یکدیگر اختلاف دارند. به طوری که غلظت پتاسیم در گیاه سورگوم همزیست با گونه‌های *G.fasciculatum* و *G.macrocarpum* در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد ولی با گونه *G.intraradices* افزایش نداشت. رجالی و همکاران (۱۳۸۹) اثر قارچ‌های *G.intraradices*، *G.etunicatum* و *G.mossea* بر جذب عناصر غذایی در گندم بررسی نموده و نتیجه گرفتند در گیاهان همزیست با قارچ *G.etunicatum* جذب پتاسیم به ترتیب ۱۴ و ۹ درصد نسبت به گیاهان همزیست با *G.intraradices* و *G.mossea* در بخش هوایی افزایش داشت. برین و همکاران (۱۳۸۴) اثر قارچ‌های *G.intraradices* و *G.mossea* بر جذب عناصر غذایی در گوجه‌فرنگی را بررسی نموده و نتیجه گرفتند پتاسیم بخش هوایی گیاهان تلقیح شده با *G.intraradices* نسبت به شاهد و گیاهان تلقیح شده با *G.mossea* در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. توسلی و علی اصغرزاده (۱۳۸۸) بیان کردند که تلقیح گیاهچه‌های پیاز با قارچ میکوریزا علاوه بر افزایش غلظت فسفر، غلظت سدیم، کلر، روی، پتاسیم، مس و کل نیتروژن گیاه افزایش یافت. الکرکی[۲۵] (۲۰۰۶) نیز گزارش کرد که تلقیح بذر در گوجه فرنگی با *G.mossea* باعث افزایش ماده‌ی خشک ریشه، اندام هوایی و همچنین غلظت فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس شد.

در گیاهان میکوریزی غلظت پتاسیم بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزی می‌باشد و بدین ترتیب با افزایش نسبت پتاسیم به سدیم، همزیستی میکوریزی گیاه را در برابر اثرات منفی سدیم محافظت میکند در نتیجه استفاده ازاین قارچ باعث افزایش رشد در شرایط شوری می‌شود (Poss *et al*., 1985). اثر کود پتاسیم روی میکوریزا کمتر مورد مطالعه قرار گرفته، اما بیان شده که تولید اسپور را تحریک می‌کند (Furlan and Bernier-Cardou,1989). قارچ مایکوریزا جذب عناصر دیگری مانند سولفور، بور، کلسیم، منیزیم، سدیم، روی، مس، منگنز، آهن، آلومنیوم و سیلسیم را نیز افزایش

25. Al-Karaki, 2006

می‌دهد (Clark and Zeto, 1996) که این پدیده در محیط‌هایی که مواد معدنی مورد نیـاز کـم اسـت، بسیار اهمیت دارد و به بقای گیاه کمک می‌کند.

فصل سوم:

مواد و روشها

۳-۱- موقعیت جغرافیایی و مشخصات آب و هوایی محل اجرای آزمایش

این آزمایش در یکی از مزارع منطقه مجن که در آن سابقه کشت طولانی مدت سیب زمینی (بیش از ۲۰ سال) وجود داشت، انجام شد. این شهر از لحاظ جغرافیایی در فاصله ۳۵ کیلومتری شمال غربی شاهرود و در ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و در ارتفاع ۲۰۶۰ متری از سطح دریا قرارگرفته است. ارتفاع مزرعه اجرای آزمایش ۱۹۴۵ متر از سطح دریا بود. براساس آمارهای موجود، در دوره ۲۰ ساله (۸۵-۱۳۶۵) میانگین بارندگی سالانه ایستگاه مجن۲۴۹/۶ میلی‌متر بوده است که بارندگی‌ها عمدتا در فصل پاییز و بهار رخ می‌دهد و جزء مناطق سرد و خشک محسوب می‌شود.

۳-۲- خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش

قبل از انجام عملیات آماده‌سازی و اجرای نقشه آزمایش به منظور تعیین بافت خاک و وضعیت عناصر پتاسیم و فسفر از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در ۳۶ نقطه از خاک مزرعه نمونه‌گیری شد. بدین منظور مزرعه مورد نظر به ۳۶ قسمت فرضی (برابر با تعداد کرت‌های آزمایش) تقسیم و از هر نقطه حدود یک کیلوگرم خاک برداشته شد. سپس خاک‌ها با هم مخلوط شده و نهایتاً یک نمونه یک کیلوگرمی که گویای تمام سطح مزرعه بود به آزمایشگاه منتقل شد. براساس نتایج آزمون خاک، بافت خاک لومی شنی (۱۸٪ رس، ۴۳٪ شن و ۳۹٪ سیلت) بود و پتاسیم و فسفر قابل استفاده و اسیدیته خاک این مزرعه به ترتیب ۶۰۴ و ۴۹ میلیگرم بر کیلوگرم خاک و ۸/۲ بود.

۳-۳- مشخصات طرح آزمایشی و تیمارهای آزمایش

برای اهداف این مطالعه مزرعه‌ای که سطح پتاسیم قابل استفاده آن در مقایسه با سطح بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک (حدود ۳۰۰-۳۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نزدیک به دو برابر بود انتخاب و آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل سه سطح ورمی کمپوست (V۱، V۲ وV۳ به ترتیب کاربرد ۰، ۵ و ۱۰ تن در هکتار)، دوسطح

اسید هیومیک (H۱ و H۲ به ترتیب عدم کاربرد اسید هیومیک و کاربرد آن) و دو سطح قارچ میکوریز (M۱ و M۲ به ترتیب تلقیح میکوریز و عدم تلقیح آن) بودند.

۳-۴- نحوه‌ی اعمال تیمارها و نقشه طرح

میزان قارچ میکوریزا اضافه شده از سویه *G.intraradices* (که از شرکت زیست توران فناور شهرستان شاهرود تهیه شده بود) ۲۰ گرم برای هر بوته درنظر گرفته شد و در زیر بذر همراه با کود ورمی کمپوست و اسید هیومیک اعمال شد. میزان کاربرد اسید هیومیک بنا به توصیه شرکت تولید کننده (گرین ایتالیا) ۱۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. این آزمایش دارای ۳۶ کرت آزمایشی بود که هر کرت دارای تعداد ۵ ردیف به فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر و با فاصله کاشت روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. ابعاد هر کرت ۵×۳/۶ در نظر گرفته شد. مرز بین کرت‌ها با یک پشته کشت نشده مشخص شد و بین تکرارها ۲ متر فاصله در نظر گرفته شد. محل تیمارهای مورد نظر به صورت تصادفی مشخص گردید. شکل ۳-۱ نقشه طرح را نشان می‌دهد.

۳-۵- کاشت و داشت

پس از آزمون خاک و تهیه تیمارهای آزمایش، بستر کشت آماده شد، کشت در تاریخ ۱۵ خرداد سال ۱۳۹۱ صورت گرفت و رقم مورد استفاده آگریا بود. آبیاری به صورت غرقابی به فاصله هر ۸ روز انجام می‌شد و سایر عملیات داشت شامل وجین علف‌های هرز و خاکدهی پای بوته‌ها نیز انجام شد. لازم به ذکر است که تناوب این مزرعه به صورت سیب زمینی-گندم-آیش بود و جز در شروع مرحله گلدهی که مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود ازته محاسبه و اضافه شد، هیچ عنصر ماکرو یا میکروی دیگری اضافه نشد.

۳-۶- نمونه برداری

جهت مطالعه صفات از پنج ردیف کشت شده دو ردیف کنار به عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شد و نمونه‌برداری‌ها بر روی بوته‌های سه ردیف میانی با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر خط کشت

صورت گرفت. نمونه برداری طی ۵ مرحله از رشد گیاه صورت گرفت، در هر مرحله از هر واحد آزمایشی دو بوته به طور تصادفی انتخاب شد. اولین مرحله برداشت (که در گلدهی کامل صورت گرفت) در ۶۵ روز پس از کاشت (S۱) بود و مراحل دیگر هم به فاصله ۱۰ روز از برداشت قبلی یعنی ۷۵ (S۲)، ۸۵ (S۳)، ۹۵ (S۴) و ۱۰۵ (S۵) روز پس از کاشت انجام شد. پس از نمونه برداری، نمونه‌ها برای اندازه‌گیری صفات مورد نظر از مزرعه مجن به دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود منتقل شد.

۳-۷- صفات اندازه‌گیری شده و روش اندازه‌گیری

در این تحقیق به منظور بررسی تاثیر سطوح مختلف ورمی کمپوست و میکوریز و اسید هیومیک، صفاتی از قبیل تعداد غده در بوته، قطر بزرگ غده، قطر کوچک غده، وزن تر غده، وزن خشک غده و ریشه و ساقه و برگ، ارتفاع گیاه، میزان کلروفیل برگ، غلظت پتاسیم برگ، غلظت پتاسیم غده، غلظت فسفر برگ، غلظت فسفرغده، درصد همزیستی میکوریزایی، اندازه گیری و گزارش شد.

۳-۷-۱- قطر غده

قطر غده توسط کولیس دیجیتال اندازه‌گیری و بر حسب میلی‌متر به صورت زیر گزارش شد: قطر بزرگ غده از تقسیم مجموع قطرهای بزرگ غده‌های دو بوته بر مجموع تعداد غده‌های دو بوته بدست آمد. در مورد قطر کوچک غده نیز به همین طریق عمل شد.

۳-۷-۲- وزن خشک

پس از تفکیک ریشه، ساقه، برگ و غده، نمونه‌های گیاهی به مدت ۷۲ ساعت در داخل آون در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند. نمونه‌ها بعد از خشک شدن به وسیله ترازوی دیجیتال توزین شده و در نهایت میانگین وزن خشک‌ها در دو بوته نمونه برداری شده برحسب گرم در بوته گزارش شد.

۳-۷-۳- اندازه‌گیری کلروفیل برگ

اندازه گیری کلروفیل برگ در تمام پنج مرحله نمونه‌برداری انجام شد. در هرکرت از همان دو بوته‌ای که قرار بود برداشت شود، روز قبل از برداشت و در یک ساعت مشخص (۱۲ظهر) میزان کلروفیل برگ آن توسط دستگاه SPAD502 اندازه‌گیری شد. برای این کار تعداد ۵ برگ میانی هر بوته قرائت و سپس میانگین آن‌ها محاسبه گردید. در نهایت میانگین کلروفیل ۲ بوته در هر کرت بر حسب واحد SPAD (Hiscox and Israelstam, 1979) برای محاسبات تعیین شد.

۳-۷-۴- غلظت پتاسیم برگ و غده

از ابتدای آزمایش، هدف اندازه‌گیری غلظت پتاسیم برگ و غده در نمونه برداری اول (S۱) بود اما چون در نمونه برداری سوم (S۳) تیمارهای آزمایشی تاثیر معنی‌داری روی اکثر صفات زراعی اندازه گیری شده داشتند غلظت پتاسیم برگ و غده در این مرحله از نمونه برداری (S۳) نیز اندازه گیری شد تا ارتباط بین آن‌ها نیز مشخص شود. برای این منظور نمونه‌ها بعد از خشک شدن به وسیله‌ی آسیاب برقی پودر شد و به منظور اندازه‌گیری میزان پتاسیم برگ و غده با هضم به روش تر، عصاره آن‌ها تهیه گردید و در نهایت غلظت پتاسیم در عصاره حاصل با دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (Cottenie, 1980).

۳-۷-۵- کارایی جذب پتاسیم

برای محاسبه کارایی جذب پتاسیم از فرمول زیر استفاده شد.

$$KACE=[TK_{-K}/TK_{+K}]\times 100$$

که درآن KACE کارایی جذب پتاسیم، TK_{-K} پتاسیم کل جذب شده در شرایط عدم مصرف کود و TK_{+K} پتاسیم کل جذب شده در شرایط مصرف کود می باشد.

۳-۷-۶- غلظت فسفر برگ و غده

در اینجا نیز غلظت فسفر در برگ و غده نمونه برداری اول و سوم اندازه گیری شد. نمونه‌ها بعد از خشک شدن به وسیله ی آسیاب برقی پودر شد و به منظور اندازه‌گیری میزان فسفر برگ و غده با

هضم به روش تر، عصاره آن‌ها تهیه گردید و در نهایت غلظت فسفر در عصاره حاصل به روش آمونیوم مولیبدات وانادات و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (در طول موج ۳۶۰ نانومتر) اندازه‌گیری شد (Smith, 1982). جذب کل از حاصل ضرب غلظت عنصر و وزن خشک گیاه بدست آمد.

۳-۷-۷- تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها

برای تعیین درصد همزیستی میکوریزایی ریشه‌ها، قسمتی از ریشه تازه گیاه به صورت تصادفی نمونه‌برداری (حدود ۳ گرم) شد. جهت رنگ‌آمیزی ریشه‌ها در محیط آزمایشگاه از روش تغییریافته فیلیپس و هایمن[1] (۱۹۷۰) استفاده گردید. پس از شستشوی کامل ریشه‌ها با آب جهت رنگبری به داخل شیشه‌های حاوی محلول KOH ده درصد منتقل و به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس ریشه‌ها شسته شدند و جهت خنثی کردن محیط قلیایی به مدت ۲ دقیقه در محلول HCl یک دهم مولار قرار داده شدند. ریشه‌ها را در محلول رنگ‌آمیزی (شامل نسبت‌هایی از اسید لاکتیک، گلیسیرین، تریپان بلو و آب مقطر) به مدت ۲۴- ۱۲ ساعت قرار داده شد. بعد از رنگ آمیزی، نمونه‌ها در محلول ۱:۱گلیسیرین و اسید لاکتیک نگهداری شدند. برای مشاهده و بررسی درصد آلودگی، از روش خطوط متقاطع (Gridline Intersect Method) استفاده شد (Giovannetti and Mosse, 1980). این صفت نیز فقط در نمونه برداری اول و سوم اندازه‌گیری شد.

۳-۸- روش تجزیه و تحلیل نتایج

نتایج بدست آمده توسط نرم افزارهای MSTATC و SAS تجزیه و تحلیل گردید و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD (در سطح احتمال ۵٪) استفاده شد. جهت رسم شکل‌ها و نمودارها از نرم افزار EXCEL استفاده شد.

1. Phillips and Hayman, 1970

فصل چهارم:

نتایج و بحث

۴-۱- تعداد غده در بوته

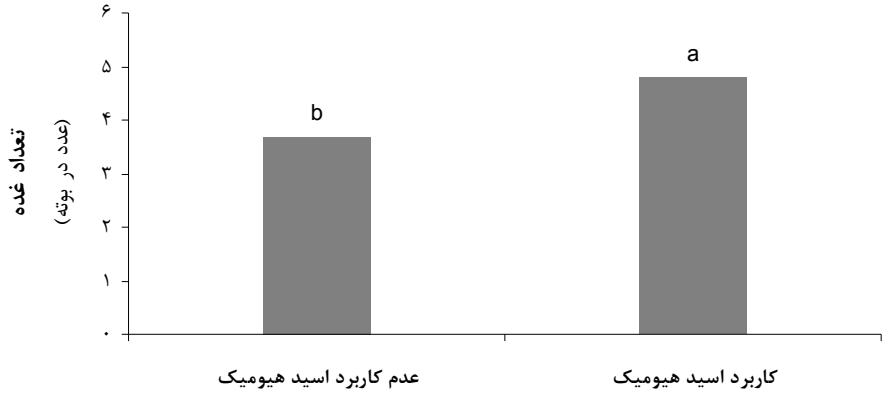
یکی از اجزای عملکرد سیب زمینی تعداد غده در بوته می‌باشد. هر عاملی که بتواند این صفت را افزایش دهد در بهبود عملکرد سیب زمینی موثر خواهد بود. غده بندی و رشد غده تحت تاثیر عوامل محیطی و گیاهی قرار دارد. کلیه عواملی که موجب فراوانی مواد فتوسنتزی، حرکت کربوهیدرات‌های محلول به سمت انتهای ریزوم و فعالیت آنزیم‌های سنتز نشاسته گردند، موجب تحریک غده بندی و رشد غده می‌شود (خواجه پور، ۱۳۸۳). نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی (جدول۴-۱) نشان داد که اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد غده در بین ۵ مرحله نمونه برداری تنها در نمونه برداری سوم (S۳) اثرات معنی‌داری ایجاد کرد و در سایر مراحل نمونه برداری هیچ اثر معنی‌داری در سطوح مختلف آماری ($P \leq ۰/۰۵$ و $P \leq ۰/۰۱$) مشاهده نشد.

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱)، اثر اصلی اسید هیومیک بر تعداد غده در سطح احتمال ۱ درصد و همچنین اثر متقابل سه گانه (V.M.H) در سطح احتمال ۵ درصد در این مرحله از نمونه برداری (S۳) معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی اسید هیومیک (شکل۴-۱) نشان داد که بیشترین تعداد غده در بوته با میانگین ۴/۸ عدد در تیمار کاربرد اسید هیومیک (H۲) مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد (H۱) با میانگین ۳/۶۷ عدد، ۳۱/۰۶ درصد افزایش داشت و بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت. مشخص شده است که کاربرد اسید هیومیک به صورت محلول پاشی و خاکی موجب افزایش هورمون‌های اکسین، سیتوکنین و جیبرلین در گیاه می‌شود (Abdel-Mawgoud *et al*., 2007). به نظر می‌رسد کاربرد اسید هیومیک به طور غیرمستقیم و از طریق افزایش هورمون اکسین و انتقال آن به نوک استولون‌ها باعث تحریک غده بندی و افزایش تعداد غده شده است،که این گفته با اظهارات لینچ[1] (1983) در مورد نقش اکسین در تشکیل غده همخوانی دارد.

در تحقیقی با مصرف اسید هیومیک در گوجه فرنگی تعداد میوه تا ۷۰ عدد در هر بوته افزایش یافت (Yildirim, 2007). میرزایی (۱۳۹۱) نشان داد با مصرف ۷۰۰، ۱۴۰۰ و ۲۱۰۰ میلی‌لیتر اسید

1. Lynch, 1983

هیومیک به صورت برگ‌پاش تعداد غده در بوته به ترتیب ۱۲/۵ و ۲۶ و ۳۶ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده در بخش ۴-۱۲ () می‌توان گفت، اسید هیومیک با انتقال پتاسیم از بخش هوایی به زیرزمینی باعث افزایش تعداد غده در بوته شده است (شکل ۴-۲۸ و شکل ۴-۳۱). لازم به توضیح می‌باشد که کاربرد اسید هیومیک در سایر مراحل نمونه برداری نیز باعث افزایش تعداد غده در بوته نسبت به تیمار شاهد شد اما کاربرد آن فقط در نمونه برداری سوم (S۳) باعث ایجاد اثرات معنی‌داری بر روی این صفت شد.

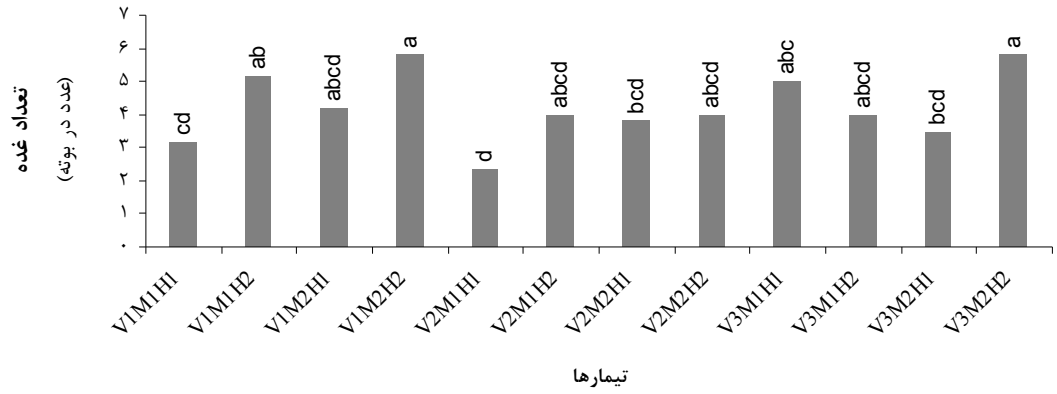


شکل ۴-۱- اثر اصلی اسید هیومیک بر تعداد غده در بوته در نمونه برداری سوم

بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه (شکل ۴-۲) نشان داد، از میان تیمارهایی که در کلاس a قرار گرفتند (V۱M۱H۲، V۱M۲H۱، V۱M۲H۲، V۲M۱H۲، V۲M۲H۲، V۳M۱H۱، V۳M۱H۲ و V۳M۲H۲)، بالاترین تعداد غده در بوته با میانگین ۵/۸۳ عدد به طور مشترک در تیمارهای V۳M۲H۲ و V۱M۲H۲ وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (V۱M۱H۱) با میانگین ۳/۱۷ عدد، ۸۴/۲۱ درصد افزایش داشت و بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت. همچنین با توجه به شکل ۴-۲ می‌توان گفت اکثر تیمارهایی که سطح دوم اسید هیومیک (H۲) را دارا بودند تعداد غده بیشتری داشتند. تشکیل غده در سیب زمینی حاصل ذخیره شدن کربوهیدرات‌ها به خصوص نشاسته در آخرین گره استولن می‌باشد، فسفر از طریق افزایش میزان و مدت فتوسنتز و

انتقال کربوهیدرات‌ها از برگ‌ها به غده‌ها باعث تشکیل غده می‌شود (خلدبرین و اسلامی زاده، ۱۳۸۴). گزارش شده است که کودهای فسفاته باعث تسریع در غده زایی (Mulubrhan, 2004) و افزایش طول دوره رشد گیاه (Ekelof, 2007) شده و در نتیجه باعث افزایش تعداد غده می‌شوند. همچنین مشخص شده است که کمبود آب باعث کاهش تعداد غده می‌شود (جوادی، ۱۳۸۷؛ محمدی، ۱۳۸۰ Thimmegouda and Devakumar, 1993; Haverkort *et al*., 1990; Yuan *et al*., 2003). در بررسی اثر متقابل سه گانه مشاهده شد که تیمار تلقیح میکوریز (تیمار V۱M۲H۱) در میان تیمارهایی بود که در کلاس a قرار گرفتند (شکل ۴-۲). از آنجایی که در گذشته نقش میکوریز در بهبود روابط آبی گیاه و جذب فسفر به خوبی مشخص شده است (به ترتیب Dodd, 2000; Duponnois *et al*., 2005)، به نظر می‌رسد تلقیح گیاه با میکوریز به طور غیر مستقیم و از طریق افزایش جذب فسفر و بهبود روابط آبی توانسته باعث افزایش تعداد غده در بوته شود. با توجه به نتایج بدست آمده در بخش ۴-۱۴ که مشخص شد در این مرحله از نمونه برداری (S۳) میکوریز باعث افزایش غلظت فسفر در گیاه شده است صحت این ادعا مورد تایید است (شکل ۴-۳۴).

همچنین در بررسی اثر متقابل سه گانه مشاهده شد که تیمار کاربرد ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار (تیمار V۳M۱H۱) نیز در میان تیمارهایی بود که در کلاس a قرار گرفتند (شکل ۴-۲). احتمالا افزودن ورمی کمپوست به خاک نه تنها تدارک عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را افزایش داده است بلکه با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک ضمن ایجاد یک محیط مناسب برای رشد ریشه و استولون‌زایی موجبات افزایش تعداد غده را نیز فراهم کرده است. همچنین در بررسی اثر متقابل سه گانه مشاهده شد که تیمار کاربرد اسید هیومیک (تیمار V۱M۱H۲) نیز در میان تیمارهایی بود که در کلاس a قرار گرفتند (شکل ۴-۲)، که در مورد نقش اسید هیومیک در بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی آن به طور مفصل بحث شد. به نظر می‌رسد اثر متقابل سه تیمار به کاربرده شده در این تحقیق با فراهم نمودن مقدار متناسبی از فسفر و تقویت حجم رویشی گیاه، سبب افزایش تولیدات فتوسنتزی و اختصاص آن‌ها به ریشه و افزایش تعداد غدد شده است.



شکل ۴-۲- اثر متقابل سه گانه بر تعداد غده در بوته در نمونه برداری سوم

با توجه به شکل ۴-۲ از میان تیمارهایی که در کلاس d قرار گرفتند (V۱M۱H۱، V۱M۲H۱، V۲M۱H۱، V۲M۱H۲، V۲M۲H۱، V۲M۲H۲، V۳M۱H۲، V۳M۲H۱)، تیمار کاربرد ۵ تن ورمی کمپوست در هکتار (V۲M۱H۱) با میانگین ۲/۳۳ عدد، پایین‌ترین تعداد غده در بوته را به خود اختصاص داد که نسبت به تیمار شاهد (V۱M۱H۱)، ۲۶/۳۱ درصد کاهش داشت. گزارش شده است که مصرف کود نیتروژن تعداد غده در سیب زمینی را افزایش می‌دهد ولی اگر میزان مصرف نیتروژن کمتر از حد مطلوب باشد مقدار این صفت کاهش می‌یابد (Abbasi, 2007; Saeidi, 2008). به نظر می‌رسد تیمار کاربرد ۵ تن ورمی کمپوست در هکتار (V۲M۱H۱) باعث کاهش نیتروژن نسبت به سایر تیمارها در خاک شده و از این طریق باعث کاهش تعداد غده در بوته شده است. عدد کلروفیل‌متر با محتوای نیتروژن برگ ارتباط مستقیم دارد و با افزایش میزان نیتروژن برگ، عدد کلروفیل‌متر هم افزایش می‌یابد (مجیدیان و همکاران، ۱۳۸۷). در بخش ۴-۱۱ مشخص شد در همین مرحله از نمونه برداری (S۳) تیمار کاربرد ۵ تن ورمی کمپوست در هکتار (V۲M۱) باعث کاهش عدد کلروفیل‌متر شد (شکل ۴-۲۴). بنابراین با قاطعیت می‌توان گفت کاربرد ۵ تن ورمی کمپوست در هکتار (V۲M۱H۱) از طریق کاهش نیتروژن موجب کاهش تعداد غده در بوته شده است. این که چگونه کاربرد ۵ تن ورمی کمپوست در هکتار موجب کاهش نیتروژن شده است می‌تواند به این علت باشد که، نیتروژن موجود در کودهای آلی و از جمله کود ورمی کمپوست در طول رشد گیاه به تدریج

معدنی و به فرم قابل استفاده برای گیاه تبدیل می‌شوند، بنابراین گیاه تا مدت قابل توجهی ممکن است نیتروژن به اندازه کافی برای رشد رویشی در اختیار نداشته باشد، احتمالا به این دلیل مصرف ورمی کمپوست (به میزان ۵ تن در هکتار) تاثیری منفی بر این صفت داشته است.

زندیان و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که مصرف ورمی کمپوست اثر منفی بر تعداد غده در سیب زمینی گذاشت به طوریکه با افزایش مصرف آن تعداد غده‌ها کاهش یافت که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. اما نکته مبهمی که در اینجا وجود دارد این است که آیا این توجیه در مورد سطح سوم ورمی کمپوست (کاربرد ۱۰ تن در هکتار) صدق می‌کند! یا خیر! همانطور که گفته شد با توجه به شکل ۴-۲، اکثر تیمارهایی که سطح دوم اسید هیومیک (H۲) را دارا بودند تعداد غده بیشتری داشتند. همچنین می‌دانیم که ورمی کمپوست خود نیز دارای اسید هیومیک می‌باشد، بنابراین با آگهی از این مطالب می‌توان گفت سطح سوم ورمی کمپوست نسبت به سطح دوم آن دارای اسید هیومیک و همچنین میکروارگانیسم‌های مفید بیشتری می‌باشد. از اینرو داشتن این خصوصیات باعث شده است که سطح سوم ورمی کمپوست تا حدودی خصوصیات منفی آن را (در مقایسه با سطح دوم ورمی کمپوست) در مورد تاثیر بر این صفت تخفیف دهد.

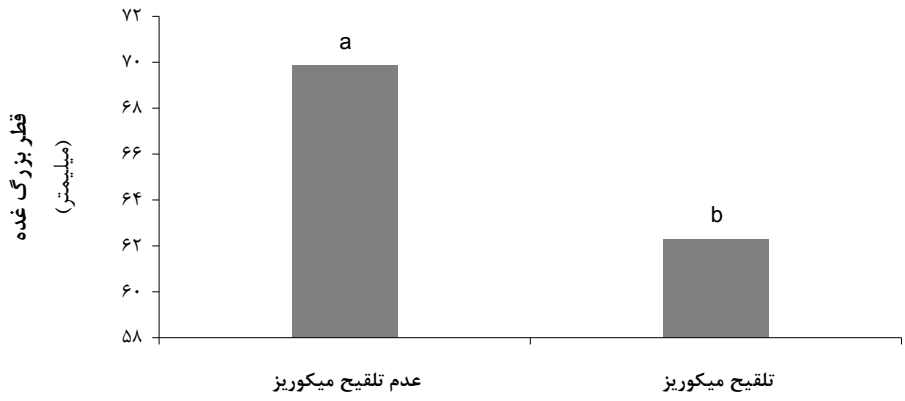
۴-۲- قطر غده

۴-۲-۱- قطر بزرگ غده

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی (جدول ۴-۲) نشان داد که اثر تیمارهای آزمایشی بر قطر بزرگ غده در بین ۵ مرحله نمونه برداری تنها در نمونه برداری سوم (S۳) اثرات معنی‌داری ایجاد کرد و در سایر مراحل نمونه برداری هیچ اثر معنی‌داری در سطوح مختلف آماری ($P \leq ۰/۰۵$ و $P \leq ۰/۰۱$) مشاهده نشد.

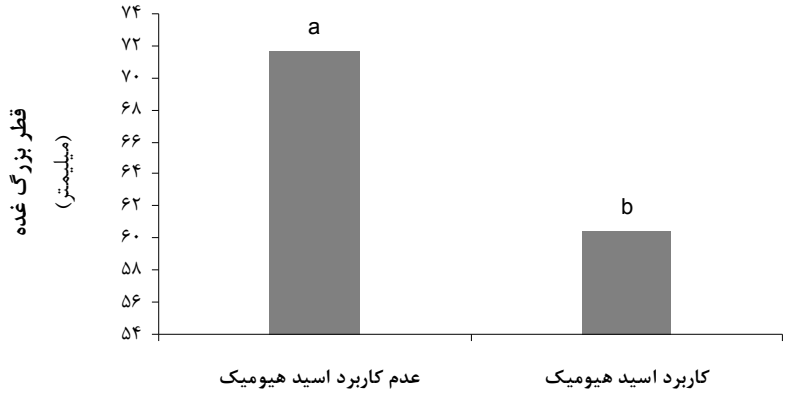
بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۲)، اثر اصلی میکوریز بر قطر بزرگ غده در سطح احتمال ۵ درصد و اثر اصلی اسید هیومیک و همچنین اثر متقابل سه گانه در سطح احتمال ۱ درصد

در این مرحله از نمونه برداری (S۳) معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی میکوریز (شکل ۴-۳) نشان داد که کمترین قطر غده با میانگین ۶۲/۳۰ میلی‌متر در تیمار تلقیح میکوریز (M۲) وجود داشت که نسبت به تیمار عدم تلقیح میکوریز (M۱) با میانگین ۶۹/۸۵ میلی‌متر، ۱۰/۸۱ درصد کاهش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت.



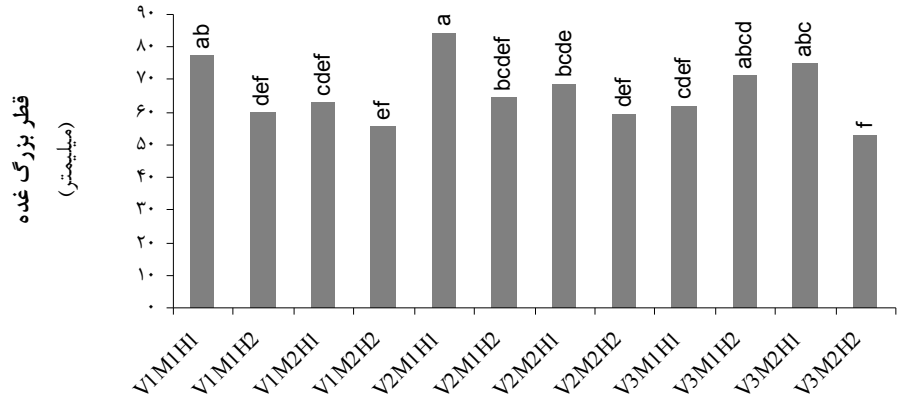
شکل ۴-۳- اثر اصلی میکوریز بر قطر بزرگ غده در نمونه برداری سوم

بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی اسید هیومیک (شکل ۴-۴) نیز نشان داد که کمترین قطر غده با میانگین ۶۰/۵۱ میلی‌متر در تیمار کاربرد اسید هیومیک (H۲) وجود داشت که نسبت به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک (H۱) با میانگین ۷۱/۶۵ میلی‌متر، ۱۵/۵۵ درصد کاهش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت.



شکل ۴-۴- اثر اصلی اسید هیومیک بر قطر بزرگ غده در نمونه برداری سوم

همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه (شکل ۴-۵) نشان داد، از میان تیمارهایی که در کلاس a قرار گرفتند (V۱M۱H۱، V۲M۱H۱، V۳M۱H۲ و V۳M۲H۱)، بالاترین میزان قطر بزرگ غده با میانگین ۸۴/۵۰ میلی‌متر در تیمار V۲M۱H۱ وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (V۱M۱H۱) با میانگین ۷۷/۶۱ میلی‌متر، ۸/۸۹ درصد افزایش داشت ولی اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت. همچنین با توجه به شکل ۴-۵ می‌توان گفت اکثر تیمارهایی که فاقد سطح دوم اسید هیومیک (H۲) بودند قطر بزرگ بیشتری داشتند. از طرف دیگر از میان تیمارهایی که در کلاس f قرار گرفتند (V۱M۱H۲، V۱M۲H۱، V۱M۲H۲، V۲M۱H۲، V۲M۲H۲، V۳M۱H۱ و V۳M۲H۲)، تیمار V۳M۲H۲ با میانگین ۵۳/۰۸ میلی‌متر پایین‌ترین قطر بزرگ را به خود اختصاص داد که نسبت به تیمار شاهد (V۱M۱H۱)، ۳۱/۶۰ درصد کاهش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت (شکل ۴-۵). بررسی ضرایب همبستگی ساده بین تعداد غده و قطر بزرگ غده نشان داد (جدول ۴-۳) که یک همبستگی منفی و بسیار معنی‌داری (r= -۰/۷۳۸۵۱) بین تعداد غده و قطر بزرگ غده وجود دارد. با بررسی دقیق نتایج بدست آمده از تاثیر تیمارهای آزمایشی بر تعداد غده و قطر بزرگ غده مشخص می‌شود دقیقا همان تیمارهایی که باعث افزایش تعداد غده شده‌اند در اینجا باعث کاهش قطر بزرگ غده شده‌اند. پیرو این نتیجه می‌توان گفت، وقتی تیماری باعث افزایش تعداد غده می‌شود گیاه مجبور است مواد فتوسنتری ساخته شده و مواد غذایی جذب شده توسط ریشه را بین تعداد بیشتری غده تقسیم کند بنابراین از قطر غده‌ها کاسته می‌شود.

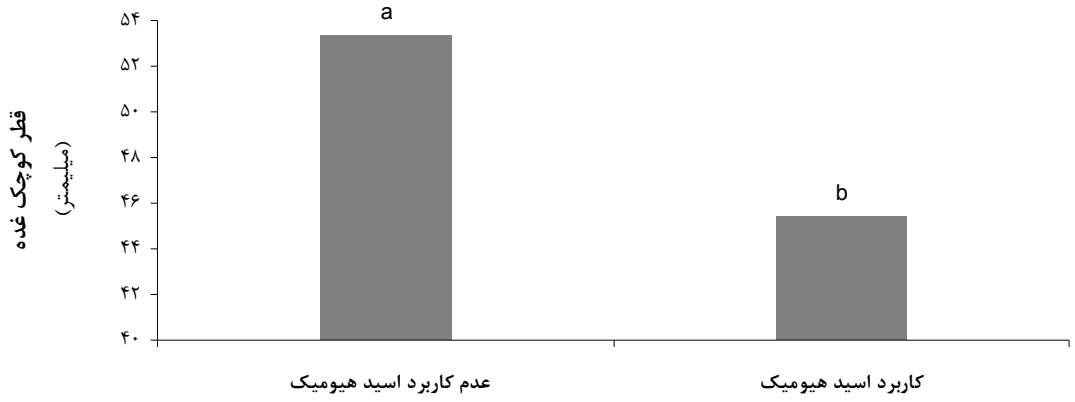


شکل ۴-۵- اثر متقابل سه گانه بر قطر بزرگ غده در نمونه برداری سوم

۴-۲-۲- قطر کوچک غده

در مورد این صفت نیز، نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی (جدول ۴-۴) نشان داد که اثر تیمارهای آزمایشی بر قطر کوچک غده در بین ۵ مرحله نمونه برداری تنها در نمونه برداری سوم (S۳) اثرات معنی‌داری ایجاد کرد و در سایر مراحل نمونه برداری هیچ اثر معنی‌داری در سطوح مختلف آماری ($P \leq ۰/۰۵$ و $P \leq ۰/۰۱$) مشاهده نشد.

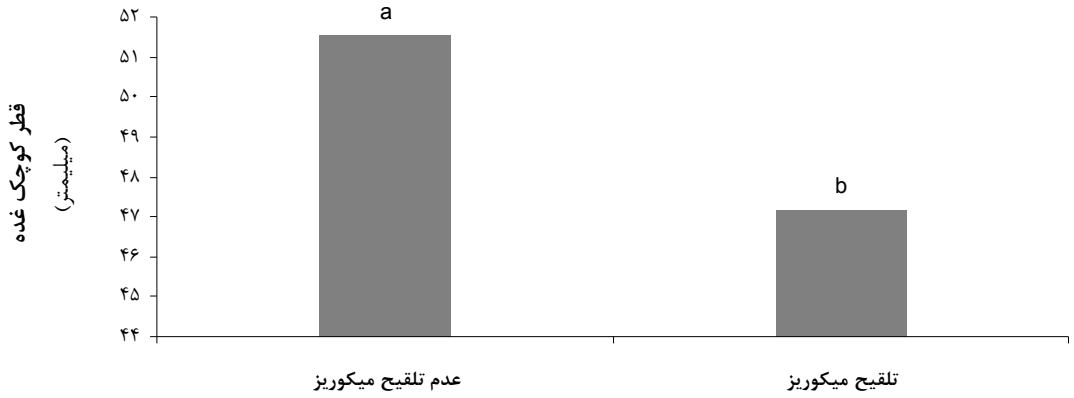
بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۴)، اثر اصلی اسید هیومیک بر قطر کوچک غده در سطح احتمال ۱ درصد و اثر اصلی میکوریز و همچنین اثر متقابل سه گانه در سطح احتمال ۵ درصد در این مرحله از نمونه برداری (S۳) معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی اسید هیومیک (شکل ۴-۶) نشان داد که که کمترین میزان قطر کوچک غده با میانگین ۴۵/۳۹ میلی‌متر در تیمار کاربرد اسید هیومیک (H۲) مشاهده شد که نسبت به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک (H۱) با میانگین ۵۳/۳۲ میلی‌متر، ۱۴/۸۶ درصد کاهش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت.



شکل ۴-۶- اثر اصلی اسید هیومیک بر قطر کوچک غده در نمونه برداری سوم

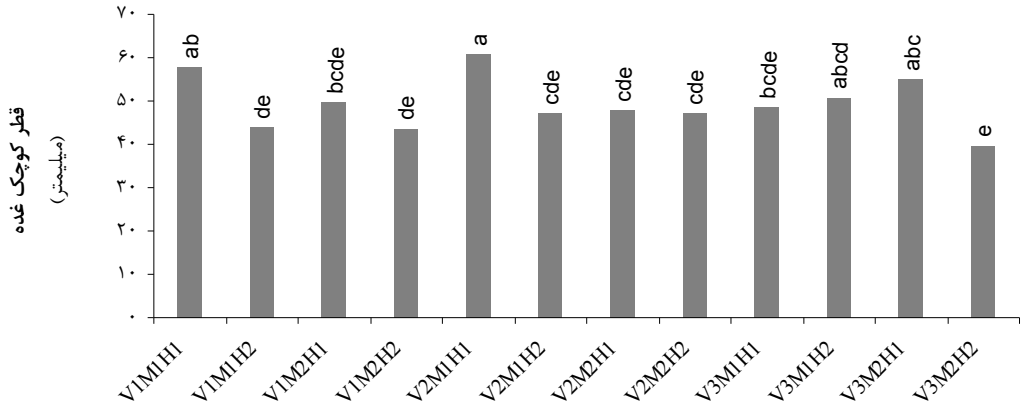
بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی میکوریز (شکل ۴-۷) نیز نشان داد که کمترین قطر کوچک غده با میانگین ۴۷/۱۷ میلی‌متر در تیمار کاربرد میکوریز (M۲) وجود داشت که نسبت به

تیمار عدم تلقیح میکوریز (M۱) با میانگین ۵۱/۵۴ میلی‌متر، ۸/۴۸ درصد کاهش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت.



شکل ۴-۷- اثر اصلی میکوریز بر قطر کوچک غده در نمونه برداری سوم

همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه (شکل ۴-۸) نشان داد، از میان تیمارهایی که در کلاس a قرار گرفتند (V۱M۱H۱، V۲M۱H۱، V۳M۱H۲ و V۳M۲H۱)، بالاترین میزان قطر کوچک غده با میانگین ۶۰/۶۹ میلی‌متر در تیمار V۲M۱H۱ وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (V۱M۱H۱) با میانگین ۵۷/۹۳ میلی‌متر، ۴/۷۵ درصد افزایش داشت ولی اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت. همچنین با توجه به شکل ۴-۸ می‌توان گفت اکثر تیمارهایی که فاقد سطح دوم اسید هیومیک (H۲) بودند قطر کوچک بیشتری داشتند. از طرف دیگر از میان تیمارهایی که در کلاس e قرار گرفتند (V۱M۱H۲، V۱M۲H۱، V۱M۲H۲، V۲M۱H۲، V۲M۲H۱، V۲M۲H۲، V۳M۱H۱ و V۳M۲H۲)، تیمار V۳M۲H۲ با میانگین ۳۹/۸۱ میلی‌متر پایین‌ترین قطر کوچک غده را به خود اختصاص داد که نسبت به تیمار شاهد (V۱M۱H۱)، ۳۱/۲۸ درصد کاهش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت (شکل ۴-۸). بررسی ضرایب همبستگی ساده بین تعداد غده و قطر کوچک غده نشان داد (جدول۴-۳) که یک همبستگی منفی و بسیار معنی‌داری (r= -۰/۷۸۳۴۳) بین تعداد غده و قطر کوچک غده وجود دارد. همچنین یک همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری (r= ۰/۸۸۲۵۱) بین قطر بزرگ غده و قطر کوچک غده وجود داشت.



شکل ۴-۸- اثر متقابل سه گانه بر قطر کوچک غده در نمونه برداری سوم

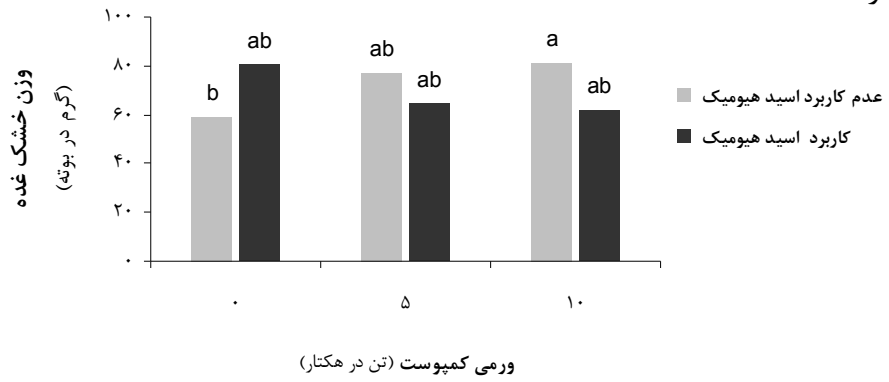
۴-۳- وزن تر غده (در بوته)

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی (جدول ۴-۵) نشان داد کـه تیمارهـای آزمایـشی در هـیچ یک از ۵ مرحله نمونه برداری نتوانـستند اثـرات معنـی‌داری را در سـطوح مختلـف آمـاری ($P \leq ۰/۰۵$ و $P \leq ۰/۰۱$) روی این صفت ایجاد کنند. به نظر می‌رسد وجود مقدار زیـاد عناصـر غـذایی در خـاک ایـن مزرعه به علت مصرف زیاد کودهای شیمیایی در طی سال‌های گذشته، سبب شده اسـت کـه گیـاه بـه راحتی نیاز خود را از خاک تامین کرده و استفاده از تیمارهای مختلف تـاثیر چـشمگیری بـر عملکـرد نداشته باشد. حتی در برخی از موارد کاربرد برخی از تیمارها به عنوان یک حایـل بـین خـاک و ریـشه گیاه عمل کرده و گیاه را از دسترسی مستقیم به منبع عظیم مواد غذایی موجود در خاک محروم کرده است و سبب کاهش برخی از صفات کمی شده است.

۴-۴- وزن خشک غده (در بوته)

وزن خشک غده در سیب زمینی عبارت است از آن مقدار مواد فتوسنتزی که به غـده‌هـا اختـصاص یافته است. نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی (جدول ۴-۶) نشان داد که اثر تیمارهای آزمایـشی بر وزن خشک غده در بین ۵ مرحله نمونه برداری تنها در نمونـه بـرداری دوم (S۲) اثـرات معنـی‌داری ایجاد کرد و در سایر مراحل نمونه برداری هیچ اثـر معنـی‌داری در سـطوح مختلـف آمـاری ($P \leq ۰/۰۵$ و $P \leq ۰/۰۱$) مشاهده نشد.

بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۶)، در این مرحله از نمونه بـرداری (S۲)، تنها اثر متقابل ورمی کمپوست و اسید هیومیک در سطح احتمـال ۵ درصـد معنـی‌دار گردیـد. نتـایج مقایسه میـانگین اثـر متقابـل ورمـی کمپوسـت و اسـید هیومیـک (شـکل ۴-۹) نـشان داد، از میـان تیمارهایی که در کلاس a قرارگرفتند، بالاترین میزان وزن خـشک غـده بـا میـانگین ۸۱/۳۰ گـرم در تیمار V۳H۱ بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد (V۱H۱) بـا میـانگین ۵۸/۷۷ گـرم، ۳۸/۳۳ درصـد افزایش داشت و اختلاف معنـی‌داری بـین آنهـا وجـود داشـت. احتمـالا ورمـی کمپوسـت بـا داشـتن خصوصیاتی همچون بهبود ساختمان خاک، افـزایش ظرفیـت نفوذپـذیری، افـزایش دسترسـی عناصـر ماکرو و میکرو و تحریک فعالیت‌های میکروبی خاک و فعالیت آنـزیم‌هـای حیـاتی باعـث افـزایش وزن خشک غده‌ها گردیده است که نتیجه فوق بـا یافتـه‌هـای آرگولـو و همکـاران[۲] (۲۰۰۶) در گیـاه سـیر مطابقت دارد.



شکل ۴-۹- اثر متقابل ورمی کمپوست و اسید هیومیک بر وزن خشک غده در نمونه برداری دوم

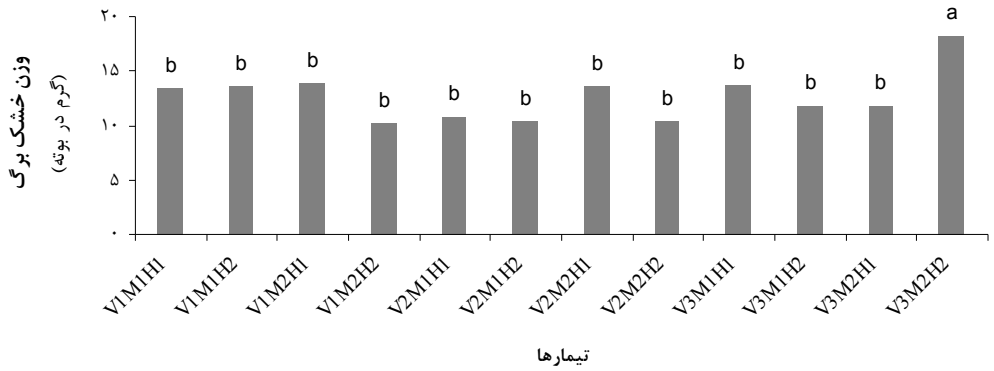
۴-۵- وزن خشک برگ

وزن خشک برگ یکی از شاخص‌ها و اجزای رشد رویشی گیاه است که خود متاثر از تعداد، سـطح و ضخامت برگ‌ها می‌باشد. نتایج تجزیه واریـانس داده‌هـای آزمایـشی (جـدول ۴-۷) نـشان داد کـه اثـر تیمارهای آزمایشی بر وزن خشک برگ در نمونه برداری اول (S۱) و همچنین در نمونه برداری پـنجم

2. Arguello et al., 2006

(S۵) اثرات معنی‌داری ایجاد کرد و در سایر مراحل نمونه برداری هیچ اثر معنی‌داری در سطوح مختلف آماری ($P \leq ۰/۰۵$ و $P \leq ۰/۰۱$) مشاهده نشد.

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۷)، در نمونه برداری اول (S۱) تنها اثر متقابل سه گانه بر وزن خشک برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه (شکل ۴-۱۰) نشان داد که بیشترین وزن خشک برگ با میانگین ۱۸/۲۹ گرم در بوته در تیمار V۳M۲H۲ وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (V۱M۱H۱) با میانگین ۱۳/۴۵ گرم در بوته، ۳۵/۹۷ درصد افزایش داشت و اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد و سایر تیمارها داشت. افزودن ورمی کمپوست به خاک علاوه بر اینکه فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را افزایش می‌دهد، با بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی و فرآیندهای حیاتی خاک ضمن ایجاد یک محیط مناسب برای رشد ریشه موجبات افزایش رشد اندام هوایی نظیر برگ و متعاقب آن تولید ماده خشک را نیز فراهم می‌کند. اسید هیومیک نیز به عنوان اسید آلی حاصل از هوموس و سایر منابع طبیعی از طریق اثرات هورمونی و بهبود جذب عناصر غذایی سبب افزایش بیوماس ریشه و اندام هوایی می‌شود. استفاده از قارچ میکوریز سبب افزایش سرعت رشد گیاه شده و بر تخصیص و انتقال عناصر غذایی بین ریشه و اندام هوایی اثر می‌گذارد، به طوری که با افزایش جذب عناصر غذایی و انتقال آن‌ها، وزن خشک اندام‌های هوایی افزایش می‌یابد (Ortus and Harris, 1996). به نظر می‌رسد کاربرد این سه فاکتور در کنار یکدیگر از طریق عرضه مداوم و پایدار عناصر معدنی به گیاه موجب افزایش وزن خشک برگ شده است.

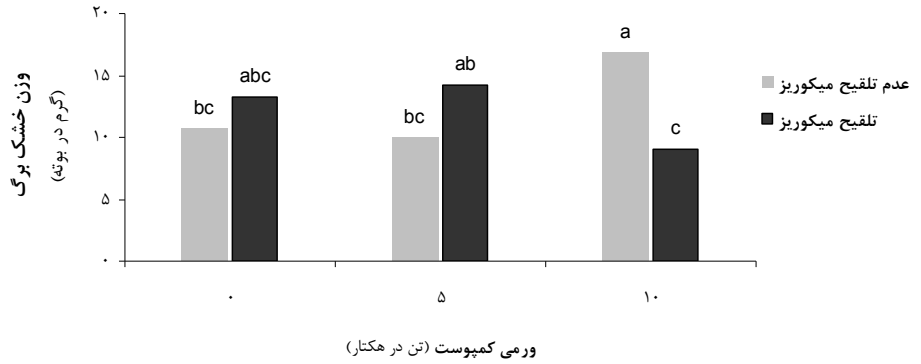


شکل ۴-۱۰-اثر متقابل سه گانه بر وزن خشک برگ در نمونه برداری اول

بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۷) در نمونه برداری پنجم (S۵) نیز تنها اثر متقابل ورمی کمپوست و میکوریز بر وزن خشک برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید. بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ورمی کمپوست و میکوریز (شکل ۴-۱۱) نشان داد که از میان تیمارهایی که در کلاس a قرار گرفتند، بالاترین وزن خشک برگ با میانگین ۱۶/۸۹ گرم در بوته در تیمار کاربرد ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار و عدم تلقیح میکوریز (V۳M۱) وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (V۱M۱) با میانگین ۱۰/۷۳ گرم در بوته، ۵۷/۴۸ درصد افزایش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت. مواد آلی از جمله ورمی کمپوست فرآیند هوموسی شدن و فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی خاک را افزایش داده و موجبات پایداری و نفوذ پذیری بیشتر خاک را فراهم می‌کنند. همچنین اتصال ذرات معدنی مانند کلسیم، منیزیم و پتاسیم در کلوئیدهای هوموس و رس را افزایش می‌دهند، که در نتیجه پایداری، نفوذپذیری و تخلل بهتر خاک باعث رشد و نمو گیاه شده و با فراهم نمودن رطوبت کافی برای گیاه و رهاسازی مواد غذایی در زمان نیاز برای گیاه باعث افزایش عملکرد بیولوژیک می‌شود. این نتیجه با نتایج انصاری[۳] (۲۰۰۸b) که نشان دادند افزودن ورمی کمپوست باعث افزایش عملکرد بیولوژیک در سیب زمینی می‌شود همخوانی دارد.

از طرف دیگر از میان تیمارهایی که در کلاس c قرار گرفتند، پایین‌ترین وزن خشک برگ با میانگین ۸/۹۸ گرم در بوته در تیمار V۳M۲ وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (M۱H۱) با میانگین ۱۰/۷۳ گرم در بوته، ۱۶/۲۷ درصد کاهش داشت ولی اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت (شکل ۴-۱۱). در مورد علت این کاهش در بخش بعد بیشتر بحث خواهیم کرد.

3. Ansari, 2008b



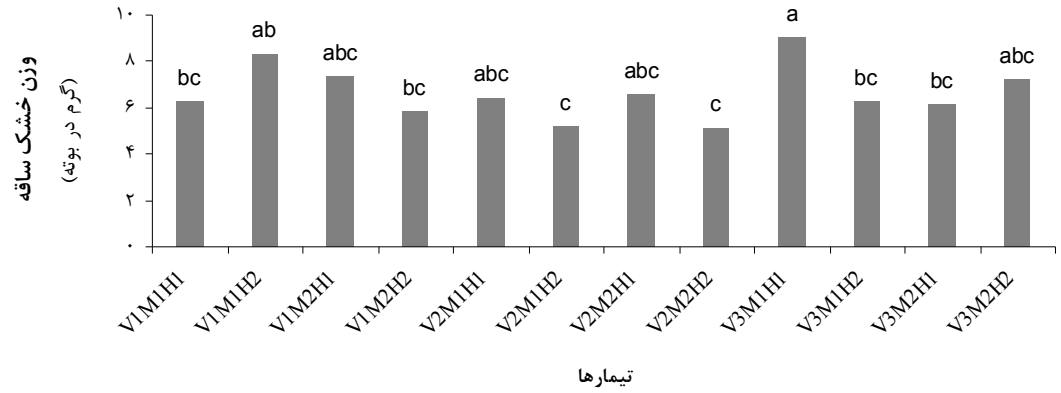
شکل ۴-۱۱-اثر متقابل ورمی کمپوست و میکوریز بر وزن خشک برگ در نمونه برداری پنجم

۴-۶- وزن خشک ساقه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی (جدول ۴-۸) نشان داد که اثر تیمارهای آزمایشی بر وزن خشک ساقه در بین ۵ مرحله نمونه برداری تنها در نمونه برداری اول (S۱) و در نمونه برداری سوم (S۳) و در نمونه برداری پنجم (S۵) اثرات معنی‌داری ایجاد کرد و در سایر مراحل نمونه برداری هیچ اثر معنی‌داری در سطوح مختلف آماری ($P \leq ۰/۰۵$ و $P \leq ۰/۰۱$) مشاهده نشد.

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۸)، در نمونه برداری اول (S۱) تنها اثر متقابل سه گانه بر وزن خشک ساقه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه (شکل ۴-۱۲) نشان داد، از میان تیمارهایی که در کلاس a قرار گرفتند، بالاترین وزن خشک ساقه با میانگین ۹/۰۸ گرم در بوته در تیمار V۳M۱H۱ وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (V۱M۱H۱) با میانگین ۶/۲۶ گرم در بوته، ۴۴/۸۷ درصد افزایش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت. با توجه به شکل ۴-۱۲ کاربرد اکثر فاکتورها به صورت جداگانه (V۱M۲H۱، V۱M۱H۲، V۲M۱H۱ و V۳M۱H۱) تاثیر مثبتی بر افزایش وزن خشک ساقه داشته است، با این حال بیشترین تاثیر مربوط به کاربرد سطح سوم ورمی کمپوست بود. افزایش وزن خشک ساقه گیاه سیب زمینی تحت تاثیر عامل ورمی کمپوست (تیمار V۳M۱H۱) به دلیل غنی بودن این کود از مواد مغذی نسبت به خاک می‌باشد. وقتی گیاه تحت دسترسی کامل به عناصر غذایی قرار می‌گیرد، باعث فعال شدن تنظیم کننده‌های رشد حتی در غلظت‌های کم می‌شود. از جمله این تنظیم کننده‌ها که در رشد

ساقه موثر هستند می‌توان به هورمون جیبرلین اشاره کرد. از شناخته شده‌ترین عکس العمل‌های گیاه نسبت به هورمون جیبرلین همان تحریک رشد میانگره‌ای است. چنین به نظر می‌رسد که ورمی کمپوست با افزایش هورمون جیبرلین باعث افزایش رشد ساقه سیب زمینی شده است. فدریکو و همکاران[4] (۲۰۰۷) در آزمایشی روی گوجه فرنگی نتیجه گرفتند که استفاده از ورمی کمپوست باعث افزایش ارتفاع و وزن خشک اندام هوایی این گیاه می‌شود . سینگ و رامش[5] (۲۰۰۲) نیز بیان کردند کاربرد ورمی کمپوست باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه ریحان نسبت به شاهد می‌شود، که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

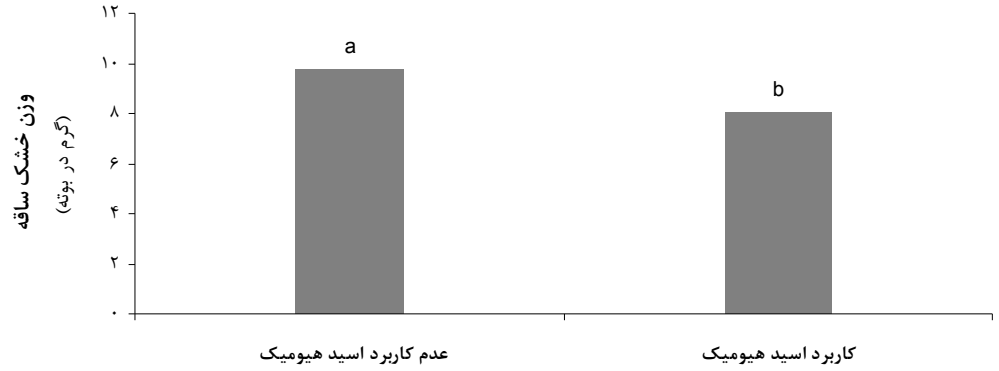


شکل ۴-۱۲- اثر متقابل سه گانه بر وزن خشک ساقه در نمونه برداری اول

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۸)، در نمونه برداری سوم (S۳) تنها اثر اصلی اسید هیومیک بر وزن خشک ساقه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی اسید هیومیک (شکل ۴-۱۳) نشان داد که کمترین وزن خشک ساقه با میانگین ۸/۰۷ گرم در بوته در تیمار کاربرد اسید هیومیک (H۲) وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (H۱) با میانگین ۹/۷۸ گرم در بوته، ۱۷/۴۸ درصد کاهش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت. مقدار پتاسیم ساقه در این مرحله از نمونه برداری (S۳) اندازه‌گیری نشد ولی نتایج اندازه‌گیری پتاسیم برگ و غده نشان داد که کاربرد اسید هیومیک باعث کاهش پتاسیم برگ (شکل ۴-۲۸) و افزایش پتاسیم

4. Federico et al., 2007
5. Singh and Ramesh, 2002

غده (شکل ۴-۳۱) شد. به نظر می‌رسد در اینجا نیز کاربرد اسید هیومیک با انتقال پتاسیم موجود در ساقه به بخش زیرزمینی باعث کاهش ارتفاع گیاه و در نتیجه کاهش وزن خشک ساقه شده است. این نتیجه از نقطه نظر دیگر نیز قابل بررسی است. کاربرد اسید هیومیک در خاک باعث تولید هورمون‌هایی نظیر اکسین، سیتوکنین و جیبرلین در گیاه می‌شود. اکسین و سیتوکنین در غده بندی موثرند و جیبرلین در افزایش ارتفاع گیاه، به نظر می‌رسد سهم اکسین و سیتوکنین تولید شده در حضور اسید هیومیک بیشتر از جیبرلین باشد. از این رو اسید هیومیک باعث کاهش طول و در نهایت وزن خشک ساقه شده است. طاهر و همکاران[6] (۲۰۱۱) در آزمایشی بر روی گیاه گندم در دو خاک آهکی نشان دادند که اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف اسید هیومیک بر ارتفاع بوته گندم در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. بطوریکه به موازات افزایش سطوح اسید هیومیک، ارتفاع گیاه نیز کاهش یافت، که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. در آزمایش این محققان همچنین با افزایش سطوح اسید هیومیک، مقدار جذب پتاسیم و بخصوص نیتروژن کاهش یافت.



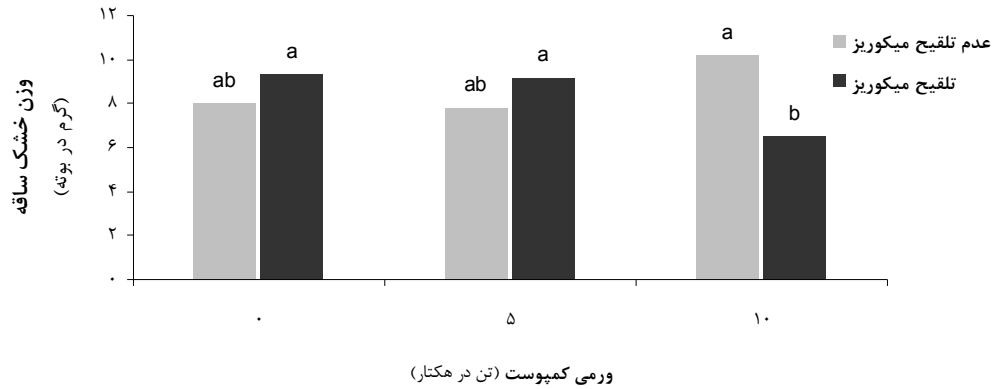
شکل ۴-۱۳- اثر اصلی اسید هیومیک بر وزن خشک ساقه در نمونه برداری سوم

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۸)، در نمونه برداری پنجم (S۵) تنها اثر متقابل ورمی کمپوست و میکوریز بر وزن خشک ساقه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ورمی کمپوست و میکوریز (شکل ۴-۱۴) نشان داد، از میان

6. Taher et al., 2011

تیمارهایی که در کلاس a قرار گرفتند، بالاترین وزن خشک ساقه با میانگین ۱۰/۱۶ گـرم در بوتـه در تیمار V۳M۱ وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (V۱M۱) با میـانگین ۸/۰۲ گـرم در بوتـه، ۲۶/۵۸ درصد افزایش داشت ولی اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت. در تفسیر نتایج قسمت قبـل بـه نقش ورمی کمپوست در افزایش وزن خشک ساقه اشاره شد و از توضـیح بیـشتر در مـورد اثـرات ایـن نهاده صرف نظر می‌کنیم. از طرف دیگر از میان تیمارهایی که در کلاس b قـرار گرفتنـد، پـایین‌تـرین میزان وزن خشک ساقه با میانگین ۶/۵۳ گرم در بوته در تیمـار V۳M۲ وجـود داشـت کـه نـسبت بـه تیمار شاهد (V۱M۱) بـا میـانگین ۸/۰۲ گـرم در بوتـه، ۱۸/۶۰ درصـد کـاهش داشـت ولـی اخـتلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت. در این مرحله از نمونه برداری (S۵) دیدیم کـه تیمـار V۳M۱ هـم باعث افزایش وزن خشک برگ (شکل ۴-۱۱) و هم باعـث افـزایش وزن خـشک سـاقه (شـکل ۴-۱۴) نسبت به شاهد شد، همچنین تیمار V۳M۲ باعث کاهش این دو صفت نسبت به شاهد شد (شـکل ۴-۱۱ و شکل ۴-۱۴). با بررسی دقیق این مطلب مشاهده می‌شود که عامل میکـوریز باعـث ایـن کـاهش بوده است. در اینجا می‌توان گفت گیاه برای ایجاد رابطه‌ی همزیستی مقدار قابل توجهی از انرژی خـود را که می‌توانسته صرف رشد کند مصرف کرده اما حضور ورمی کمپوست باعـث شـده مقـدار فـسفر در محیط رایزوسفر افزایش پیدا کند و رابطه‌ی همزیستی ایجاد شده کم یا از بین برود. به نظـر مـی‌رسـد این امر علت کاهش وزن خشک برگ و ساقه توسط تیمار V۳M۲ باشد. کاهش رشد در گیاهان تلقـیح شده با میکوریزا توسط جونز و اسمیت[۷] (۲۰۰۴) نیز مشاهده شد. آن‌ها همچنـین اشـاره کردنـد کـه این یک پدیده عمومی می‌باشد که مکانیزم آن مشخص نیست.

7. Jones and Smith, 2004



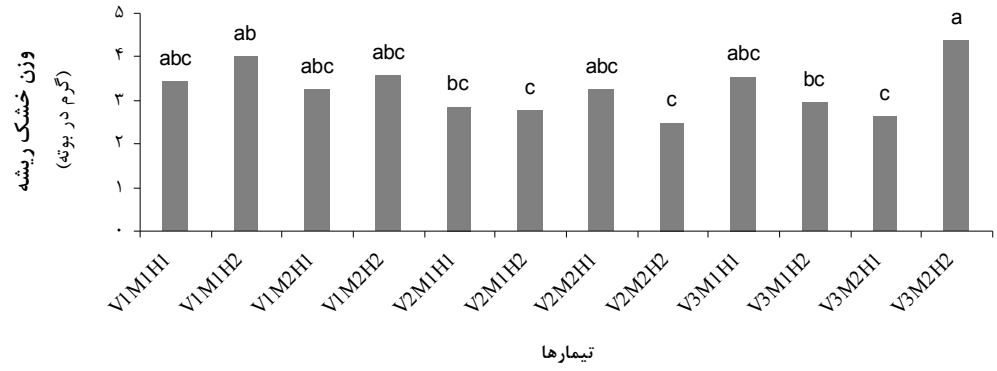
شکل ۴-۱۴-اثر متقابل ورمی کمپوست و میکوریز بر وزن خشک ساقه در نمونه برداری پنجم

۴-۷- وزن خشک ریشه

اصولا اندازه‌گیری صفات مربوط به ریشه در مزرعه نسبت به آزمایشات گلدانی و گلخانه‌ای مشکل‌تر و همراه با خطای بیشتری است. با این وجود، در این آزمایش سعی شد حداکثر عمق ممکن (۴۵سانتیمتر) جهت خروج ریشه و غده اعمال گردد. نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی (جدول ۴-۹) نشان داد که اثر تیمارهای آزمایشی بر وزن خشک ریشه در نمونه برداری اول (S۱) و در نمونه برداری دوم (S۲) و همچنین در نمونه برداری سوم (S۳) اثرات معنی‌داری ایجاد کرد و در سایر مراحل نمونه برداری هیچ اثر معنی‌داری در سطوح مختلف آماری ($P \leq ۰/۰۵$ و $P \leq ۰/۰۱$) مشاهده نشد.

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۹)، در نمونه برداری اول (S۱) تنها اثر متقابل سه گانه بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه (شکل ۴-۱۵) نشان داد که از میان تیمارهایی که در کلاس a قرار گرفتند، بالاترین وزن خشک ریشه با میانگین ۴/۳۸ گرم در بوته در تیمار V۳M۲H۲ وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (V۱M۱H۱) با میانگین ۳/۴۴ گرم در بوته، ۲۷/۰۴ درصد افزایش داشت ولی اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد. رشد ریشه با رشد برگ و ساقه در گیاه با یکدیگر در ارتباطند، با افزایش رشد برگ و ساقه در سیب زمینی رشد ریشه نیز افزایش می‌یابد (رضایی و سلطانی، ۱۳۸۳). در این مرحله از نمونه برداری (S۱) دیدیم که تیمار V۳M۲H۲ باعث افزایش وزن خشک ساقه (شکل ۴-۱۲) و برگ

(شکل ۴-۱۰) نسبت به تیمار شاهد شد. به نظر می‌رسد این تیمار (V۳M۲H۲) از طریق افزایش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به قسمت‌های زیرزمینی باعث افزایش وزن خشک ریشه شده است. مرینِری و همکاران[8] (۲۰۰۰) اظهار داشتند ورمی‌کمپوست خلل و فرج درشت خاک را به میزان ۵۰ تا ۵۰۰ میکرومتر افزایش داده و در نتیجه آب و اکسیژن بیشتری در دسترس ریشه قرار می‌گیرد و رشد ریشه افزایش می‌یابد. قارچ‌های میکوریزا نیز از طریق ایجاد هیف و توسعه سیستم ریشه‌ای باعث افزایش وزن خشک ریشه می‌شوند (Smith and Read, 2008). محققین بسیاری گزارش کرده‌اند که تاثیر مواد هیومیک بر رشد ریشه‌ها بیشتر از قسمت‌های هوایی گیاه است (Ghabbour and Davies, 2000; Albiach *et al*., 2001). اسید هیومیک با اثرات شبه هورمونی که دارد موجب افزایش سطح ریشه می‌شود. به نظر می‌رسد کاربرد این سه فاکتور در کنار یکدیگر از طریق عرضه مداوم و پایدار عناصر معدنی به گیاه موجب افزایش وزن خشک برگ و ساقه و در نهایت ریشه شده است.

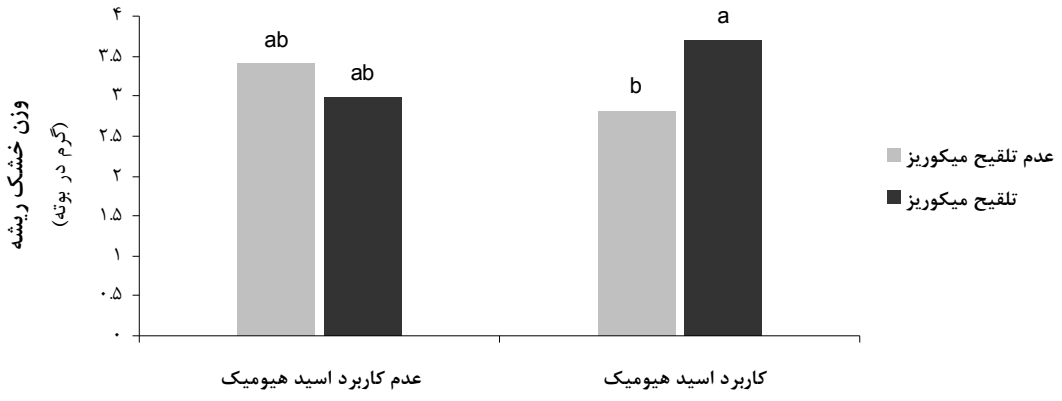


شکل ۴-۱۵- اثر متقابل سه گانه بر وزن خشک ریشه در نمونه برداری اول

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۹)، در نمونه برداری دوم (S۲) تنها اثر متقابل میکوریز و اسید هیومیک بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریز و اسید هیومیک (شکل ۴-۱۶) نشان داد که از میان تیمارهایی که در کلاس a قرار گرفتند، بالاترین وزن خشک ریشه با میانگین ۳/۷۰ گرم در بوته در تیمار M۲H۲

8. Marinari et al., 2000

وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (M۱H۱) با میانگین ۳/۴۰ گـرم در بوتـه، ۸/۸۷ درصـد افـزایش داشت ولی اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجـود نداشـت. اسـید هیومیـک بـا تولیـد بیـشتر اسـیدهای نوکلئیک و اسیدهای آمینه تکثیر سلولی را در کـل گیـاه و بخـصوص در ریـشه‌هـا افـزایش مـی‌دهـد (Dursun *et al*., 2002). همچنین اسید هیومیک با افزایش نفوذپذیری دیواره سلولی و نیز بـا تـسریع در تولید پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک در درون سلول به رشد و تکثیر هـر موجـود زنـده‌ای کمـک می‌کند. بخصوص تأثیر آن بر رشد میکروارگانیسم‌های مفید موجـود در خـاک کـه عمـدتاً از قـارچ‌هـا هستند بیـشتر اسـت (Ayuso *et al*., 1996; Sharif *et al*., 2002). بـه نظـر مـی‌رسـد کـاربرد تـوام میکوریز و اسید هیومیک از طریق اثرات شبه هورمونی و تولید هیف باعث توسـعه سیـستم ریـشه‌ای و به تبع افزایش رشد ریشه شده است.

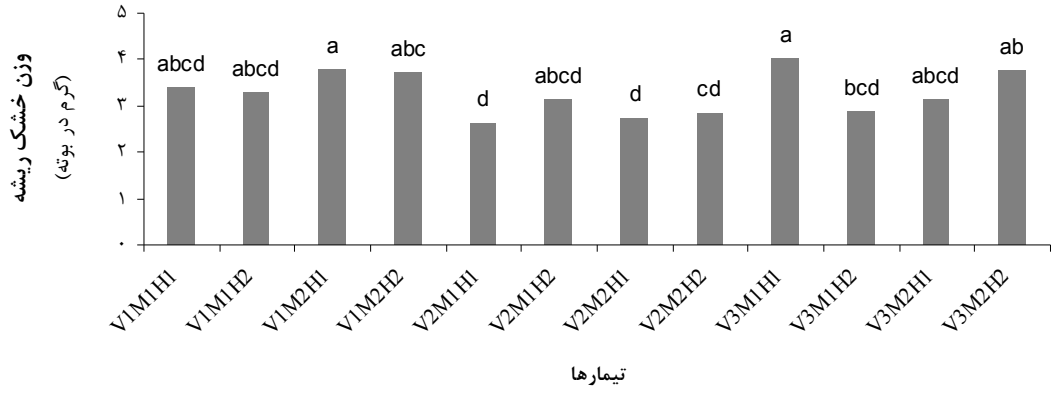


شکل ۴-۱۶- اثر متقابل میکوریز و اسید هیومیک بر وزن خشک ریشه در نمونه برداری دوم

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۹)، در نمونه برداری سـوم (S۳) اثـر اصـلی ورمـی کمپوست بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۱ درصد و همچنین اثـر متقابـل سـه گانـه در سـطح احتمال ۵ درصد بر این صفت معنی‌دار گردید.

بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه (شکل ۴-۱۸) نشان داد، از میـان تیمارهـایی کـه در کلاس a قرار گرفتند، بالاترین وزن خشک ریشه با میانگین ۴/۰۲ گـرم در بوتـه در تیمـار V۳M۱H۱ وجود داشت که نسبت به تیمـار شـاهد (V۱M۱H۱) بـا میـانگین ۳/۴۰ گـرم در بوتـه، ۱۸/۰۶ درصـد

افزایش داشت ولی اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد. مصرف ورمی‌کمپوست از طریق بهبود خواص بیولوژیکی خاک مانند افزایش بیوماس میکروبی و عرضه پایدار عناصر غذایی پرمصرف نظیر نیتروژن، فسفر و نیز وجود تنظیم کننده‌های رشد گیاهی همچون هورمون‌های رشد (اکسین، جیبرلین و سیتوکنین) موجود در آن می‌تواند موجب رشد و نمو ریشه گردد. در آزمایشی که به منظور بررسی تاثیر کود ورمی‌کمپوست در گیاه گوجه‌فرنگی انجام گرفت، در تیمارهای ۱۰۰٪ ورمی کمپوست وزن ریشه ۹ برابر نسبت به تیمار بدون ورمی‌کمپوست افزایش یافت (سماوات، ۱۳۸۰)، که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. از طرف دیگر از میان تیمارهایی که در کلاس d قرار گرفتند، تیمار V۲M۱H۱ با میانگین ۲/۶۴ گرم در بوته، پایین‌ترین وزن خشک ریشه را به خود اختصاص داد که نسبت به تیمار شاهد، ۲۲/۵۶ درصد کاهش داشت ولی اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد (شکل ۴-۱۸). از آنجایی که ریشه نسبت به سایر اندام گیاهی به منبع عناصر غذایی (خاک) نزدیک‌تر است به راحتی نیاز خود را از منابع مختلف تامین می‌کند از این رو تیمارهای مختلف تاثیر چشمگیری بر رشد ریشه نداشتند.



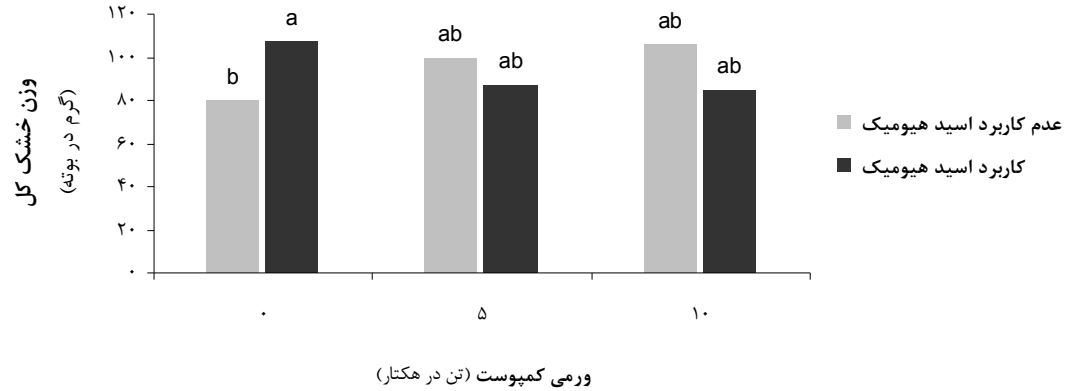
شکل ۴-۱۸- اثر متقابل سه گانه بر وزن خشک ریشه در نمونه برداری سوم

۴-۸- تجمع ماده خشک (TDM)

رشد بخش‌های هوایی و زمینی در گیاه سیب زمینی که در قالب وزن ماده خشک کل بیان می‌شود، نشان دهنده تجمع ماده خشک از زمان کاشت تا برداشت محصول در کل گیاه می‌باشد. نتایج تجزیه

واریانس داده‌های آزمایشی (جدول ۴-۱۰) نشان داد که اثر تیمارهای آزمایشی بر وزن ماده خشک کل تنها در نمونه برداری دوم (S۲) اثرات معنی‌داری ایجاد کرد و در سایر مراحل نمونه برداری هیچ اثر معنی‌داری در سطوح مختلف آماری ($P \leq ۰/۰۵$ و $P \leq ۰/۰۱$) مشاهده نشد.

بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۰)، در این مرحله از نمونه برداری (S۲)، تنها اثر متقابل ورمی کمپوست و اسید هیومیک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ورمی کمپوست و اسید هیومیک (شکل ۴-۱۹) نشان داد، از میان تیمارهایی که در کلاس a قرار گرفتند، بالاترین میزان وزن خشک کل با میانگین ۱۰۷/۲۱ گرم در بوته در تیمار V۱H۲ وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (V۱H۱) با میانگین ۸۰/۰۰ گرم، ۳۴/۰۰ درصد افزایش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود داشت.

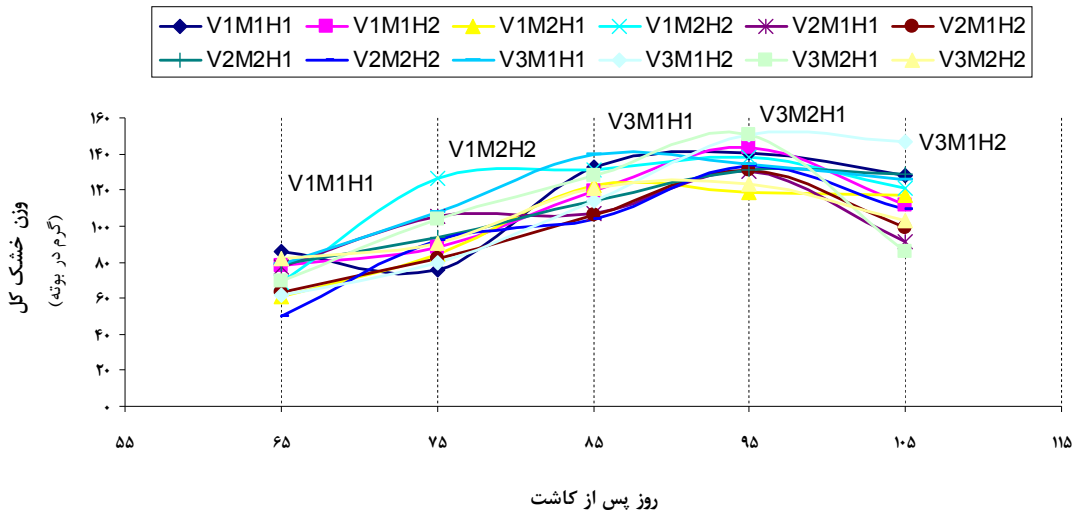


شکل ۴-۱۹- اثر متقابل ورمی کمپوست و اسید هیومیک بر وزن خشک کل در نمونه برداری دوم

شکل ۴-۱۹ نشان می‌دهد که با افزایش سطوح کاربرد ورمی کمپوست در کنار کاربرد اسید هیومیک، وزن خشک کل مدام در حال کاهش است در حالیکه با افزایش سطوح کاربرد ورمی کمپوست و عدم کاربرد اسید هیومیک، وزن خشک کل مدام در حال افزایش است. در توجیه این نتیجه میتوان گفت که ورمی کمپوست خود نیز دارای هیومیک اسید می‌باشد (Atiyeh *et al*., 2002) و کاربرد آن در کنار اسید هیومیک باعث ایجاد ناخواسته‌ی یک سطح بالایی از کاربرد اسید هیومیک در خاک شده است. مشخص شده کاربرد بیش از یک دهم گرم در کیلوگرم خاک از اسید هیومیک

تاثیرات منفی بر خاکدانه و میکروارگانیسم‌های خاک دارد (Piccolo *et al.*, 1997; Vallini *et al.*, 1993; Visser and Caillier, 1988). بنابراین کاربرد این ترکیب تیماری از این طریق منجر به کاهش وزن خشک کل گیاه شده است.

روند افزایش ماده خشک کل نشان می‌دهد که در مرحله اول نمونه برداری وزن ماده خشک کل بیشتر تحت تاثیر رشد اندام هوایی (ساقه و برگ) است. با توجه به شکل ۴-۲۰، افزایش وزن ماده خشک کل در اکثر تیمارهای آزمایشی تا ۹۵ روز پس از کاشت (S۴) روند افزایشی داشت. یکی از علت‌های این امر، تداوم رشد ساقه و برگ و نیز حجیم شدن غده در این تیمارها در اثر مصرف ورمی کمپوست، میکوریز و اسید هیومیک تا ۹۵ روز پس از کاشت می‌باشد. به نظر می‌رسد تیمارهایی که وزن ماده خشک کل را با شیب کمتری (از ۹۵ روز پس از کاشت) کاهش داده‌اند تیمارهای مناسب‌تری باشند. شکل ۴-۲۰ روند تغییرات وزن ماده خشک کل تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی را نشان میدهد. در این شکل در هر مرحله از نمونه برداری، تیمارهایی که بیشترین تاثیر را بر وزن ماده خشک کل داشته‌اند مشخص شده است.



شکل ۴-۲۰- روند تغییرات وزن ماده خشک کل تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی در طی ۵ مرحله نمونه برداری

۴-۹- شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی (جدول ۴-۱۱) نشان داد که تیمارهای آزمایشی در هیچ یک از ۵ مرحله نمونه برداری نتوانستند اثرات معنی‌داری را در سطوح مختلف آماری ($P \leq ۰/۰۵$ و $P \leq ۰/۰۱$) روی شاخص برداشت ایجاد کنند.

۴-۱۰- ارتفاع گیاه

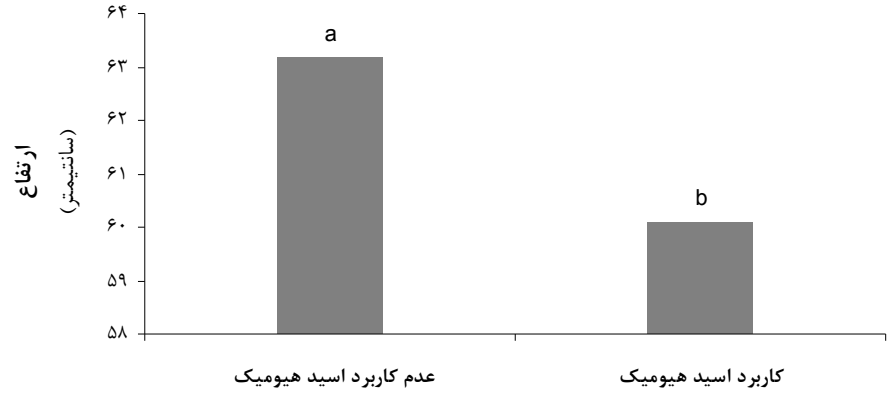
ارتفاع بوته جز مهمی در تعیین عملکرد نمی‌باشد، ولی احتمالا ارقام با ارتفاع بلندتر عملکرد ماده خشک بیشتری دارند. ارتفاع معمولا تحت تاثیر عوامل ژنتیکی می‌باشد ولی محیط نیز ارتفاع بوته را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Harris *et al*., 2007). نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی (جدول ۴-۱۲) نشان داد که اثر تیمارهای آزمایشی بر ارتفاع گیاه در نمونه برداری سوم (S۳) و همچنین در نمونه برداری چهارم (S۴) اثرات معنی‌داری ایجاد کرد و در سایر مراحل نمونه برداری هیچ اثر معنی‌داری در سطوح مختلف آماری ($P \leq ۰/۰۵$ و $P \leq ۰/۰۱$) مشاهده نشد.

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۲)، در نمونه برداری سوم (S۳) تنها اثر اصلی اسید هیومیک بر ارتفاع گیاه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی اسید هیومیک (شکل ۴-۲۱) نشان داد که کمترین ارتفاع بوته با میانگین ۶۰/۰۸ سانتی‌متر در تیمار کاربرد اسید هیومیک (H۲) وجود داشت که نسبت به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک (H۱) با میانگین ۶۳/۱۷ سانتی‌متر، ۴/۸۸ درصد کاهش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت. در بسیاری از تحقیقات گزارش شده است که کارایی اسید هیومیک بستگی به سطوح مورد استفاده آن، محیط رشد گیاه و منبع تهیه اسید هیومیک دارد (Chen and Aviad, 1990; Sharif *et al*., 2002; Vaughan and Linehan, 2004). مقدار پتاسیم ساقه در این آزمایش اندازه‌گیری نشد ولی نتایج اندازه‌گیری پتاسیم برگ و غده نشان داد که کاربرد اسید هیومیک باعث کاهش پتاسیم برگ (شکل ۴-۲۸) و افزایش پتاسیم غده (شکل ۴-۳۱) شد. به نظر می‌رسد در اینجا نیز کاربرد اسید هیومیک با

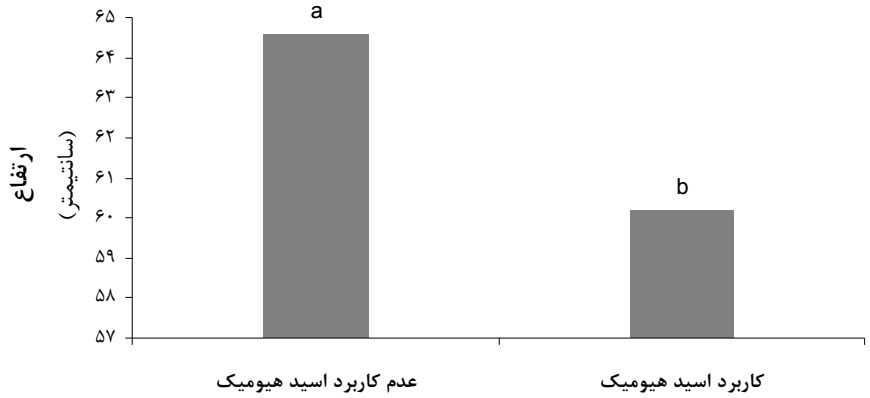
انتقال پتاسیم موجود در ساقه به بخش زیرزمینی باعث کاهش ارتفاع گیاه شده است. نتایج بخش ۴-۶ نیز نشان داد که کاربرد اسید هیومیک باعث کاهش وزن خشک ساقه (شکل ۴-۱۳) شده است که این خود دلیل دیگری برای کاهش ارتفاع توسط کاربرد اسید هیومیک است. طاهر و همکاران[9] (۲۰۱۱) در آزمایشی بر روی گیاه گندم در دو خاک آهکی نشان دادند که اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف اسید هیومیک در ارتفاع بوته گندم در سطح احتمال ۱ درصد وجود دارد. بطوریکه به موازات افزایش سطوح اسید هیومیک، ارتفاع گیاه نیز کاهش یافت. این محققان همچنین نشان دادند که با افزایش سطوح اسید هیومیک مقدار جذب پتاسیم و بخصوص نیتروژن کاهش یافت.

در نمونه برداری چهارم (S۴) نیز، بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۲) اثر اصلی اسید هیومیک بر ارتفاع گیاه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی اسید هیومیک (شکل ۴-۲۲) نشان داد که کمترین ارتفاع بوته با میانگین ۶۰/۱۹ سانتی‌متر در تیمار کاربرد اسید هیومیک (H۲) وجود داشت که نسبت به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک (H۱) با میانگین ۶۴/۵۸ سانتی‌متر، ۶/۸۰ درصد کاهش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت. در این نمونه برداری (S۴) نیز همانند نمونه برداری سوم (S۳) کاربرد اسید هیومیک باعث کاهش ارتفاع گیاه شد. تان و نپامورنودی[10] (۱۹۷۹) طی آزمایشی بر روی ذرت با استفاده از ۵ سطح ۰، ۳۲۰، ۶۴۰، ۱۶۰۰ و ۳۲۰۰ پی‌پی‌ام اسید هیومیک نشان دادند که در سطوح ۱۶۰۰ و ۳۲۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم ساقه کاهش یافته و به تبع ارتفاع هم کاهش یافت، که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

9. Taher et al., 2011
10. Tan and Nopamornbodi, 1979



شکل ۴-۲۱- اثر اصلی اسید هیومیک بر ارتفاع گیاه در نمونه برداری سوم



شکل ۴-۲۲- اثر اصلی اسید هیومیک بر ارتفاع گیاه در نمونه برداری چهارم

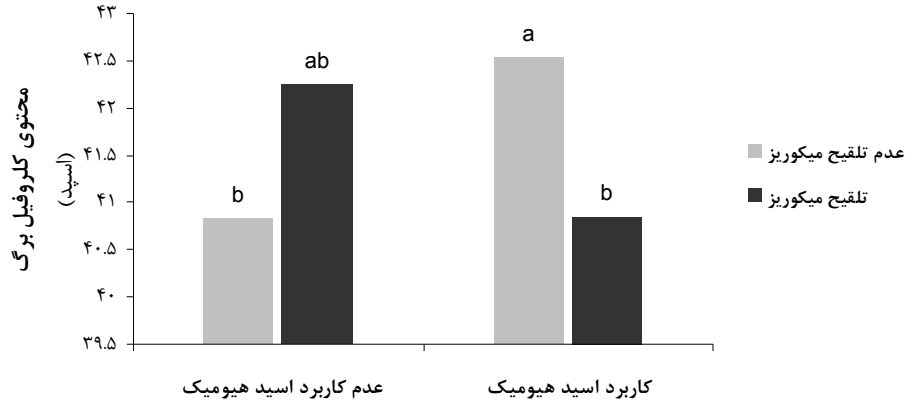
۴-۱۱- میزان کلروفیل برگ (عددSPAD)

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی (جدول ۴-۱۳) نشان داد که اثر تیمارهای آزمایشی بر کلروفیل برگ در نمونه برداری دوم (S۲) و در نمونه برداری سوم (S۳) و همچنین در نمونه برداری چهارم (S۴) اثرات معنی‌داری ایجاد کرد و در سایر مراحل نمونه برداری هیچ اثر معنی‌داری در سطوح مختلف آماری ($P <$ ۰/۰۵ و $P <$ ۰/۰۱) مشاهده نشد.

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۳)، در نمونه برداری دوم (S۲) تنها اثر متقابل میکوریز و اسید هیومیک بر میزان کلروفیل برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. نتایج

مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریز و اسید هیومیک (شکل ۴-۲۳) نشان داد، از میان تیمارهـایی کـه در کلاس a قرار گرفتند بالاترین میزان کلروفیل با میانگین ۴۲/۵۳ واحد اسپد در تیمـار عـدم تلقـیح میکوریز و کاربرد اسید هیومیک (M۱H۲) وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (M۱H۱) با میـانگین ۴۰/۸۳ واحد اسپد، ۴/۱۶ درصد افزایش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشـت. نیتـروژن در ساختمان شیمیایی کلروفیل مشارکت دارد. یک اتم نیتروژن و چهار اتم کربن در حلقـه‌هـای درون کلروفیل جای گرفته‌اند که نیتروژن از سویی با اتم‌های کربن و از طرفی با اتم منیزیم پیونـد مـشترک دارد، آهن نیز یک کاتیون بسیار مهم در ساختار کلروفیـل بـرگ مـی‌باشـد (Singh, 2000). از ایـن‌رو نوسانات نیتروژن، آهن و منیزیم در گیاه سبب کاهش و یا افزایش مقدار کلروفیـل در گیـاه مـی‌شـود. گروسل و انسکیپ[11] (۱۹۹۱) در طی تحقیقات خود پی‌بردند که اسید هیومیک سـبب افـزایش جـذب آهن، روی، مس و منگنز توسط خیار رشد یافته در محلول هوگلند شد. با توجه به این مطالب بـه نظـر می‌رسد اسید هیومیک از طریق افـزایش جـذب نیتـروژن، آهـن و منگنـز و ... سـبب افـزایش غلظـت کلروفیل برگ شده است. افزایش غلظت کلروفیل برگ توسط اسید هیومیک (تیمار M۱H۲) از جوانـب دیگر نیز قابل بررسی و توجیه می‌باشد. نتایج بدست آمده توسط یلدرم[12] (۲۰۰۷) نشان داد کـه اسـید هیومیک باعث افزایش مقدار اسید آسکوربیک میوه‌های گوجه فرنگی شد. از طرفی تحقیقـات امـین و همکاران[13] (۲۰۰۸) نیز نشان داد که اسید آسکوربیک باعث افزایش کلروفیل می‌شود. به نظر می‌رسـد اسید هیومیک به طور غیرمستقیم و از طریق افزایش مقدار اسـید آسـکوربیک باعـث افـزایش میـزان کلروفیل در برگ شده است. در آزمایشی (Karakurt *et al*., 2009) نشان داده شد که اسید هیومیـک به طور معنی‌داری در محتوی کلروفیل برگ‌ها مؤثر بوده است بـه طوریکـه مقـادیر ۲۰ میلـی لیتـر در لیتر اسید هیومیک چه به صورت محلول پاشی و چه اعمال خاکی بیشترین محتوی کلروفیل بـرگ‌هـا را سبب شد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

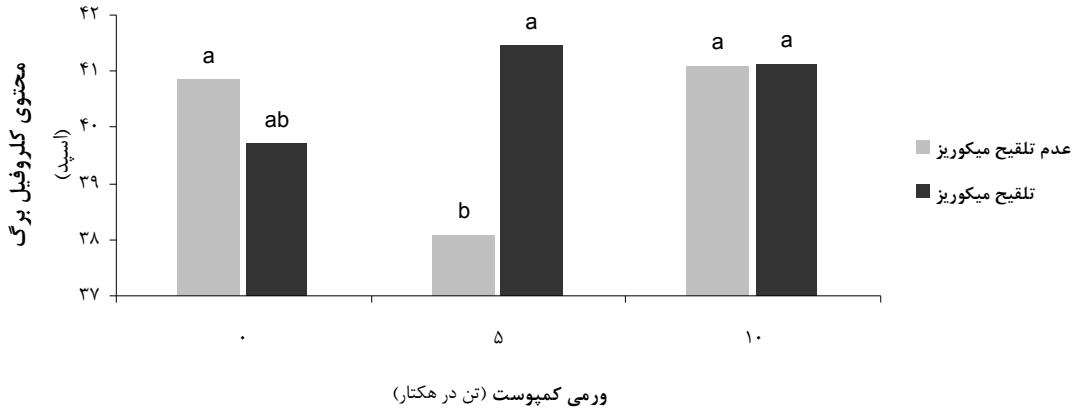
11. Grossl and Inskeep, 1991
12. Yildirim, 2007
13. Amin et al., 2008



شکل ۴-۲۳- اثر متقابل میکوریز و اسید هیومیک بر میزان کلروفیل برگ در نمونه برداری دوم

بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۳) در نمونه برداری سوم (S۳) نیز تنها اثر متقابل ورمی کمپوست و میکوریز بر میزان کلروفیل برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ورمی کمپوست و میکوریز (شکل ۴-۲۴) نشان داد، از میان تیمارهایی که در کلاس a قرار گرفتند بالاترین میزان کلروفیل برگ با میانگین ۴۱/۴۵ واحد اسپد در تیمار V۲M۲ وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (V۱M۱) با میانگین ۴۰/۸۵ واحد اسپد، ۱/۴۷ درصد افزایش داشت ولی اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد. به نظر می‌رسد استفاده از ۵ تن ورمی‌کمپوست در کنار میکوریز، سبب تحریک فعالیت‌های میکوریز در خاک شده و توانایی آن را در بهبود جذب عناصر معدنی پر مصرف (نیتروژن) و کم مصرف (آهن، منیزیم و منگنز) افزایش داده است. همانطور که گفته شد این عناصر (نیتروژن، آهن، منیزیم و منگنز) نقش مهمی در تشکیل کلروفیل دارند. به نظر می‌رسد کاربرد این ترکیب تیماری از این طریق سبب افزایش کلروفیل در گیاه شده است. از طرف دیگر ، از میان تیمارهایی که در کلاس b قرار گرفتند، پایین‌ترین میزان کلروفیل با میانگین ۳۸/۰۷ واحد اسپد در تیمار کاربرد ۵ تن ورمی کمپوست در هکتار و عدم تلقیح میکوریز (V۲M۱) وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (V۱M۱) با میانگین ۴۰/۸۵ واحد اسپد، ۶/۸۰ درصد کاهش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت. عدد کلروفیل‌متر با محتوای نیتروژن برگ ارتباط مستقیم دارد و با کاهش میزان نیتروژن برگ، عدد کلروفیل‌متر هم کاهش می‌یابد (مجیدیان و

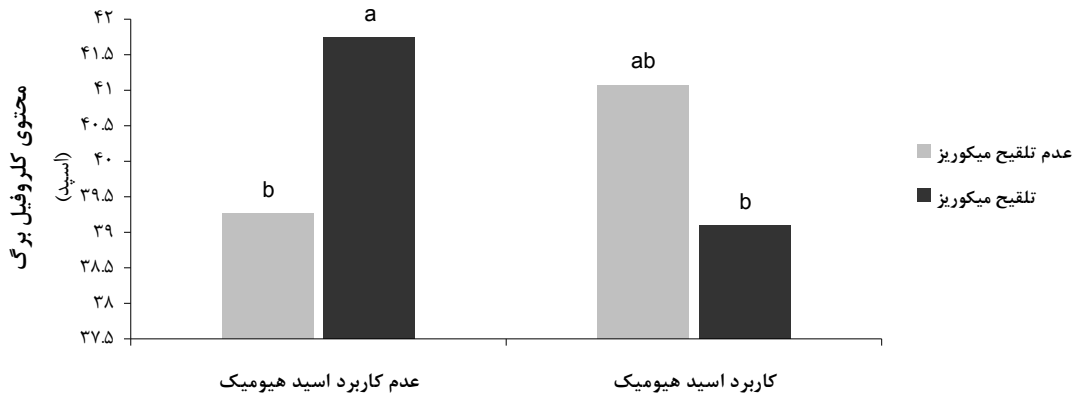
همکاران، ۱۳۸۷). به نظر می‌رسد تیمار کاربرد ۵ تـن ورمـی کمپوسـت در هکتـار (V۲M۱H۱) باعـث کاهش نیتروژن نسبت به سایر تیمارها در خاک شده و از این طریق باعث کاهش کلروفیل شده اسـت. همچنین گزارش شده است که غلظت‌های بالای کادمیوم نیز موجب کاهش محتوای کلروفیل در گیـاه می‌شود (Hsu and Kao, 2004; Laspina *et al*., 2005). از آنجایی که مقدار فسفر قابـل دسـترس در خاک این مزرعه بیش از حد بحرانی آن (۴۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بود، به تبـع کـادمیوم خـاک نیز باید بیشتر بوده باشد و احتمالا تیمار V۲M۱ با انتقال بهتر کادمیوم به بخش هوایی بـه طـور غیـر مستقیم باعث کاهش میزان کلروفیل در برگ شده است.



شکل ۴-۲۴- اثر متقابل ورمی کمپوست و میکوریز بر میزان کلروفیل برگ در نمونه برداری سوم

بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۳) در نمونه بـرداری چهـارم (S۴)، اثـر متقابل میکوریز و اسید هیومیک بر میزان کلروفیل برگ در سـطح احتمـال ۵ درصـد و همچنـین اثـر متقابل سه گانه در سطح احتمال ۱ درصد در این مرحله از نمونه برداری (S۴) معنی‌دار گردیـد. نتـایج مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریز و اسید هیومیک (شکل ۴-۲۵) نشان داد، از میان تیمارهـایی کـه در کلاس a قرار گرفتند، بالاترین میزان کلروفیل برگ با میانگین ۴۱/۷۳ واحد اسپد در تیمـار تلقـیح میکوریز و عدم کاربرد اسید هیومیک (M۲H۱) وجود داشت که نـسبت بـه تیمـار شـاهد (M۱H۱) بـا میانگین ۳۹/۲۷ واحد اسپد، ۶/۲۸ درصد افزایش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجـود داشـت.

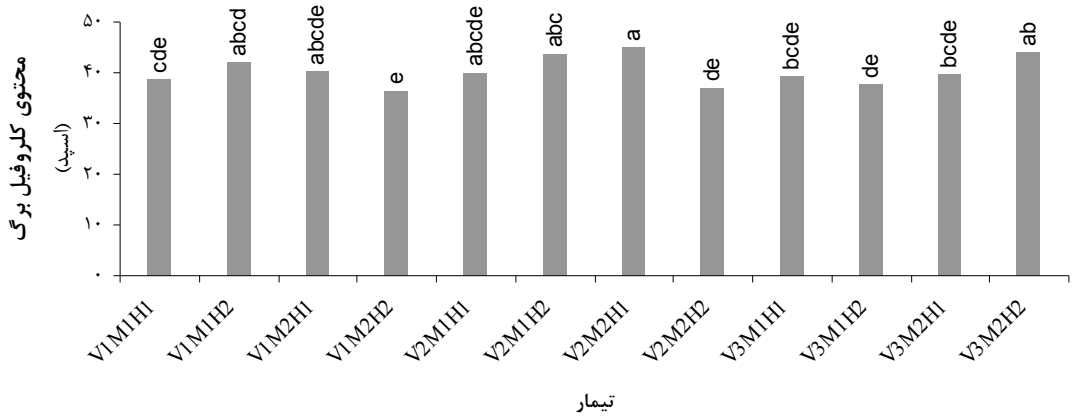
تحقیقات نشان می‌دهد که جهت ساخت کلروفیل در برگ، محتوای آب نسبی برگ باید بالا باشد (Sawhney and Singh, 2002; Castrillo and Trujillo, 1994). از طرفی مشخص شده است که میکوریز انتقال آب را به گیاه میزبان تسهیل می‌کند (Louise *et al*.,2007). با عنایت به دو مطلب فوق می‌توان گفت میکوریز از طریق بهبود روابط آبی باعث افزایش محتوای آب نسبی برگ شده و از این طریق باعث افزایش میزان کلروفیل برگ شده است. نقش میکوریز در افزایش کلروفیل برگ از جهات دیگر نیز قابل بررسی است. عدد کلروفیل متر با محتوای نیتروژن برگ ارتباط مستقیم دارد و با افزایش میزان نیتروژن برگ، عدد کلروفیل متر هم افزایش می‌یابد (مجیدیان و همکاران، ۱۳۸۷). به نظر می‌رسد که میکوریزا با گسترش ریشه و افزایش سطح جذب آن، جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن را افزایش داده و موجب زیاد شدن میزان کلروفیل در تیمارهای میکوریزایی گردیده است. صحت این ادعا با توجه به نتایج تحقیقات اخیر (strada-Luna Davies, 2003; Ryan and Graham, 2002; Brito *et al*., 2008) مورد تایید است.



شکل ۴-۲۵- اثر متقابل میکوریز و اسید هیومیک بر میزان کلروفیل برگ در نمونه برداری چهارم

همچنین بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه (شکل ۴-۲۶) نشان داد، از میان تیمارهایی که در کلاس a قرار گرفتند، بالاترین میزان کلروفیل برگ با میانگین ۴۵/۱۳ واحد اسپد در تیمار V۲M۲H۱ وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (V۱M۱H۱) با میانگین ۳۸/۶ واحد اسپد، ۱۶/۹۲ درصد افزایش داشت و بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت. به طور کلی، کودهای

زیستی می‌توانند به حاصلخیزی خاک و تولید محصول منجر شوند، زیرا اکثر نیازهای غذایی مورد نیاز گیاه را تأمین کرده و جذب مواد غذایی توسط گیاه را افزایش می‌دهد، خصوصا عناصر غذایی که در تشکیل کلروفیل ضروری‌اند. به همین دلیل در تیمارهایی که از کودهای زیستی استفاده شد، کلروفیل‌متر عدد بالاتری را نشان داد.



شکل ۴-۲۶- اثر متقابل سه گانه بر میزان کلروفیل برگ در نمونه برداری چهارم

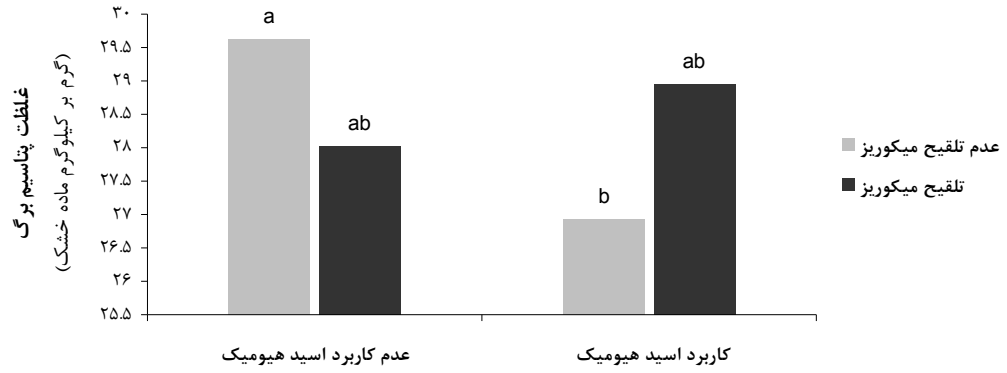
۴-۱۲- غلظت پتاسیم در برگ و غده

همانطور که در فصل مواد و روش‌ها گفته شد، اندازه‌گیری غلظت پتاسیم برگ و غده فقط در مرحله‌ی اول (S۱) و سوم نمونه برداری (S۳) انجام شد.

۴-۱۲-۱- غلظت پتاسیم برگ

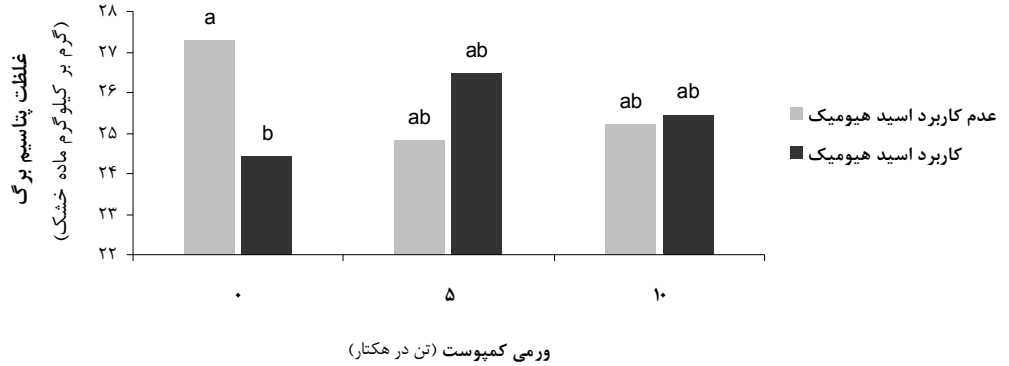
بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۴)، در نمونه برداری اول (S۱) اثر متقابل میکوریز و اسید هیومیک بر غلظت پتاسیم برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریز و اسید هیومیک (شکل ۴-۲۷) نشان داد که از میان تیمارهایی که در کلاس b قرار گرفتند، پایین‌ترین میزان غلظت پتاسیم برگ با میانگین۲۶/۹۲ گرم بر کیلوگرم ماده خشک در تیمار M۱H۲ (عدم تلقیح میکوریز و کاربرد اسید هیومیک) وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (M۱H۱) با میانگین غلظت ۲۹/۶۲ گرم بر کیلوگرم ماده خشک، ۹/۱۱ درصد کاهش

داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت. این کاهش با در نظر گرفتن سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده مشخص‌تر می‌گردد. با توجه به نوع محصول که یک گیاه غده‌ای می‌باشد و الگوی رشدی متفاوت آن با سایر گیاهان از جمله گیاهان علوفه‌ای، چنین نتیجه‌ای دور از انتظار نمی‌باشد. به نظر می‌رسد الگوی رشدی این محصول و انتقال فرآورده‌های ساخته شده از اندام هوایی به بخش زیرین دلیل کاهش مقدار پتاسیم بخش هوایی گیاه باشد و نتایج بدست آمده در مورد غلظت پتاسیم در غده، به روشنی صحت این ادعا را به اثبات می‌رساند (شکل ۴-۳۰). کاهش غلظت پتاسیم در اندام هوایی را تنها نمی‌توان به انتقال آن از بخش هوایی به زیرزمینی معطوف کرد. با نگاهی دقیق‌تر به این موضوع و آگاهی از رابطه آنتاگونیستی بین عناصر در گیاه، شاید بتوان با استفاده از این پارامتر به حضور مقادیر پتاسیم کمتر در اندام هوایی اشاره داشت. نشان داده شده است که کادمیم بر جذب، انتقال و استفاده از بعضی عناصر (پتاسیم و فسفر و منیزیم و کلسیم) و آب توسط گیاهان تأثیر منفی دارد (Ciecko *et al*., 2004; Benavides *et al*., 2005). از آنجایی که مقدار فسفر قابل دسترس در خاک این مزرعه بیش از حد بحرانی آن (۴۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بود، به تبع کادمیوم خاک نیز باید بیشتر بوده باشد و تیمار M۱H۲ با انتقال بهتر کادمیوم به بخش هوایی باعث کاهش غلظت پتاسیم در این اندام شده است. مشاهده می‌شود که تیمار M۲H۱ (تلقیح میکوریز و عدم کاربرد اسید هیومیک) نیز باعث کاهش غلظت پتاسیم برگ نسبت به شاهد شده است (شکل ۴-۲۷). روابط ناهمسازی و یا هم‌افزایی عناصر با یکدیگر نقش مهمی در جذب آن‌ها بازی می‌کند. در این آزمایش کاربرد میکوریز (تیمار M۲H۱) از طریق افزایش فراهمی فسفر که در جذب با پتاسیم در رقابت است، منجر به کاهش غلظت پتاسیم برگ شده است. صحت این ادعا با توجه به نتایج بدست آمده در مورد غلظت فسفر این نمونه برداری (S۱) مورد تأیید است (شکل ۴-۳۳).



شکل ۴-۲۷- اثر متقابل میکوریز و اسید هیومیک بر غلظت پتاسیم برگ در نمونه برداری اول

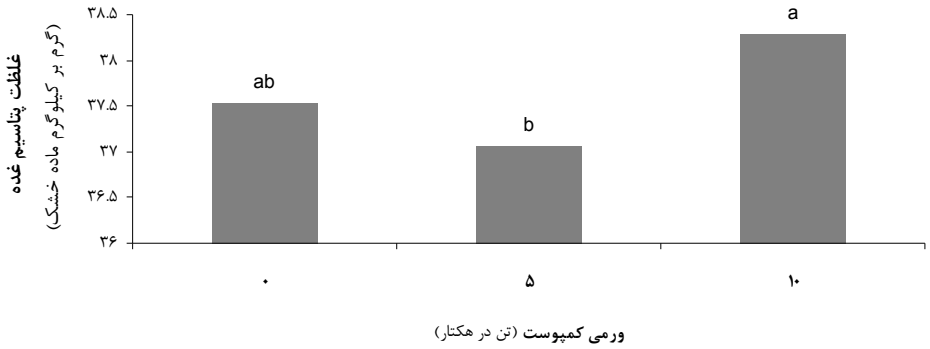
اما در مورد نمونه برداری سوم (S۳)، بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۴) اثر متقابل ورمی کمپوست و اسید هیومیک بر غلظت پتاسیم برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ورمی کمپوست و اسید هیومیک (شکل ۴-۲۸) نشان داد که از میان تیمارهایی که در کلاس b قرار گرفتند، پایین‌ترین میزان غلظت پتاسیم برگ با میانگین ۲۴/۴۱ گرم بر کیلوگرم ماده خشک در تیمار V۱H۲ (عدم کاربرد ورمی کمپوست و کاربرد اسید هیومیک) وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (V۱H۱) با میانگین غلظت ۲۷/۲۹ گرم بر کیلوگرم ماده خشک، ۱۰/۵۴ درصد کاهش نشان داد و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت. در این نمونه برداری (S۳) نیز همانند نمونه برداری اول (S۱) کاربرد اسید هیومیک باعث کاهش غلظت پتاسیم برگ (شکل ۴-۲۸) و افزایش غلظت پتاسیم غده (شکل ۴-۳۱) شد.



شکل ۴-۲۸- اثر متقابل ورمی کمپوست و اسید هیومیک بر غلظت پتاسیم برگ در نمونه برداری سوم

۴-۱۲-۲- غلظت پتاسیم غده

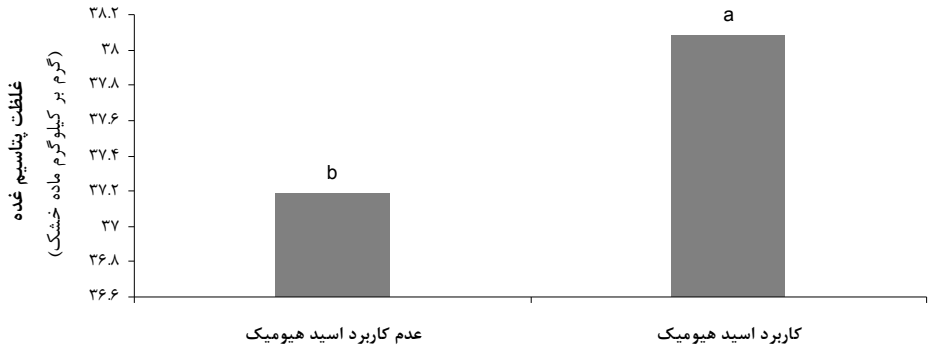
بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۴)، در نمونه برداری اول (S۱) اثر اصلی ورمی کمپوست و همچنین اثر اصلی اسید هیومیک بر غلظت پتاسیم غده در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی ورمی کمپوست (شکل ۴-۲۹) نشان داد که از میان تیمارهایی که در کلاس a قرار گرفتند، بالاترین میزان غلظت پتاسیم غده با میانگین ۳۸/۲۸ گرم بر کیلوگرم ماده خشک در تیمار کاربرد ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار (V۳) وجود داشت و از میان تیمارهایی که در کلاس b قرار گرفتند، پایین‌ترین میزان غلظت پتاسیم غده با میانگین ۳۷/۰۷ گرم بر کیلوگرم ماده خشک متعلق به تیمار کاربرد ۵ تن ورمی کمپوست در هکتار (V۲) بود. ضمناً تیمار V۳ نسبت به تیمار V۲ و V۱ (شاهد) به ترتیب به میزان ۳/۲۸ و ۱/۹۶ درصد افزایش داشت اما تیمار V۲ نسبت به تیمار V۱ (شاهد) ۱/۲۷ درصد کاهش داشته است. با این حال بین تیمار شاهد (V۱) با تیمارهای V۲ و V۳ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت اما بین تیمار V۲ و V۳ اختلاف معنی‌داری وجود داشت (شکل ۴-۲۹). این نتیجه ممکن است بدلیل نسبت‌های متفاوت ورمی کمپوست و یا شرایط خاک مزرعه به وجود آمده باشد و احتمال اینکه خاک مزرعه حاوی مقادیر زیادی مواد آلی و پتاس بوده باشد. به نظر می‌رسد که عناصر غذایی موجود در ورمی کمپوست از طریق تحریک رشد ریشه سیب زمینی، موجب بهبود جذب پتاس گردیده باشد. همچنین ممکن است عوامل میکروبی موجود در ورمی کمپوست با آزادسازی پتاسیم بین لایه‌ای منجر به جایگزینی پتاسیم تخلیه شده محلول خاک توسط گیاه شده باشد. در تحقیقی نشان داده شد که اضافه کردن ورمی کمپوست علاوه بهبود خصوصیات بیولوژیکی خاک، باعث فراهمی مواد غذایی ماکرو مانند پتاسیم در خاک می‌شود (Arancon *et al*., 2004) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.



شکل ۴-۲۹- اثر اصلی ورمی کمپوست بر غلظت پتاسیم غده در نمونه برداری اول

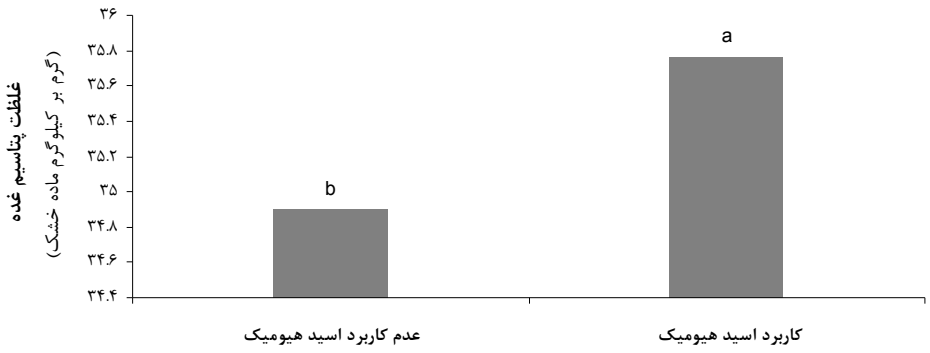
نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی اسید هیومیک (شکل ۴-۳۰) نشان داد که بیشترین میزان غلظت پتاسیم غده با میانگین ۳۸/۰۸ گرم بر کیلوگرم ماده خشک در تیمار کاربرد اسید هیومیک (H۲) وجود داشت که نسبت به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک (H۱) با میانگین ۳۷/۱۸ گرم بر کیلوگرم ماده خشک، ۲/۴۱ درصد افزایش داشت و بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت. محققین بسیاری گزارش کرده‌اند که تاثیر مواد هیومیک بر رشد ریشه‌ها بیشتر از قسمت‌های هوایی گیاه است (Ghabbour and Davies, 2000;Albiach *et al*., 2001). به نظر می‌رسد اسید هیومیک با اثرات شبه هورمونی که دارد موجب افزایش سطح ریشه و همچنین افزایش پتاسیم محلول خاک شده و به تبع به علت نزدیکی source و sink (غده) به هم باعث افزایش غلظت پتاسیم غده شده است. محمود و حافظ[14] (۲۰۱۰) در آزمایشات مزرعه‌ای مشاهده نمودند که استفاده از اسید هومیک، به میزان ۲ کیلوگرم در فدان میزان پتاسیم گیاه سیب زمینی را افزایش داد (فدان: در اصطلاح کشاورزی مساحت زمینی است که دو گاو در یک روز شخم زنند و معادل ۴۲۰۰/۰۸ مترمربع است).

14. Mahmoud and Hafez, 2010



شکل ۴-۳۰- اثر اصلی اسید هیومیک بر غلظت پتاسیم غده در نمونه برداری اول

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۴)، در نمونه برداری سوم (S۳) نیز اثر اصلی اثر اسید هیومیک بر غلظت پتاسیم غده در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی اسید هیومیک (شکل ۴-۳۱) نشان داد که بیشترین میزان غلظت پتاسیم غده با میانگین ۳۵/۷۶ گرم بر کیلوگرم ماده خشک در تیمار کاربرد اسید هیومیک (H۲) وجود داشت که نسبت به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک (H۱) با میانگین ۳۴/۸۹ گرم بر کیلوگرم ماده خشک، ۲/۴۹ درصد افزایش داشت و بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت. در این نمونه برداری (S۳) نیز همانند نمونه برداری اول (S۱) اسید هیومیک باعث کاهش پتاسیم بخش هوایی و افزایش پتاسیم غده شد. به نظر می‌رسد حضور اسید هیومیک در اطراف ریشه گیاه (رایزوسفر)، ممکن است سبب تغییرات فیزیولوژیک شده یا منجر به ترشح هورمو ن‌هایی گردد (از جمله سیتوکینین‌ها که در غده بندی موثرند) که رشد بخش‌های هوایی را محدود نموده و انتقال پتاسیم را به غده ترغیب نماید.



شکل ۴-۳۱- اثر اصلی اسید هیومیک بر غلظت پتاسیم غده در نمونه برداری سوم

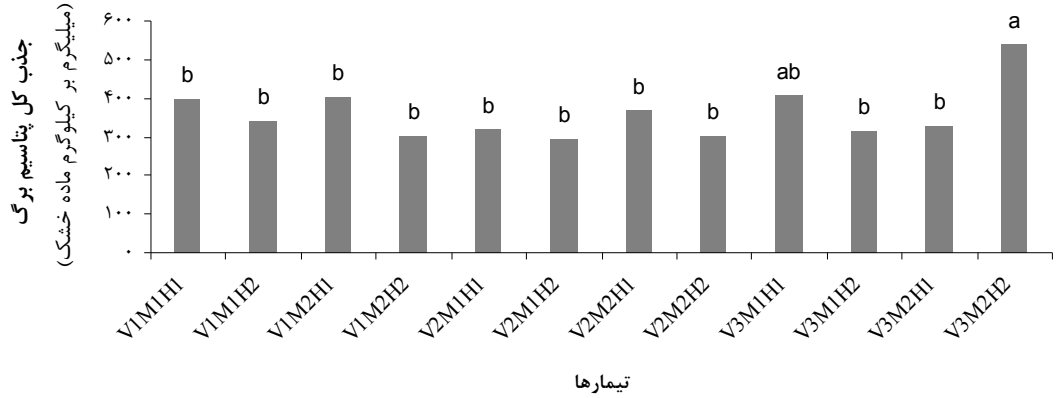
۴-۱۳- جذب کل پتاسیم برگ و غده

همانطور که در فصل مواد و روش‌ها گفته شد، غلظت پتاسیم برگ و غده فقط در مرحله‌ی اول (S۱) و سوم نمونه برداری (S۳) انجام شد. از این رو محاسبه جذب کل پتاسیم برگ و غده فقط در همین دو نمونه برداری قابل انجام بود.

۴-۱۳-۱- جذب کل پتاسیم برگ

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۵)، در نمونه برداری اول (S۱) اثر متقابل سه گانه بر جذب کل پتاسیم برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه (شکل ۴-۳۲) نشان داد که از میان تیمارهایی که در کلاس a قرار گرفتند، بالاترین مقدار جذب کل پتاسیم برگ با میانگین ۵۳۶/۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک مربوط به تیمار V۳M۲H۲ بود که نسبت به تیمار شاهد (V۱M۱H۱) با میانگین ۳۹۸/۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک، ۳۴/۵۹ درصد افزایش داشت و بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت. مقدار جذب کل پتاسیم در گیاه از حاصل ضرب غلظت پتاسیم و وزن ماده خشک بدست می‌آید، بنابراین هرگونه افزایش در غلظت پتاسیم و یا وزن ماده خشک منجر به افزایش جذب کل پتاسیم در گیاه خواهد شد. مشاهده شد که اثر متقابل سه گانه بر وزن خشک برگ این نمونه برداری (S۱) معنی‌دار شد و بررسی مقایسه میانگین‌های آن نشان داد بیشترین وزن خشک مربوط به تیمار V۳M۲H۲ بود

(شکل ۴-۱۰). بنابراین می‌توان گفت این تیمار (V۳M۲H۲) از طریق افزایش وزن خشک برگ موجب افزایش جذب کل پتاسیم در برگ شده است. در این آزمایش جذب کل پتاسیم برگ در نمونه بـرداری سوم (S۳) معنی‌دار نشد (جدول ۴-۱۵).



شکل ۴-۳۲- اثر متقابل سه گانه بر جذب کل پتاسیم برگ در نمونه برداری اول

۴-۱۳-۲- جذب کل پتاسیم غده

در نمونه برداری اول (S۱) و سوم (S۳) اثر هیچ یک از تیمارها بر جذب کل پتاسیم غـده معنـی‌دار نشد (جدول ۴-۱۵).

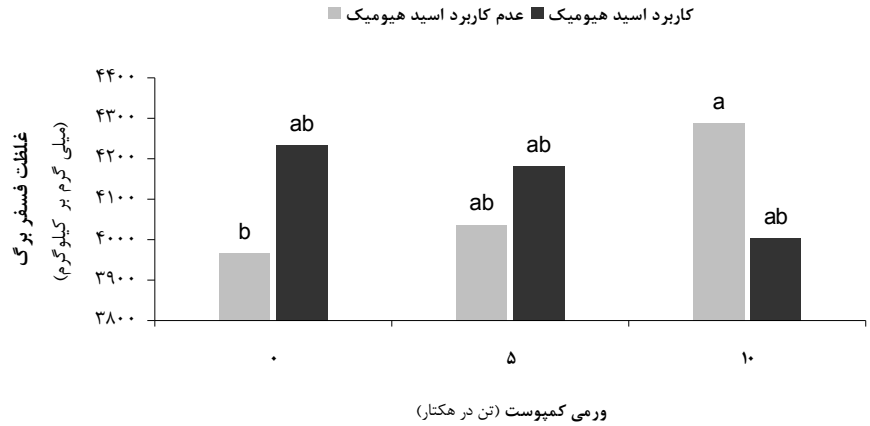
۴-۱۴- غلظت فسفر در برگ و غده

همانطور که در فصل مواد و روش‌ها گفته شد، غلظت فسفر برگ و غده فقط در مرحله‌ی اول (S۱) و سوم نمونه برداری (S۳) انجام شد.

۴-۱۴-۱- غلظت فسفر برگ

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۱۶)، در نمونه برداری اول (S۱) اثـر متقابـل ورمـی کمپوست و اسید هیومیک بر غلظت فسفر برگ در سـطح احتمـال ۵ درصـد معنـی‌دار گردیـد. نتـایج مقایسه میانگین اثر متقابل ورمی کمپوست و اسـید هیومیـک (شـکل ۴-۳۳) نـشان داد کـه از میـان

تیمارهایی که در کلاس a قرار گرفتند، بالاترین میزان غلظت فسفر برگ با میانگین ۴۲۸۹/۲۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک در تیمار کاربرد ۱۰ تن ورمی کمپوست و عدم کاربرد اسید هیومیک (V۳H۱) وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (V۱H۱) با میانگین ۳۹۶۷/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک، ۸/۱۲ درصد افزایش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت.



شکل ۴-۳۳- اثر متقابل ورمی کمپوست و اسید هیومیک بر غلظت فسفر برگ در نمونه برداری اول

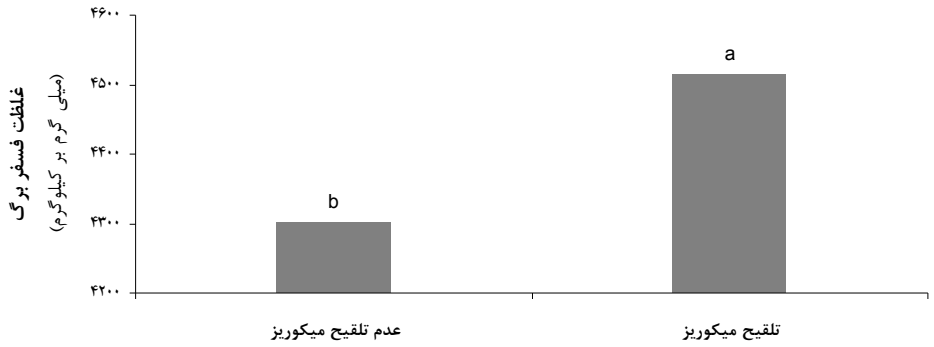
فسفر یکی از عناصر ضروری برای رشد مناسب گیاه محسوب می‌شود اما کارایی آن به علت حضور کاتیون‌های کلسیم در خاک‌های قلیایی و آهن و آلومینیم در خاک‌های اسیدی کاهش می‌یابد. از این رو بهره‌گیری از نهاده‌هایی که به افزایش انحلال این عنصر بویژه در خاک‌های قلیایی منجر شود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد کاربرد ورمی کمپوست باعث افزایش غلظت فسفر در برگ شد، که این امر احتمالاً به دلیل معدنی شدن فسفر آلی تثبیت شده در خاک است. با توجه به نتایج حاصل از شکل ۴-۳۳ می‌توان گفت کاربرد ورمی کمپوست در کنار اسید هیومیک در جهت افزایش غلظت فسفر توجیه اقتصادی ندارد، چرا که با افزایش سطوح کاربرد ورمی کمپوست در کنار کاربرد اسید هیومیک، غلظت فسفر برگ مدام در حال کاهش است در حالیکه با افزایش سطوح کاربرد ورمی کمپوست و عدم کاربرد اسید هیومیک، غلظت فسفر برگ مدام در حال افزایش است. این نتیجه از دو دیدگاه قابل بررسی است. ۱) روابط ناهمسازی (Antagonism) و یا هم افزایی (Synergism) عناصر با یکدیگر نقش مهمی در جذب آن‌ها بازی می‌کند. به نظر می‌رسد در

این آزمایش کاربرد توام ورمی کمپوست و اسید هیومیک از طریق افزایش فراهمی عناصری نظیر کلسیم، منیزیم، روی، آهن و مس که در جذب با فسفر در رقابت هستند، منجر به کاهش غلظت فسفر شده است. صحت این ادعا با توجه به اظهارات لئون و کوشین[15] (۱۹۹۱)، و اوکی[16] (۱۹۸۴) مبنی بر وجود اثر متقابل میان فسفر با دیگر عناصر مورد تأیید است. ۲) ورمی کمپوست خود نیز دارای هیومیک اسید می‌باشد (Atiyeh *et al*., 2002) و کاربرد آن در کنار اسید هیومیک باعث ایجاد ناخواسته‌ی یک سطح بالایی از کاربرد اسید هیومیک در خاک شده است. مشخص شده کاربرد بیش از یک دهم گرم در کیلوگرم خاک از اسید هیومیک تاثیرات منفی بر خاکدانه و میکروارگانیسم‌های خاک دارد (Piccolo *et al*., 1997; Vallini *et al*., 1993; Visser and Caillier, 1988). بنابراین از این طریق منجر به کاهش غلظت فسفر گیاه شده است. همانطور که در فصل مواد و روش‌ها گفته شد، غلظت فسفر قابل دسترس این مزرعه ۴۹ میلی‌گرم برکیلوگرم خاک بود که بیش از، حد بحرانی فسفر خاک (۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) می‌باشد. در غلظت‌های بیش از حد بحرانی، تغییرات کمی در غلظت عناصر در گیاه ایجاد می‌شود (شکل ۴-۳۳، اکثر تیمارها در یک گروه آماری قرار دارند) و حتی کاربرد هر گونه تیمار جهت افزایش غلظت عناصر در گیاه در این شرایط جز افزایش هزینه چیزی به همراه ندارد. این می‌تواند نکته‌ای مهم در گذار از کشاورزی سنتی به سمت کشاورزی پایدار جهت آگاهی مولدین و مروجین این بخش باشد.

اما در مورد نمونه برداری سوم (S۳)، بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۱۶) اثر اصلی میکوریز بر غلظت فسفر برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی میکوریز (شکل ۴-۳۴) نشان داد که بیشترین میزان غلظت فسفر برگ با میانگین ۴۵۱۳/۶۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک در تیمار تلقیح با قارچ میکوریز (M۲) وجود داشت که نسبت به تیمار عدم تلقیح میکوریز (M۱) با میانگین ۴۳۰۱/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک،

15. Leon and Kochain, 1991
16. Ohki, 1984

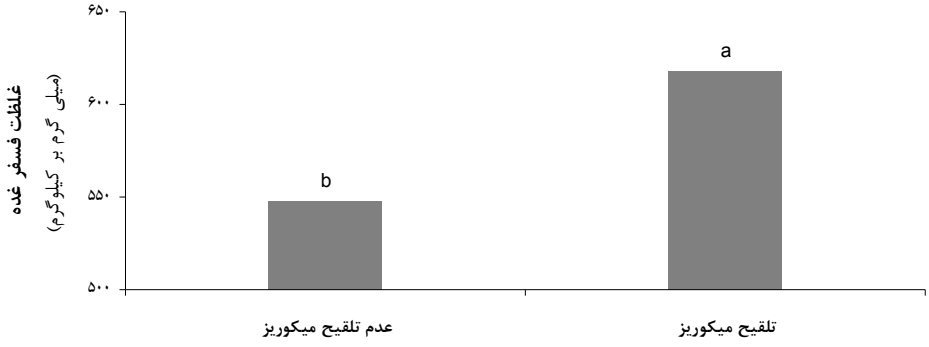
۴/۹۴ درصد افزایش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت. در بخش بعدی در مورد نقش این تیمار در افزایش غلظت فسفر برگ بحث خواهیم کرد.



شکل ۴-۳۴- اثر اصلی میکوریز بر غلظت فسفر برگ در نمونه برداری سوم

۴-۱۴-۲- غلظت فسفر غده

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۱۶)، در نمونه برداری اول (S۱) اثر اصلی میکوریز بر غلظت فسفر غده در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی میکوریز (شکل ۴-۳۵) نشان داد که بیشترین میزان غلظت فسفر غده با میانگین ۶۱۷/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک در تیمار تلقیح با قارچ میکوریز (M۲) وجود داشت که نسبت به تیمار عدم تلقیح میکوریز (M۱) با میانگین ۵۴۷/۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک، ۱۲/۷۸ درصد افزایش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت. در نمونه برداری سوم (S۳) بر خلاف نمونه برداری اول (S۱) اثر هیچ یک از تیمارها بر غلظت فسفر غده معنی‌دار نشد (جدول۴-۱۶).



شکل ۴-۳۵- اثر اصلی میکوریز بر غلظت فسفر غده در نمونه برداری اول

مزیت قارچ میکوریزا افزایش منطقه‌ی تخلیه عناصر غذایی به وسیله ریشه‌های میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی می‌باشد (Smith and Read, 2008). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کاربرد میکوریز باعث افزایش غلظت فسفر در اندام گیاه (برگ و غده) شد (شکل ۴-۳۴ و شکل ۴-۳۵). این نتیجه تأییدی است بر نتایج قبلی که قارچ‌های آربسکولار- میکوریزا باعث بهبود تغذیه فسفری گیاه میزبان می‌شوند (Bathlenfalvay *et al*., 1988). شواهد زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد که ریشه‌های گیاهان میکوریزایی قادر به استفاده از منابع نامحلول فسفر در خاک که قابل دسترس ریشه گیاه نیستند می‌باشند (Cabello *et al*., 2005; Duponnois *et al*., 2005). در تحقیقاتی قارچ‌های میکوریزا تأثیری بر غلظت فسفر نداشته است که با نتایج این تحقیق همخوانی ندارد (Rapparini *et al*., 2008; Toussaint *et al*., 2006).

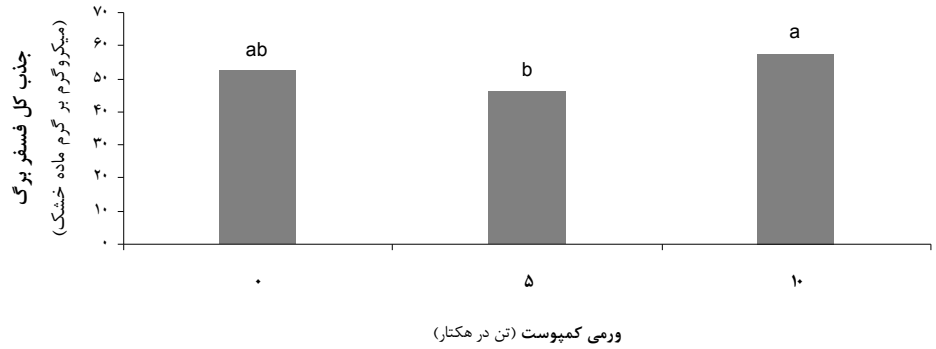
۴-۱۵- جذب کل فسفر برگ و غده

همانطور که در فصل مواد و روش‌ها گفته شد، غلظت فسفر برگ و غده فقط در مرحله‌ی اول (S۱) و سوم نمونه برداری (S۳) انجام شد. از این رو محاسبه جذب کل فسفر برگ و غده فقط در همین دو نمونه برداری قابل انجام بود.

۴-۱۵-۱- جذب کل فسفر برگ

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۱۷)، در نمونه برداری اول (S۱) اثر اصلی ورمی‌کمپوست و همچنین اثر متقابل سه گانه بر جذب کل فسفر برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی ورمی‌کمپوست (شکل ۴-۳۶) نشان داد که از میان تیمارهایی که در کلاس a قرار گرفتند، بالاترین جذب کل فسفر برگ با میانگین ۵۷/۳۷ میکروگرم بر گرم ماده خشک در تیمار کاربرد ده تن ورمی کمپوست در هکتار (V۳) وجود داشت که نسبت به تیمار عدم کاربرد ورمی‌کمپوست (V۱) با میانگین ۵۲/۵۰ میکروگرم بر گرم ماده خشک، ۹/۲۷ درصد

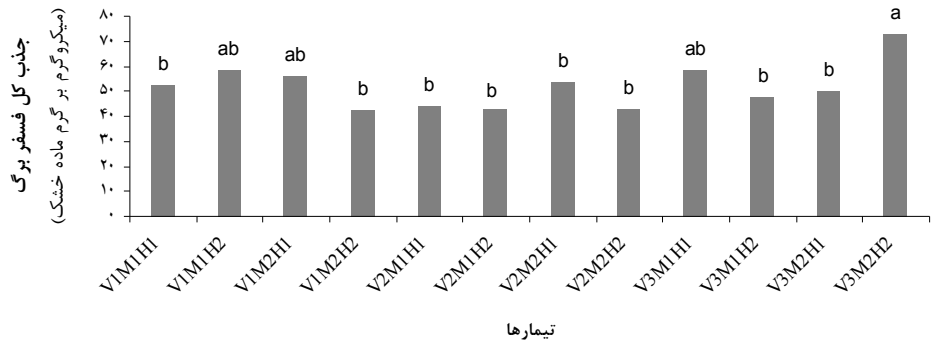
افزایش داشت اما اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد. مقدار جذب کل فسفر در گیاه از حاصل‌ضرب غلظت فسفر و وزن ماده خشک بدست می‌آید، بنابراین هرگونه افزایش در غلظت فسفر و یا وزن ماده خشک منجر به افزایش جذب کل فسفر در گیاه خواهد شد. دیدیم که در این نمونه برداری (S۱)، تیمار کاربرد ۱۰ تن ورمی کمپوست و عدم مصرف اسید هیومیک (V۳H۱) باعث افزایش غلظت فسفر برگ شد (شکل ۴-۳۳). بنابراین می‌توان گفت ورمی کمپوست از طریق افزایش غلظت فسفر موجب افزایش جذب کل آن در برگ شده است.



شکل ۴-۳۶- اثر اصلی ورمی‌کمپوست بر جذب کل فسفر برگ در نمونه برداری اول

همچنین بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه (شکل ۴-۳۷) نشان داد که از میان تیمارهایی که در کلاس a قرار گرفتند، بالاترین جذب کل فسفر برگ با میانگین ۷۲/۸۹ میکروگرم بر گرم ماده خشک مربوط به تیمار V۳M۲H۲ بود که نسبت به تیمار شاهد (V۱M۱H۱) با میانگین ۵۲/۷۴ میکروگرم بر گرم ماده خشک، ۳۸/۱۹ درصد افزایش داشت و بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت. لازم به ذکر است که بین تیمار V۳M۲H۲ (با بیشترین جذب کل فسفر) با تیمارهای V۳M۱H۱ ، V۱M۱H۲ و V۱M۲H۱ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۳۷). چنین به نظر می‌رسد که تیمارهای V۳M۱H۱ ، V۱M۱H۲ و V۱M۲H۱ از طریق افزایش وزن خشک برگ باعث افزایش جذب کل فسفر برگ در تیمار V۳M۲H۲ شده‌اند. همچنین مشاهده شد که اثر متقابل سه گانه بر وزن خشک برگ این نمونه برداری (S۱) معنی‌دار شد و بررسی مقایسه میانگین‌های آن نشان داد بیشترین وزن خشک مربوط به تیمار V۳M۲H۲ بود

(شکل ۴-۱۰). بنابراین می‌توان گفت این تیمار (V۳M۲H۲) نیز از طریق افزایش وزن خشک برگ موجب افزایش جذب کل آن در برگ شده است. در نمونه برداری سوم (S۳) بر خلاف نمونه برداری اول (S۱) اثر هیچ یک از تیمارها بر جذب کل فسفر برگ معنی‌دار نشد (جدول۴-۱۷).



شکل ۴-۳۷- اثر متقابل سه گانه بر جذب کل فسفر برگ در نمونه برداری اول

۴-۱۵-۲- جذب کل فسفر غده

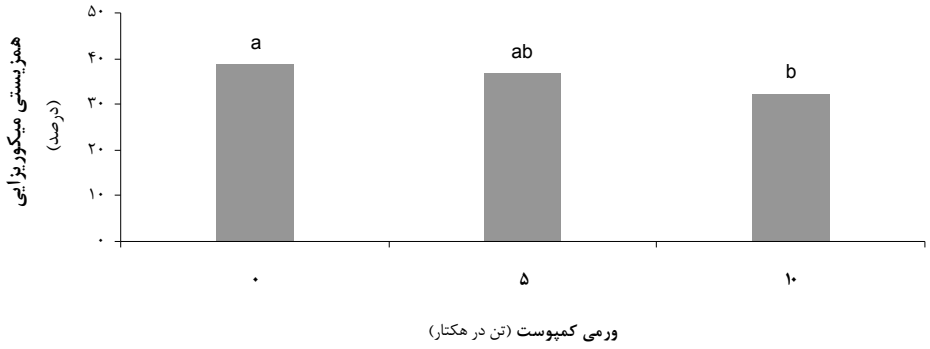
در نمونه برداری اول (S۱) و سوم (S۳) اثر هیچ یک از تیمارها بر جذب کل فسفر غده معنی‌دار نشد (جدول۴-۱۷).

۴-۱۶- درصد همزیستی میکوریزایی

همانطور که در فصل مواد و روش‌ها گفته شد، بررسی درصد همزیستی میکوریزایی فقط در مرحله‌ی اول (S۱) و سوم نمونه برداری (S۳) انجام شد.

بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۸)، در نمونه برداری اول اثر اصلی ورمی کمپوست و اثر اصلی میکوریز بر درصد همزیستی میکوریزایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی ورمی کمپوست (شکل ۴-۳۸) نشان داد، از میان تیمارهایی که در کلاس b قرار گرفتند، پایین‌ترین میزان همزیستی با میانگین ۳۲/۵ درصد در تیمار کاربرد ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار (V۳) وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (V۱) با میانگین ۳۸/۷۵ درصد، ۱۶/۱۳ درصد کاهش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت. تاثیر منفی

فسفر بر همزیستی میکوریزایی در گذشته به اثبات رسیده است (Khanam *et al*., 2000). به نظر می‌رسد ورمی کمپوست با افزایش فسفر در ناحیه رایزوسفر باعث کاهش درصد همزیستی شده است. صحت این ادعا با توجه به نتایج بدست آمده در مورد غلظت فسفر برگ در نمونه برداری اول (S۱) مورد تایید است. در نمونه برداری اول (S۱) مشخص شد که ورمی کمپوست باعث افزایش غلظت فسفر برگ شده است (شکل ۴-۳۳). ساینز و همکاران[17] (۱۹۹۸) در یک تحقیق گلخانه‌ای که روی شبدر قرمز و خیار انجام دادند مشاهده نمودند که مصرف ورمی کمپوست حاصل از ضایعات آلی شهری موجب کاهش معنی‌دار درصد همزیستی ریشه در گیاه شبدر قرمز گردید. این محققان دلیل کاهش درصد همزیستی میکوریزایی را به مصرف زیاد این نوع ورمی کمپوست و متعاقب آن فراهمی زیاد فسفر در محیط رشد ریشه نسبت دادند و نتیجه گرفتند که برای حفظ مطلوب همزیستی میکوریزایی در سیستم‌های کشاورزی پایدار، ابتدا باید مبادرت به تعیین دقیق عناصر مورد نیاز کرد و سپس برای مصرف مقادیر مناسب ورمی کمپوست اقدام نمود.

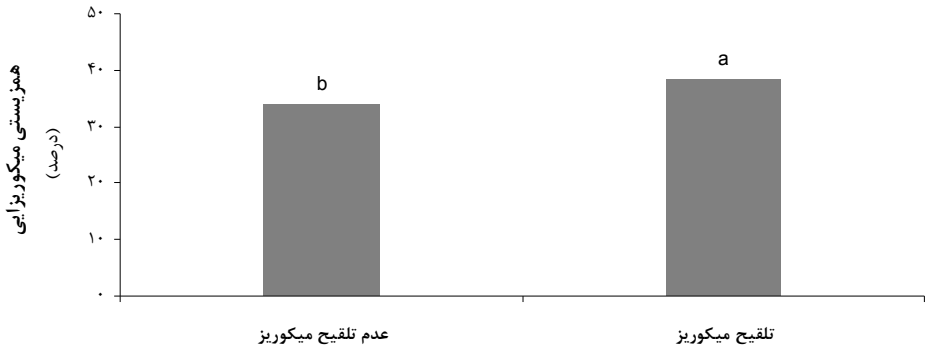


شکل ۴-۳۸- اثر اصلی ورمی کمپوست بر درصد همزیستی میکوریزایی در نمونه برداری اول

بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی میکوریز (شکل ۴-۳۹) نیز نشان داد که بیشترین میزان همزیستی با میانگین ۳۸/۳۳ درصد در تیمار تلقیح میکوریز (M۲) وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (M۱) با میانگین ۳۳/۸۹ درصد، ۱۳/۱۱ درصد افزایش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها

17. Sainz et al., 1998

وجود داشت. تاثیر تلقیح میکوریز بر افزایش درصد همزیستی امری ثابت شده و بدیهی است (Akhtar and Siddiqui, 2008b; Sabannavar and Lakshman, 2009). اما نکته جالب این نتیجه وجود کلونیزاسیون AM در ریشه‌های عدم تلقیح با قارچ میکوریزا در این خاک غنی از فسفر بود که در ادامه در مورد علت این امر بحث خواهیم کرد.



شکل ۴-۳۹- اثر اصلی میکوریز بر درصد همزیستی میکوریزایی در نمونه برداری اول

جورج و همکاران[18] (۱۹۹۵) اظهار داشتند که توانایی قارچ‌های میکوریزی در اشغال سیستم ریشه‌ای گیاه همبستگی منفی با مقدار فسفر موجود در خاک دارد. سطوح بیش از مقدار مورد نیاز فسفر خاک جهت رشد گیاه، سبب حذف آربسکول‌ها در همزیستی قارچ‌های میکوریزا آربسکولار شد (Abbott and Robson, 1979; Smith and Read, 2008). در این آزمایش قارچ میکوریز توانست با وجود آلودگی بالای خاک به فسفر (با میانگین ۴۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) به خوبی به نقش خود عمل کرده و باعث افزایش همزیستی گیاه شود. همچنین تیمار عدم تلقیح نیز از همزیستی خوبی برخوردار بود. این نتیجه با نتایج فوق همخوانی ندارد اما با با نتایج رابیو و همکاران[19] (۲۰۰۳) که نشان داند کلونی زایی میکوریزایی ریشه، در سطوح بالای فسفر محلول خاک کاهش نیافت، همخوانی دارد. این نتیجه از چند منظر قابل توجیه است. الف) به نظر می‌رسد شدت آلودگی (به فسفر) محیطی که مایه تلقیح در آن رشد و پرورش یافته است از مزرعه مورد بررسی بیشتر بوده است و این امر باعث

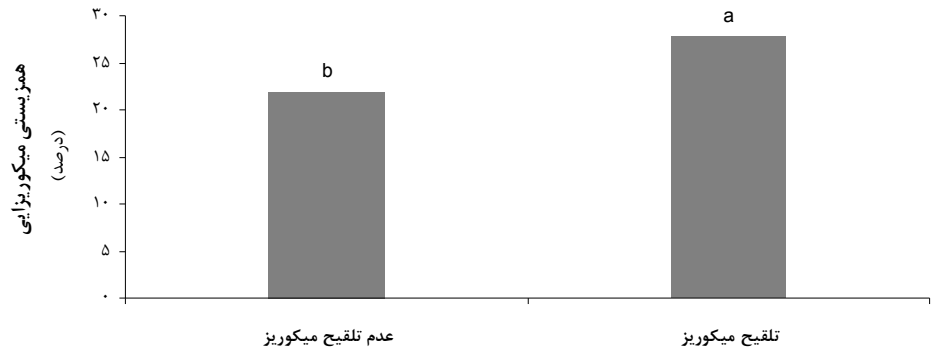
18. Georg et al., 1995
19. Rubio et al., 2003

افزایش مقاومت به آلودگی فسفر و ادامه حیات قارچ شده است. در تحقیقی نشان داده شد اسپورهای پرورش یافته در خاک‌های آلوده تحمل بیشتری به غلظت‌های بالای هر یک از این ۳ فلز سنگین (مس، سرب، کادمیوم) نسبت به اسپورهای خاک‌های غیرآلوده داشتند (نقل قول از Gohre and Paszkowski, 2006). این امر احتمالاً به دلیل انعطاف پذیری فنوتیپی به جای تغییرات ژنتیکی در اسپورهاست، زیرا مقاومت پس از یک نسل در صورت عدم وجود آلودگی از دست خواهد رفت. ب) به نظر می‌رسد اثر متقابل قارچ و انواع متعدد میکروارگانیسم‌های موجود درخاک مزرعه باعث افزایش همزیستی و مقاومت آن به آلودگی شده است. مشخص شده است که اثرات متقابل بین قارچ AM و پسودموناس فلئورسنت میزان همزیستی گیاهان میزبان را از۳۲ به ۴۵ افزایش داده‌اند (Duponnois *et al*., 2006). ج) حتی ایزوله‌های یک گونه که از مناطق مختلف جمع آوری شده باشند از نظر درصد کلونیزاسیون اختلاف دارند (غلامی و کوچکی، ۱۳۸۰)، این مطلب لزوم استفاده از مایه تلقیح بومی در افزایش مقاومت به آلودگی‌ها را خاطر نشان میکند. بروندرت و ابوت[20] (۲۰۰۲) بیان کردند که حتی در غیاب میکوریزای تلقیحی نیز کلونیزاسیون ریشه توسط میکوریزای بومی اتفاق می‌افتد که با نتایج این تحقیق هم خوانی دارد.

بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۸)، در نمونه برداری سوم (S۳) تنها اثر اصلی میکوریز بر درصد همزیستی میکوریزایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی میکوریز (شکل ۴-۴۰) نیز نشان داد که بیشترین میزان همزیستی با میانگین ۲۷/۷۸ درصد در تیمار تلقیح میکوریز (M۲) وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (M۱) با میانگین ۲۱/۹۴ درصد، ۲۶/۵۸ درصد افزایش داشت و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت. در این نمونه برداری (S۳) همانند نمونه برداری اول (S۱) تلقیح میکوریز باعث افزایش درصد همزیستی شد. اما نکته جالبی که در مقایسه این دو نمونه برداری دیده می‌شود این است که میزان همزیستی با گذشت زمان (۲۰ روز) کاهش یافته است (در مورد تیمار تلقیح میکوریز از ۳۸/۳۳ درصد در نمونه

20. Brundrett and Abbott, 2002

برداری اول به ۲۷/۷۸ درصد در نمونه برداری سوم رسید و در مورد تیمار عدم تلقیح میکوریز از ۳۳/۸۹ درصد در نمونه برداری اول به ۲۱/۹۴ درصد درنمونه برداری سوم رسید). به نظر می‌رسد با گذشت زمان فسفر محلول در اثر آبیاری و رشد گیاه افزایش یافته و همین امر باعث کاهش همزیستی در طول زمان شده است. در این جا نیز نقش فسفر در کاهش همزیستی تایید شد.



شکل ۴-۴۰- اثر اصلی میکوریز بر درصد همزیستی میکوریزایی در نمونه برداری سوم

چهار مکانیسم برای توصیف دلایل ممانعت و یا محدود شدن توسعه قارچ میکوریزا در اثر بالا بودن فسفر پیشنهاد شده (Nagahashi *et al*., 1996) که عبارت است از : ۱- ایجاد تغییرات آناتومیک و یا فیزیولوژیک که ممکن است در ریشه‌ها رخ دهد و توسعه قارچ را در درون ریشه‌های گیاه (هیف‌های درون ریشه) محدود سازد ۲- کندتر شدن جریان کربن به ازای واحد طول ریشه‌های کلنی‌زایی شده در سطح بالای فسفر نسبت به سطوح پایین‌تر فسفر ۳- تغییرات کمی و کیفی در ترشحات ریشه که به نوعی بر رشد هیف‌های برون ریشه‌ای و گستردگی نفوذ آن‌ها به ریشه تأثیر می‌گذارند ۴- فسفر ممکن است به طور مستقیم مانع رشد قارچ‌ها در خاک شود. کاهش همزیستی را نمی‌توان تنها به افزایش فسفر محلول خاک معطوف کرد، طبق مطالعات حاجیان شهری و همکاران (۱۳۸۳) و تحقیقات دیگر (Hayman, 1970)، مشخص شده تغییرات قابل ملاحظه‌ای در مقدار کلونیزاسیون ریشه‌ها در ماه‌های مختلف وجود دارد، آن‌ها نشان دادند که در ماه‌های فصل تابستان کمترین و در ماه‌های فصل پائیز بیشترین مقدار کلونیزاسیون ریشه‌ها وجود دارد.

۴-۱۷- کارایی جذب پتاسیم

در نمونه برداری اول (S۱) و سوم (S۳) اثر هیچ یک از تیمارها بر کارایی جذب پتاسیم برگ و غده معنی‌دار نشد (جدول۴-۱۹).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که در هر دو نمونه برداری (S۱ و S۳) اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار ($P\leq0.05$) غلظت پتاسیم بخش زیرزمینی گیاه نسبت به شاهد گردید. به نظر می‌رسد اسید هیومیک با اثرات شبه هورمونی که دارد موجب افزایش سطح ریشه شده و جدا از نقش ریشه به عنوان اندامی برای جذب عناصر غذایی، ریشه‌ها خود قادرند محدوده وسیعی از اسیدهای آلی را به درون محیط اطراف ریشه آزاد کنند (Hinsinger *et al*., 1992). این اسیدهای آلی ترشح شده از ریشه به همراه اسیدیته پایین اسید هیومیک با کاهش اسیدیته خاک می‌توانند اثر زیادی بر سرعت آزادسازی پتاسیم از کانی‌های مختلف داشته باشند، و مجموعه این فرآیندها موجبات افزایش فراهمی پتاسیم در خاک و به تبع افزایش غلظت پتاسیم در اندام زیرزمینی را فراهم کرده‌اند.

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، با استفاده از اسید هیومیک می‌توان هم به صورت مستقیم و هم غیر مستقیم قسمت اعظم پتاسیم مورد نیاز گیاهان در خاک‌های قلیایی را تأمین نموده و آلودگی محیط زیست به خصوص آب‌های سطحی به کودهای شیمیایی را کاهش داد. این در واقع گامی است به سوی بهره برداری درازمدت و اصولی از نهاده ها و ممانعت از تخریب و فرسایش و آلودگی سرمایه هایی نظیر خاک و آب که مجموعه‌ی این اهداف ما را به سوی کشاورزی پایدار رهنمون می‌سازد.

استفاده از تلقیح میکوریزا نیز توانست بر برخی از صفات تأثیر مثبت بگذارد به طوری که تلقیح میکوریزا اثر معنی‌داری بر فسفر برگ و غده و کلونیزاسیون ریشه داشت. در بررسی‌های زیادی نشان داده شده است که استفاده از کودهای بیولوژیک از جمله میکوریزا تأثیر نامناسبی بر بیولوژی و اکولوژی خاک ندارد، اما استفاده از کودهای شیمیایی می‌تواند باعث برهم زدن تعادل اکولوژیکی در

خاک گردد (همانگونه که در این تحقیق با گذشت زمان و افزایش فسفر محلول سبب کاهش میزان کلونیزاسیون ریشه گیاه گردید). همچنین در این تحقیق استفاده از ورمی کمپوست به علت افزایش فسفر قابل دسترس باعث کاهش کلونیزاسیون ریشه گیاه گردید.

پیشنهادات

با توجه به نتایج حاصله از این پژوهش جهت انجام بهتر و دقیق‌تر این چنین آزمایشاتی پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد.

- آزمایش مذکور حداقل یکسال دیگر تکرار شود.

- سطوح زیادی از اسید هیومیک (حداقل ۵ سطح) مورد بررسی قرار گیرد بطوریکه بهترین سطح مصرف معرفی و تاثیر منفی سطوح بالاتر به روشنی مشخص شود.

- از کاربرد اسید هیومیک در کنار کودهای آلی که خود حاوی اسید هیومیک هستند اجتناب شود (مثل ورمی کمپوست) یا در صورت امکان مقدار آن مشخص شود تا از اثرات منفی آن جلوگیری شود.

- از آنجایی که کارایی میکوریز تحت تاثیر فزونی فسفر کاهش می‌یابد، پیشنهاد می‌شود در چنین مواردی که خاک غنی از عناصر غذایی است از باکتری‌های حل کننده پتاسیم (باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم از کانی‌های پتاسیم دار) و فسفات به جای میکوریز استفاده شود.

- از آنجایی که مشخص شده که گیاهان با سیستم ریشه‌ای ضعیف و کم انشعاب وابستگی میکوریزایی بیشتری در مقایسه با گیاهان با سیستم ریشه‌ای انبوه و پرانشعاب دارند (نتایج بیلتس[۲۱])، پیشنهاد می‌شود ارقام دیگری از سیب زمینی که ریشه‌های کم انشعابی دارند در چنین مناطقی که غنی از عناصر غذایی‌اند بکار برده شود تا در کنار میکوریزا جذب معنی‌دارتری صورت گیرد.

- اثر این ترکیب تیماری و پیشنهادات فوق روی سایر گیاهان غده‌ای نیز مورد بررسی قرار گیرد.

21. Baylis, 1975

- از آنجایی که پتاسیم در جذب با فسفر در رقابت است و با توجه به غلظت بسیار بالای فسفر در خاک‌های منطقه، توصیه می‌شود از کاربرد این عنصر در اراضی این شهرستان حداقل برای مدت ۲-۳ سال اجتناب گردد و با اعمال روش‌های مدیریتی مناسب مانند استفاده از سنگ فسفات آذرین که نسبت به سنگ فسفات رسوبی قابلیت انحلال کمتری دارند (Gholizadeh *et al*., 2008) توصیه گردد تا از پیامدهای ناشی از تثبیت فسفر در خاک جلوگیری شود.

پیوست‌ها

تکرار یک

V1 M2 H2	V3 M2 H2	V1 M1 H2	V2 M1 H1	V3 M1 H1	V1 M1 H1	V2 M2 H1	V1 M2 H1	V2 M2 H2	V3 M2 H1	V3 M1 H2	V2 M1 H2

تکرار دو

V3 M2 H1	V2 M1 H2	V3 M1 H1	V1 M1 H2	V1 M2 H2	V2 M1 H1	V2 M2 H2	V1 M1 H1	V3 M2 H2	V2 M2 H1	V1 M2 H1	V3 M1 H2

تکرار سه

V3 M2 H2	V1 M2 H1	V2 M1 H1	V3 M1 H2	V2 M2 H1	V3 M1 H1	V1 M1 H2	V3 M2 H1	V1 M1 H1	V2 M1 H2	V2 M2 H2	V1 M2 H2

شکل ۳-۱- نقشه‌ی اجرای طرح

جدول ۴-۱- تجزیه واریانس تعداد غده در بوته تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		۶۵ روز پس از کاشت (S۱)	۷۵ روز پس از کاشت (S۲)	۸۵ روز پس از کاشت (S۳)	۹۵ روز پس از کاشت (S۴)	۱۰۵ روز پس از کاشت (S۵)
بلوک (R)	۲	۱۱/۰۴۸۶۱۱۱۱*	۱۳/۱۳۱۹۴۴۴۴*	۰/۶۷۳۶۱۱۱۱	۶/۰۸۳۳۳۳۳۳	۷/۱۴۵۸۳۳۳۳
ورمی کمپوست (V)	۲	۲/۷۵۶۹۴۴۴۴	۴/۲۱۵۲۷۷۷۸	۴/۳۴۰۲۷۷۷۸	۵/۷۷۰۸۳۳۳۳	۰/۰۶۲۵۰۰۰۰
میکوریز (M)	۱	۰/۱۱۱۱۱۱۱۱	۰/۵۶۲۵۰۰۰۰	۳/۰۶۲۵۰۰۰۰	۵/۰۶۲۵۰۰۰۰	۰/۶۹۴۴۴۴۴۴
هیومیک اسید (H)	۱	۰/۲۵۰۰۰۰۰۰	۰/۱۷۳۶۱۱۱۱	۱۱/۶۷۳۶۱۱۱۱**	۸/۵۰۶۹۴۴۴۴	۱/۷۷۷۷۷۷۷۸
V × M	۲	۰/۳۴۰۲۷۷۷۸	۳/۰۶۲۵۰۰۰۰	۰/۳۹۵۸۳۳۳۳	۷/۰۲۰۸۳۳۳۳	۱/۸۸۱۹۴۴۴۴
V × H	۲	۰/۱۸۷۵۰۰۰۰	۱/۱۷۳۶۱۱۱۱	۱/۱۳۱۹۴۴۴۴	۱/۷۱۵۲۷۷۷۸	۰/۲۵۶۹۴۴۴۴
M × H	۱	۰/۶۹۴۴۴۴۴۴	۰/۱۷۳۶۱۱۱۱	۰/۵۶۲۵۰۰۰۰	۲/۵۰۶۹۴۴۴۴	۱/۳۶۱۱۱۱۱۱
V × M × H	۲	۱/۳۸۱۹۴۴۴۴	۰/۲۹۸۶۱۱۱۱	۴/۷۷۰۸۳۳۳۳*	۱/۰۴۸۶۱۱۱۱	۰/۴۶۵۲۷۷۷۸
اشتباه آزمایشی	۲۲	۲/۴۸۸۰۰۵۰۵	۲/۵۲۵۸۸۳۸	۱/۲۶۴۵۲۰۲۰	۲/۷۱۹۶۹۷۰	۲/۹۷۹۱۶۶۶۷
ضریب تغییرات (٪)	-	۴۱/۷۵۳۱۵	۳۱/۸۷۴۶۰	۲۶/۵۴۵۷۸	۳۰/۶۸۱۸۷	۳۳/۴۰۶۹۶

**و* به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح احتمال ۱ و۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۲- تجزیه واریانس قطر بزرگ غده تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		۶۵ روز پس از کاشت (S۱)	۷۵ روز پس از کاشت (S۲)	۸۵ روز پس از کاشت (S۳)	۹۵ روز پس از کاشت (S۴)	۱۰۵ روز پس از کاشت (S۵)
بلوک (R)	۲	۴۰۴/۰۸۸	۸۹۱/۱۲۰۷**	۱۱۹/۱۲۲۲	۴۱۷/۵۱۹۳*	۷۱۷۸/۸۸۸**
ورمی کمپوست (V)	۲	۱۷۶/۲۳۱۴	۱۸۲/۱۶۳۴	۹۱/۴۴۴۳۵	۱۲۱/۲۹۹۴	۱۳۸/۹۲۳۱
میکوریز (M)	۱	۱/۲۰۰۳۱۹	۱۷/۹۵۷۵۴	۵۱۳/۵۰۶۹*	۰/۱۵۴۴۶۱	۷۶/۴۷۲۷
هیومیک اسید (H)	۱	۴۰/۸۹۵۵۸	۱/۲۱۵۶۳۵	۱۱۱۷/۹۸۷**	۴۳/۸۸۲۰۱	۳۱/۷۴۸۱۸
V × M	۲	۵۵/۴۱۰۹۹	۱۸۸/۵۸۰۴	۵۶/۸۲۵۴۷	۱۳۷/۸۵۴۸	۱۱/۴۰۷۴۵
V × H	۲	۱۲۵/۱۴۸۳	۹۵/۷۵۱۳۹	۶۲/۰۶۸۱۵	۵۴/۹۵۳۴۹	۱۲۸/۲۸۲۱
M × H	۱	۵۵/۹۸۰۲۷	۱۵۳/۱۴۰۲	۲۴/۷۵۸۳۸	۲۵/۶۲۴۱۷	۱۸/۴۰۶۳۳
V × M × H	۲	۳۰/۳۲۰۴۴	۲۰/۳۷۷۵۳	۴۴۴/۲۸**	۴/۹۴۳۹۴۴	۶۵/۳۹۳۵
اشتباه آزمایشی	۲۲	۱۲۴/۷۸۵۲	۱۰۵/۷۰۸۸	۷۳/۲۱۹۷۵	۱۰۶/۳۲۴۳	۱۲۰/۷۰۴۷
ضریب تغییرات (٪)	-	۲۲/۹۲۷۵۶	۱۹/۸۴۷۶۹	۱۲/۹۴۹۵۶	۱۶/۴۱۳۱	۳۷/۹۹۶۶۴

**و* به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح احتمال ۱ و۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۳- ضرایب همبستگی ساده بین تعداد غده و قطر غده

	تعداد غده	قطر بزرگ غده	قطر کوچک غده
تعداد غده	۱		
قطر بزرگ غده	-۰/۷۳۸۵۱**	۱	
قطر کوچک غده	-۰/۷۸۳۴۳**	۰/۸۸۲۵۱**	۱

جدول ۴-۴- تجزیه واریانس قطر کوچک غده تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		۶۵ روز پس از کاشت (S۱)	۷۵ روز پس از کاشت (S۲)	۸۵ روز پس از کاشت (S۳)	۹۵ روز پس از کاشت (S۴)	۱۰۵ روز پس از کاشت (S۵)
بلوک (R)	۲	۲۳۴/۵۷۲۴۹۶۵	۵۰۹/۸۵۱۶۶۷**	۶/۲۵۶۶۷۲۸	۱۲۹/۲۵۱۴۹۹۱	۳۸۰۱/۸۵۴۸۴۵**
ورمی کمپوست (V)	۲	۱۳۶/۱۳۷۱۴۵۵	۵۳/۱۳۰۱۳۹	۱۷/۰۲۴۸۶۹۷	۸۶/۶۱۶۶۱۴۴	۴۵/۷۱۵۷۰۴
میکوریز (M)	۱	۱۱/۸۹۰۲۰۷۶	۴/۴۶۷۳۵۰	۱۷۲/۰۵۰۷۸۲۰*	۱۴/۰۵۵۹۴۷۳	۱۴/۴۲۵۶۳۳
هیومیک اسید (H)	۱	۴۱/۷۹۱۸۵۴۷	۱۰/۳۵۰۳۹۴	۵۶۵/۴۱۰۱۷۴۰**	۱۴۲/۲۹۶۹۳۷۵	۱۶/۰۸۵۶۳۸
V × M	۲	۴۵/۶۹۷۸۸۱۰	۱۰۴/۶۱۹۲۷۶	۱۳/۸۳۹۳۰۵۴	۴۴/۳۷۰۵۸۸۴	۱۰/۰۲۴۳۵۱
V × H	۲	۵۸/۵۹۲۰۸۸۴	۴۰/۴۰۲۲۴۶	۱۱/۵۷۵۳۶۳۷	۴۰/۳۱۲۱۰۶۵	۳۱/۴۶۶۹۶۷
M × H	۱	۳۰/۶۴۷۲۹۳۹	۱۸/۶۹۵۴۳۵	۲/۶۳۷۹۴۱۴	۸۳/۰۸۲۳۷۳۰	۲/۲۲۲۳۳۹
V × M × H	۲	۲/۰۶۸۶۱۴۳	۷/۵۷۱۳۱۹	۱۹۳/۲۶۴۳۶۹۰*	۸/۷۷۴۸۵۰۳	۱۸/۱۹۵۸۷۸
اشتباه آزمایشی	۲۲	۸۷/۳۲۲۱۸۱	۶۰/۴۴۶۴۳۳	۳۶/۳۸۳۴۴۰	۴۳/۲۰۹۰۴۰	۵۵/۸۲۳۴۶۹
ضریب تغییرات (٪)	-	۲۵/۳۰۵۸۸	۱۹/۹۰۸۱۲	۱۲/۲۲۱۴۴	۱۳/۷۶۰۳۳	۳۴/۹۷۵۱۴

**و* به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح احتمال ۱ و۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۵- تجزیه واریانس وزن‌تر غده در بوته تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		۶۵ روز پس از کاشت (S۱)	۷۵ روز پس از کاشت (S۲)	۸۵ روز پس از کاشت (S۳)	۹۵ روز پس از کاشت (S۴)	۱۰۵ روز پس از کاشت (S۵)
بلوک (R)	۲	۵۶۶۷/۱۷۲۲۷*	۱۱۲۹۹/۴۵۵۴۶	۶۶۰۳/۳۴۲۹۵	۵۶/۶۲۰۵۰	۱۲۰۶۲/۲۹۰۳۲
ورمی کمپوست (V)	۲	۸۵۰/۰۸۰۳۱	۵۵۰۰/۳۰۰۴۷	۱۰۳۹۷/۵۱۰۳۹	۲۱۵۱/۰۲۶۱۰	۹۲۹۵/۴۰۶۱۴
میکوریز (M)	۱	۱۹۳/۸۲۴۴۰	۸۰۱۵/۰۲۴۰۴	۷۱۹/۸۰۴۱۸	۴۹۷۴/۵۲۷۹۲	۳۹۰۳/۹۵۸۶۷
هیومیک اسید (H)	۱	۱۰۶۰/۴۵۲۰۹	۴۲۷/۸۶۹۲۳	۷۳۴/۰۰۳۵۶	۳۳۰۲/۰۷۲۹۹	۳۵۴/۰۶۶۹۴
V × M	۲	۴۱۵/۴۸۶۱۳	۳۹۵۹/۸۲۹۰۰	۳۳۳/۷۵۱۴۰	۲۲۱۵/۷۹۷۴۹	۴۷۶۳۸/۲۱۲۷۵
V × H	۲	۳۶۷۸/۰۹۶۴۶	۱۴۰۲۶/۳۷۶۵۷	۴۱۰/۱۰۹۸۴	۲۷۹۶/۷۵۵۲۶	۱۸۵۴۴/۴۶۴۰۴
M × H	۱	۲۷/۸۴۷۶۱	۹۸۱۹/۱۵۸۴۰	۳۶۱۰/۳۰۷۳۷	۸۱۶/۹۳۰۷۲	۳۴۱۷/۷۶۶۴۷
V × M × H	۲	۲۶۱۵/۱۷۱۴۶	۴۷۶/۷۲۳۵۵	۶۹۵/۵۰۵۴۷	۱۰۳۰۸/۹۰۳۱۸	۶۷۹۶/۲۴۲۹۸
اشتباه آزمایشی	۲۲	۱۶۰۶/۷۲۷۸۷	۵۷۳۰/۷۲۶۳	۵۹۹۳/۵۵۹۹	۱۶۲۶۹/۶۳۳۵	۲۵۱۰۴/۱۵۳۸
ضریب تغییرات (٪)	-	۲۲/۲۰۵۹	۲۴/۴۱۸۸۵	۱۸/۱۵۴۴۶	۲۶/۴۱۶۴۱	۳۷/۸۳۰۶۴

**و* به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح احتمال ۱ و۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۶- تجزیه واریانس وزن خشک غده در بوته تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		۶۵ روز پس از کاشت (S۱)	۷۵ روز پس از کاشت (S۲)	۸۵ روز پس از کاشت (S۳)	۹۵ روز پس از کاشت (S۴)	۱۰۵ روز پس از کاشت (S۵)
بلوک (R)	۲	۳۹۳/۶۸۶۷۹۱۸	۶۱۰/۶۵۱۷۰۲	۴۴۸/۸۴۴۰۱۵	۵۵/۰۰۷۲۵۹	۳۲۱/۳۲۵۰۵۳
ورمی کمپوست (V)	۲	۲۴/۱۷۹۸۵۵۴	۱۳/۲۰۹۶۳۳	۸۵۰/۸۱۹۵۵۸	۱۸۹/۴۹۷۲۸۶	۴۴۱/۷۱۰۷۴۷
میکوریز (M)	۱	۳۳۲/۹۸۶۴۶۲۷	۳۹۶/۴۷۴۴۶۹	۰/۳۴۴۱۷۸	۱۶۹/۹۳۲۹۵۱	۲۸۱/۰۳۷۲۸۴
هیومیک اسید (H)	۱	۴۳۲/۱۷۲۱۲۶۶	۱۰۴/۸۹۱۷۳۶	۲۹۴/۵۲۲۸۰۳	۱۷۸/۲۴۴۷۵۱	۰/۹۱۶۸۰۶
V × M	۲	۲۶۹/۸۶۰۰۱۷۹	۲۷۵/۳۰۷۳۳۶	۳/۶۷۷۵۶۹	۳۰/۰۸۵۷۶۹	۱۶۷۷/۹۵۶۴۵۹
V × H	۲	۲۸۸/۲۲۳۶۶۰۹	۱۴۳۷/۶۷۰۴۶۹*	۴۴/۶۲۷۰۰۳	۱۰۳/۱۵۱۶۸۶	۳۷۰/۴۳۵۷۱۵
M × H	۱	۲۱۰/۱۴۱۲۶۴۱	۸۸۳/۰۸۰۲۷۸	۵۷/۸۸۶۷۳۶	۱۰۹/۸۸۲۸۰۶	۴/۳۹۹۵۰۶
V × M × H	۲	۲۳۷/۱۸۲۲۹۸۴	۹۴/۲۰۴۴۳۶	۸۷/۸۳۱۶۴۴	۵۷۱/۰۳۲۵۲۵	۲۸۵/۸۵۷۴۹۴
اشتباه آزمایشی	۲۲	۲۴۸/۸۳۲۰۶۸	۳۳۷/۷۲۰۶۴	۳۰۸/۹۰۵۵۸	۷۳۹/۸۷۶۳۱	۱۰۴۸/۱۳۹۳۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۳۲/۴۲۹۰۵	۲۶/۰۳۰۶۱	۱۸/۵۸۵۵۲	۲۵/۳۰۴۷۴	۳۵/۷۴۵۵۴

**و* به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح احتمال ۱ و۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۷- تجزیه واریانس وزن خشک برگ تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		۶۵ روز پس از کاشت (S۱)	۷۵ روز پس از کاشت (S۲)	۸۵ روز پس از کاشت (S۳)	۹۵ روز پس از کاشت (S۴)	۱۰۵ روز پس از کاشت (S۵)
بلوک (R)	۲	۱۵/۰۳۲۲۵۲۰۸	۲۲/۴۸۱۸۴۵۹۷	۲/۱۷۹۴۷۷۵۵	۶/۷۸۵۱۵۰۶۹	۱۱/۴۰۱۶۰۹۰
ورمی کمپوست (V)	۲	۲۱/۴۴۱۷۳۱۲۵	۱/۹۰۳۳۱۵۲۲	۱۶/۰۷۳۳۴۲۲۲	۸/۲۸۶۲۷۹۸۶	۳/۱۳۱۵۱۱۱
میکوریز (M)	۱	۴/۸۸۰۴۱۷۳۶	۱۶/۵۰۶۶۱۴۶۹	۲/۰۹۳۰۸۵۵۶	۴۵/۵۹۶۲۵۶۲۵	۱/۵۴۳۸۰۶۲
هیومیک اسید (H)	۱	۱/۷۰۵۲۰۰۶۹	۱۱/۵۰۲۲۷۲۲۵	۲/۵۵۷۰۶۷۵۱	۶/۶۹۵۱۵۶۲۵	۱۳/۳۱۶۴۱۷۴
V × M	۲	۱۰/۸۹۲۱۶۷۳۶	۱۲/۱۸۶۴۶۲۱۳	۳/۱۸۴۴۹۸۶۹	۲۷/۷۱۰۸۵۲۰۸	۱۲۸/۳۹۸۳۵۸۳**
V × H	۲	۱۶/۷۷۸۶۲۵۶۹	۱۱/۹۷۹۰۰۶۲۷	۱۹/۳۰۵۲۲۲۰۵	۱۰/۸۷۸۴۶۴۵۸	۲۹/۳۱۵۲۰۲۸
M × H	۱	۱/۱۱۸۳۰۶۲۵	۰/۰۸۶۳۳۸۰۳	۹/۸۹۷۸۴۰۳۴	۰/۵۳۴۱۱۷۳۶	۸/۱۷۴۸۳۴۰
V × M × H	۲	۳۳/۳۶۷۹۵۶۲۵*	۷/۴۱۵۸۸۳۹۷	۸/۲۵۶۲۸۷۱۳	۵/۲۳۳۷۷۵۶۹	۱۸/۷۳۱۱۴۴۴
اشتباه آزمایشی	۲۲	۶/۴۶۵۹۴۴۵	۹/۷۷۰۳۷۵۲	۱۲/۷۰۵۲۸۱۸	۱۴/۹۹۱۷۷۷۲	۱۲/۹۱۱۵۸۴۰
ضریب تغییرات (٪)	-	۲۰/۰۹۵۴۰	۲۳/۷۶۸۱۸	۲۶/۹۲۹۸۰	۲۴/۴۲۴۸۹	۲۹/۰۸۷۷۷

**و* به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح احتمال ۱ و۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۸- تجزیه واریانس وزن خشک ساقه تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		۶۵ روز پس از کاشت (S۱)	۷۵ روز پس از کاشت (S۲)	۸۵ روز پس از کاشت (S۳)	۹۵ روز پس از کاشت (S۴)	۱۰۵ روز پس از کاشت (S۵)
بلوک (R)	۲	۰/۳۷۶۹۸۴۹۴	۷/۷۷۳۸۱۹۴۴	۱۰/۳۷۰۰۰۴۸۶	۳/۱۲۹۹۱۷۳۶	۹/۶۰۳۶۰۲۷۸
ورمی کمپوست (V)	۲	۶/۴۹۵۹۸۲۰۲	۰/۱۸۴۶۵۲۷۸	۸/۷۵۱۴۷۹۸۶	۱/۷۶۰۳۱۱۱۱	۰/۲۹۹۲۶۳۱۹
میکوریز (M)	۱	۲/۷۵۸۶۴۴۱۷	۱/۰۶۷۷۷۷۷۸	۰/۶۰۸۴۰۰۰۰	۳/۵۷۲۱۰۰۰۰	۰/۸۶۰۲۵۶۲۵
هیومیک اسید (H)	۱	۳/۷۴۱۳۲۳۰۶	۰/۸۷۱۱۱۱۱۱	۲۶/۳۳۴۰۰۲۷۸*	۱۱/۴۹۲۱۰۰۰۰	۳/۸۳۱۸۰۶۲۵
V × M	۲	۰/۷۸۰۱۵۰۲۲	۵/۲۳۰۴۸۶۱۱	۲/۶۱۴۰۷۷۰۸	۴/۳۹۲۰۰۸۳۳	۲۴/۷۸۱۲۷۷۰۸*
V × H	۲	۱/۹۸۶۵۹۳۶۹	۳/۹۴۳۸۱۹۴۴	۷/۴۱۳۲۹۶۵۳	۴/۰۶۰۹۳۳۳۳	۰/۴۷۷۳۵۶۲۵
M × H	۱	۰/۰۰۱۹۵۸۰۶	۳/۸۰۲۵۰۰۰۰	۱۶/۱۴۷۰۰۲۷۸	۰/۸۲۵۰۶۹۴۴	۰/۳۳۱۵۸۴۰۳
V × M × H	۲	۱۰/۳۵۴۶۹۹۹۴*	۰/۰۱۵۲۰۸۳۳	۱۰/۱۴۹۳۴۶۵۳	۲/۸۷۴۹۵۲۷۸	۲/۸۰۶۵۶۷۳۶
اشتباه آزمایشی	۲۲	۲/۵۴۶۳۸۵۲	۲/۳۰۰۱۸۳۰۸	۶/۰۸۱۰۱۴۷	۶/۹۲۱۵۶۲۱	۴/۴۰۷۱۰۵۸
ضریب تغییرات (٪)	-	۲۴/۰۱۱۵۸	۲۱/۳۰۲۷۲	۲۷/۶۱۶۱۸	۲۹/۴۵۶۶۳	۲۴/۶۸۸۵۰

**و* به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح احتمال ۱ و۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۹- تجزیه واریانس وزن خشک ریشه تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		۶۵ روز پس از کاشت (S۱)	۷۵ روز پس از کاشت (S۲)	۸۵ روز پس از کاشت (S۳)	۹۵ روز پس از کاشت (S۴)	۱۰۵ روز پس از کاشت (S۵)
بلوک (R)	۲	۰/۷۴۰۲۲۱۵۳	۰/۶۴۳۳۸۹۵۸	۰/۲۴۹۷۳۴۰۳	۰/۰۶۸۰۰۶۲۵	۰/۰۸۸۰۹۶۵۳
ورمی کمپوست (V)	۲	۱/۷۱۸۱۳۶۱۱	۱/۱۲۴۲۱۴۵۸	۱/۷۹۴۱۷۷۷۸**	۱/۱۳۶۷۶۴۵۸	۰/۱۴۹۳۶۷۳۶
میکوریز (M)	۱	۰/۰۰۱۳۴۴۴۴	۰/۵۱۲۴۱۷۳۶	۰/۰۹۵۰۶۹۴۴	۰/۶۸۰۶۲۵۰۰	۰/۰۰۳۳۰۶۲۵
هیومیک اسید (H)	۱	۰/۳۸۶۴۶۹۴۴	۰/۰۳۵۷۸۴۰۳	۰/۰۰۳۶۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۶۹۴۴	۰/۱۸۵۶۱۷۳۶
V × M	۲	۰/۲۲۸۸۰۲۷۸	۰/۳۳۵۳۵۴۸۶	۰/۲۱۳۶۳۶۱۱	۰/۵۷۳۸۳۹۵۸	۰/۳۹۶۸۳۱۲۵
V × H	۲	۰/۹۰۳۲۱۱۱۱	۰/۸۸۳۴۶۳۱۹	۰/۲۴۸۱۵۸۳۳	۰/۳۱۸۳۰۰۶۹	۰/۱۷۵۶۷۹۸۶
M × H	۱	۰/۵۱۸۴۰۰۰۰	۳/۷۶۶۸۳۴۰۳*	۰/۴۶۰۱۳۶۱۱	۰/۳۸۶۴۶۹۴۴	۰/۰۲۷۵۰۰۶۹
V × M × H	۲	۱/۹۹۴۱۵۸۳۳*	۰/۲۶۵۰۶۷۳۶	۰/۹۶۷۵۰۲۷۸*	۰/۸۷۰۰۴۲۳۶	۰/۱۹۸۵۲۹۸۶
اشتباه آزمایشی	۲۲	۰/۵۰۹۰۵۰۳۲	۰/۸۵۷۰۳۲۰۱	۰/۲۷۹۹۰۹۰۳	۰/۴۰۷۹۸۲۰۱	۰/۳۰۵۶۷۴۵۶
ضریب تغییرات (٪)	-	۲۱/۸۷۶۵۰	۲۸/۶۷۹۸۱	۱۶/۱۱۹۰۹	۱۹/۷۱۹۱۱	۲۲/۲۲۷۵۱

**و* به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح احتمال ۱ و۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۱۰- تجزیه واریانس وزن ماده خشک کل (TDM) تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		۶۵ روز پس از کاشت (S۱)	۷۵ روز پس از کاشت (S۲)	۸۵ روز پس از کاشت (S۳)	۹۵ روز پس از کاشت (S۴)	۱۰۵ روز پس از کاشت (S۵)
بلوک (R)	۲	۵۴۱/۴۵۸۷۰۵	۱۰۳۵/۳۱۵۳۳۵	۵۷۴/۰۳۰۳۵۵	۲۷/۰۶۲۶۳۰	۵۸۱/۸۵۱۶۱۷
ورمی کمپوست (V)	۲	۱۴۰/۲۵۱۱۲۸	۱۵/۶۹۰۴۷۱	۱۳۸۳/۰۸۹۶۹۳	۱۸۹/۸۳۰۶۰۹	۴۶۹/۲۹۹۱۸۴
میکوریز (M)	۱	۳۱۴/۵۷۷۵۲۰	۶۶۱/۷۰۷۰۲۷	۰/۰۵۲۰۹۸	۲۹۱/۴۹۸۷۱۱	۳۶۰/۶۸۳۴۰۳
هیومیک اسید (H)	۱	۵۴۷/۸۹۵۴۵۱	۳۲/۸۰۶۱۶۵	۵۷۳/۷۱۸۲۶۴	۵۴/۲۴۳۲۲۵	۴۸/۹۳۰۰۲۵
V × M	۲	۳۸۸/۶۵۹۸۷۳	۵۱۷/۴۰۶۰۳۳	۱۷/۹۵۲۱۸۲	۱۷۶/۲۲۷۳۹۷	۳۲۴۰/۹۰۵۴۶۳
V × H	۲	۴۲۰/۵۳۳۰۰۳	۱۹۵۸/۹۰۳۱۳۸*	۱۶۴/۸۰۷۶۱۲	۱۹۷/۰۶۶۲۷۷	۶۲۲/۱۳۱۹۸۱
M × H	۱	۲۶۶/۲۷۷۱۲۴	۱۱۰۹/۸۰۰۳۸۷	۲۳۸/۷۳۵۹۷۶	۱۶۲/۳۹۲۵۴۴	۲۸/۸۰۱۱۱۱
V × M × H	۲	۳۸۰/۵۰۳۵۴۳	۴۵/۳۹۱۳۹۲	۲۲۰/۲۴۲۳۷۴	۷۲۵/۳۳۴۷۹۲	۴۱۹/۸۱۶۲۱۳
اشتباه آزمایشی	۲۲	۲۳۴/۶۸۲۵۷	۴۸۸/۲۷۲۰۴	۴۳۱/۶۳۳۷۶	۱۰۱۰/۰۲۳۶۸	۱۲۳۳/۳۳۵۸۶
ضریب تغییرات (٪)	-	۲۱/۵۱۴۸۳	۲۳/۴۸۳۱۵	۱۷/۳۱۱۰۹	۲۳/۴۵۱۸۷	۳۰/۸۲۹۱۷

**و* به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح احتمال ۱ و۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۱۱- تجزیه واریانس شاخص برداشت تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		۶۵ روز پس از کاشت (S۱)	۷۵ روز پس از کاشت (S۲)	۸۵ روز پس از کاشت (S۳)	۹۵ روز پس از کاشت (S۴)	۱۰۵ روز پس از کاشت (S۵)
بلوک (R)	۲	۴۴/۵۳۰۳۸۴۱	۳/۷۰۰۸۰۶۳۵	۶/۰۰۷۱۸۵۰۳	۱۱/۱۲۶۴۶۹۴۸	۱/۶۳۴۹۳۳۸۷
ورمی کمپوست (V)	۲	۶۱/۹۰۴۷۲۷۴	۶/۵۳۳۶۴۳۱۰	۰/۱۰۱۷۳۹۷۱	۷/۰۹۵۷۱۹۶۷	۱۵/۲۲۱۳۳۵۸۶
میکوریز (M)	۱	۵۶/۶۴۶۵۶۲۸	۰/۰۶۱۲۸۰۲۰	۰/۸۹۷۴۵۹۳۲	۰/۰۰۳۸۴۳۲۲	۷/۷۳۰۶۷۶۲۶
هیومیک اسید (H)	۱	۵۰/۵۶۱۹۵۰۸	۶۵/۶۸۹۱۸۳۳۹	۰/۸۱۰۸۲۹۰۱	۳۱/۴۰۵۸۲۴۳۲	۱۲/۶۴۳۴۳۸۱۶
V × M	۲	۲۴/۵۳۳۸۲۱۱	۲/۱۸۳۷۴۵۰۹	۲/۷۰۰۸۴۷۷۴	۱۵/۰۰۰۵۰۲۷۱	۳۵/۶۰۶۸۴۸۵۳
V × H	۲	۱۹/۱۵۷۰۴۵۴	۲۳/۲۲۷۸۱۰۱۳	۱۳/۰۷۳۷۴۴۱۶	۰/۶۱۶۷۱۵۴۴	۶/۱۸۲۷۵۸۴۴
M × H	۱	۱۹/۳۱۷۲۸۴۹	۳۸/۰۲۳۸۸۰۲۶	۱۰/۳۵۰۹۳۲۵۰	۰/۲۷۰۷۲۹۱۴	۳/۴۷۳۳۴۴۷۴
V × M × H	۲	۱۲۹/۱۲۹۱۱۰۱	۴۱/۴۹۱۷۳۴۴۶	۱۵/۰۹۱۹۰۷۸۴	۵/۱۶۹۲۴۴۸۵	۰/۴۹۷۷۵۴۹۶
اشتباه آزمایشی	۲۲	۶۶/۴۶۵۴۹۴	۲۰/۰۹۸۶۵۱۲	۱۳/۳۸۹۹۴۹۶	۱۰/۳۹۵۱۹۱۸	۲۷/۷۶۲۶۹۵۶
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۲/۱۱۶۹۳	۶/۰۱۸۷۷۵	۴/۶۴۵۱۷۶	۴/۰۷۵۶۴۴	۶/۶۸۴۲۹۵

**و* به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح احتمال ۱ و۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۱۲- تجزیه واریانس ارتفاع گیاه تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		۶۵ روز پس از کاشت (S۱)	۷۵ روز پس از کاشت (S۲)	۸۵ روز پس از کاشت (S۳)	۹۵ روز پس از کاشت (S۴)	۱۰۵ روز پس از کاشت (S۵)
بلوک (R)	۲	۹/۸۸۱۹۴۴۴۴	۱۰۸/۷۱۶۹۴۴۴**	۱۰۱/۳۱۲۵*	۸۶/۰۰۰۲۷۷۸	۲۷۶/۱۹۴۴۴۴۴*
ورمی کمپوست (V)	۲	۲۱/۱۹۴۴۴۴۴۴	۱۹/۶۴۱۹۴۴۴	۴۳/۸۹۵۸۳۳۳	۳۵/۶۲۵۲۷۷۸	۱۲/۹۶۵۲۷۷۸
میکوریز (M)	۱	۲۴/۱۷۳۶۱۱۱۱	۱۱/۵۶	۱۹/۵۰۶۹۴۴۴	۴۶/۹۲۲۵۰۰۰	۰/۳۴۰۲۷۷۸
هیومیک اسید (H)	۱	۴۵/۵۶۲۵	۲۶/۰۱	۸۵/۵۶۲۵*	۱۷۳/۸۰۰۲۷۷۸*	۰/۰۶۲۵۰۰۰
V × M	۲	۱۷/۰۲۷۷۷۷۷۸	۳۴/۹۹۷۵	۱۸/۷۵۶۹۴۴۴	۱۷/۸۹۷۵۰۰۰	۷۴/۸۴۰۲۷۷۸
V × H	۲	۱/۵۸۳۳۳۳۳۳	۵/۷۲۲۵	۶/۸۹۵۸۳۳۳	۰/۲۲۵۲۷۷۸	۴/۵۲۰۸۳۳۳
M × H	۱	۷/۵۶۲۵	۰/۰۱	۱/۱۷۳۶۱۱۱	۱۶/۱۳۳۶۱۱۱	۸/۵۰۶۹۴۴۴
V × M × H	۲	۱۹	۳/۰۲۲۵	۹/۸۴۰۲۷۷۸	۱۰/۲۴۱۹۴۴۴	۱۱۹/۵۰۶۹۴۴۴
اشتباه آزمایشی	۲۲	۳۳/۷۹۱۰۳۵۴	۱۸/۴۰۳۳۰۸۱	۱۹/۷۹۷۳۴۸۵	۳۱/۴۵۹۳۶۹	۶۷/۹۲۹۲۹۳
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۰/۸۲۸۸۹	۷/۲۴۵۱۰۶	۷/۲۲۰۱۵۶	۸/۹۹۰۵۶۷	۱۲/۲۳۷۹۶

**و* به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح احتمال ۱ و۵ درصد می‌باشد.

۴-۱۳- جدول تجزیه واریانس محتوی کلروفیل برگ تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		۶۵ روز پس از کاشت (S۱)	۷۵ روز پس از کاشت (S۲)	۸۵ روز پس از کاشت (S۳)	۹۵ روز پس از کاشت (S۴)	۱۰۵ روز پس از کاشت (S۵)
بلوک (R)	۲	۵/۱۹۵۰۶۹۴۴	۴/۸۴۳۰۵۴۸۶	۰/۷۲۶۶۰۴۸۶	۴۲/۱۳۵۴۸۶۱*	۴/۱۱۶۹۱۷۴
ورمی کمپوست (V)	۲	۷/۳۳۰۴۸۶۱۱	۰/۸۲۵۵۳۴۰۳	۵/۵۲۵۸۱۳۱۹	۱۳/۵۷۲۱۵۲۸	۳۰/۵۹۵۰۲۱۵
میکوریز (M)	۱	۱۶/۶۷۳۶۱۱۱۱	۰/۱۶۸۷۸۴۰۳	۵/۱۰۳۸۳۴۰۳	۰/۵۰۱۷۳۶۱	۴/۷۲۷۰۰۰۷
هیومیک اسید (H)	۱	۲۲/۵۶۲۵۰۰۰۰	۰/۲۰۷۷۸۴۰۳	۷/۴۲۱۰۸۴۰۳	۱/۵۴۱۷۳۶۱	۳۰/۵۱۶۴۱۷۴
V × M	۲	۱۰/۹۳۶۷۳۶۱۱	۰/۴۹۶۹۰۹۰۳	۱۶/۴۵۸۲۷۱۵۳*	۲۴/۲۱۳۴۰۲۸	۵۸/۶۵۲۸۱۳۲
V × H	۲	۳/۸۶۶۴۵۸۳۳	۳/۰۳۸۶۱۷۳۶	۳/۷۴۵۱۸۸۱۹	۹/۸۶۴۶۵۲۸	۵/۶۵۰۳۵۴۹
M × H	۱	۰/۱۰۰۲۷۷۷۸	۲۱/۵۲۱۸۶۷۳۶*	۳/۰۹۴۶۶۷۳۶	۴۴/۷۷۸۴۰۲۸*	۰/۶۲۵۴۱۷۴
V × M × H	۲	۸/۸۳۶۳۱۹۴۴	۵/۴۷۹۲۴۲۳۶	۴/۹۴۲۲۲۹۸۶	۶۳/۴۱۰۹۰۲۸**	۴/۱۲۱۱۴۶۵
اشتباه آزمایشی	۲۲	۹/۶۵۴۳۸۷۶	۴/۸۳۳۵۶۲۴	۴/۲۲۰۶۱۲۴	۹/۴۷۰۷۱۳۴	۲۴/۸۳۸۸۵۶۸
ضریب تغییرات (٪)	-	۶/۸۶۴۵۲۵	۵/۲۸۳۶۵۶	۵/۰۸۷۰۸۷	۷/۶۳۷۶۷۴	۱۳/۱۹۴۰۷

**و* به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح احتمال ۱ و۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۱۴- تجزیه واریانس غلظت پتاسیم تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		غلظت پتاسیم برگ S۱	غلظت پتاسیم برگ S۳	غلظت پتاسیم غده S۱	غلظت پتاسیم غده S۳
بلوک (R)	۲	۲۳/۵۹۸۱۶۱۷۲*	۱۱/۳۷۵۴۷۱۱۶	۱/۸۳۱۰۵۴۶۸	۱۰/۸۷۳۳۰۰۴**
ورمی کمپوست (V)	۲	۰/۱۶۵۳۱۱۱۲	۰/۷۵۴۲۳۱۹۶	۴/۴۹۸۵۱۷۰۸*	۰/۰۶۷۸۱۶۸۴
میکوریز (M)	۱	۰/۴۱۶۷۲۱۷۷	۳/۳۰۹۶۶۶۲۷	۰/۶۱۰۳۵۱۵۷	۱/۴۷۶۹۰۰۰۷
هیومیک اسید (H)	۱	۶/۹۷۴۰۶۲۶۸	۰/۹۹۵۳۱۰۶۷	۷/۲۴۱۳۳۱۵۲*	۶/۷۸۱۶۸۴۰۳*
V × M	۲	۷/۲۰۴۸۰۹۴۶	۱/۱۱۹۲۹۴۰۱	۰/۸۳۶۴۰۷۷۰	۰/۱۸۸۳۸۰۱۱
V × H	۲	۲/۳۵۵۶۸۳۳۹	۱۶/۰۳۸۶۲۲۱۸*	۲/۴۴۸۹۴۱۴۶	۱/۱۰۷۶۷۵۰۶
M × H	۱	۲۹/۷۸۶۹۹۶۶۸*	۰/۴۱۶۷۲۱۷۷	۰/۰۶۷۸۱۶۸۴	۲/۴۴۱۴۰۶۲۵
V × M × H	۲	۱/۱۱۵۸۵۰۰۲	۱/۱۳۹۹۵۷۹۰	۰/۲۹۳۸۷۲۹۷	۰/۵۶۵۱۴۰۳۳
اشتباه آزمایشی	۲۲	۵/۳۶۱۳۴۰۰	۴/۶۲۰۲۵۷۸	۱/۲۳۹۱۹۸۶۳	۱/۱۲۴۱۱۵۵۰
ضریب تغییرات (٪)	-	۸/۱۶۰۳۶۹	۸/۳۹۱۰۹۱	۲/۹۵۸۲۴۳	۳/۰۰۰۹۸۳

**و* به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح احتمال ۱ و۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۱۵- تجزیه واریانس جذب کل پتاسیم تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		جذب کل پتاسیم برگ S۱	جذب کل پتاسیم برگ S۳	جذب کل پتاسیم غده S۱	جذب کل پتاسیم غده S۳
بلوک (R)	۲	۱۶۱۳۶/۹۶۷۵۲	۲۸۹۳/۴۲۶۶۴	۴۶۸۷۲۱/۳۷۱۳	۴۱۶۶۵۷/۰۹۶
ورمی کمپوست (V)	۲	۱۷۳۷۴/۰۱۸۰۵	۱۰۶۰۹/۵۳۵۷۰	۶۱۶۱۹/۴۶۵۲	۱۰۰۷۸۸۷/۷۷۷
میکوریز (M)	۱	۷۰۳۰/۶۸۴۷۲	۴۲۱۱/۱۳۰۲۴	۳۸۴۴۲۱/۵۲۸۶	۲۵۲۲۳/۰۶۴
هیومیک اسید (H)	۱	۴۴۵۴/۴۶۵۷۳	۴۲۶۷/۷۱۲۱۶	۴۰۷۲۰۵/۷۳۱۴	۱۷۰۱۴۴/۷۹۱
V × M	۲	۶۰۳۳/۴۴۸۱۷	۱۴۵۵/۴۲۳۰۵	۴۴۲۲۵۳/۸۲۶۷	۱۱۱۲۲/۵۱۱
V × H	۲	۱۵۵۱۳/۵۱۳۱۳	۱۵۲۲۰/۸۸۲۷۵	۴۳۱۱۶۴/۸۰۵۷	۷۲۹۳۴/۵۵۲
M × H	۱	۱۲۰۰۶/۷۰۶۳۶	۵۸۰۷/۱۷۷۸۷	۳۱۹۵۷۲/۳۳۳۸	۱۳۶۸۸۲/۶۵۷
V × M × H	۲	۲۸۹۰۱/۶۶۹۹۹*	۵۹۳۷/۹۷۴۲۲	۳۵۹۸۱۰/۰۷۷۵	۱۰۰۶۱۶/۲۱۳
اشتباه آزمایشی	۲۲	۶۳۶۴/۶۰۴۱	۱۱۶۳۰/۴۹۱۰	۳۵۵۳۵۸/۹۴	۳۷۴۹۸۷/۷۳
ضریب تغییرات (٪)	-	۲۲/۱۹۱۴۹	۳۱/۷۲۸۷۶	۳۲/۵۹۰۴۵	۱۸/۳۵۸۸۵

**و* به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح احتمال ۱ و۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۱۶- تجزیه واریانس غلظت فسفر تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		غلظت فسفر برگ S۱	غلظت فسفر برگ S۳	غلظت فسفر غده S۱	غلظت فسفر غده S۳
بلوک (R)	۲	۲۳۷۴۱/۰۰۵۶	۹۷۰۶۶/۳۵۷۸	۱۲۸۳۱۸/۶۸۱۶**	۳۰۲۵/۸۲۹۷۲
ورمی کمپوست (V)	۲	۷۱۲۷/۴۲۹۴	۲۲۱۵۱/۴۳۵۱	۳۷۸۹/۶۳۱۴	۱۴۳۹/۴۷۲۳۹
میکوریز (M)	۱	۱۴۸۱۸/۸۹۹۹	۴۰۶۱۶۰/۹۱۸۸*	۴۴۶۸۲/۳۹۸۰*	۴۷۰/۰۳۱۸۰
هیومیک اسید (H)	۱	۱۴۸۱۸/۸۹۹۹	۱۸۵۱۰/۸۰۵۷	۲۸۲۳۱/۲۸۵۰	۱۱۷/۵۰۷۹۵
V × M	۲	۹۷۴/۲۵۲۹	۳۵۸۹۳/۵۲۸۹	۳۴۳۷/۱۰۷۵	۹۱۰/۶۸۶۶۱
V × H	۲	۲۵۱۷۱۶/۱۹۱۱*	۹۹۸۸۶/۵۶۳۵	۵۶۶۹/۷۵۸۶	۶۳۷۴/۸۰۶۳۰
M × H	۱	۶۲۰۴/۴۵۲۹	۴۶۱/۴۸۸۲	۳۵۹۸۶/۸۰۹۸	۷۵۲۰/۵۰۸۸۱
V × M × H	۲	۴۵۵۸۴/۷۸۱۹	۵۱۶۸۶/۶۸۱۸	۱۲۳۶۷/۷۱۱۸	۳۰۲۵/۸۲۹۷۲
اشتباه آزمایشی	۲۲	۶۶۸۱۳/۲۴۰	۷۴۵۲۳/۳۵۷	۹۸۷۰/۶۶۷۸	۷۲۵۶/۱۱۵۹
ضریب تغییرات (٪)	-	۶/۲۷۵۹۳۶	۶/۱۹۳۸۲۷	۱۷/۰۵۱۴۴	۲۲/۹۹۹۳۷

**و* به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح احتمال ۱ و۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۱۷- تجزیه واریانس جذب کل فسفر تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		جذب کل فسفر برگ S۱	جذب کل فسفر برگ S۳	جذب کل فسفر غده S۱	جذب کل فسفر غده S۳
بلوک (R)	۲	۲۲۷/۱۲۱۸۶۲	۶/۷۷۷۹۴۱۲	۳۱۸/۰۷۱۷۶۳۷*	۱۰۹/۷۰۳۸۱۷۸
ورمی کمپوست (V)	۲	۳۸۹/۶۳۵۹۵۴*	۴۰۸/۳۶۳۴۷۱۰	۱۱/۰۰۶۳۵۱۰	۹۵/۵۴۰۳۰۳۹
میکوریز (M)	۱	۴۰/۹۸۴۷۵۱	۷/۳۴۴۰۴۱۸	۷/۵۰۰۰۲۷۹	۱/۸۰۸۱۸۶۸
هیومیک اسید (H)	۱	۱۵/۷۰۲۹۳۱	۵۴/۸۲۸۴۸۴۰	۱۸/۲۴۹۱۰۴۲	۵۸/۱۶۹۷۶۴۹
V × M	۲	۱۷۴/۵۰۸۳۰۱	۲۳/۲۳۷۶۰۶۲	۹۷/۷۵۷۴۰۰۲	۶/۸۰۹۰۸۱۰
V × H	۲	۱۲۳/۹۳۳۸۵۷	۴۵۶/۹۷۵۴۱۵۴	۱۴۰/۴۲۱۹۹۵۱	۶۶/۹۴۹۲۱۳۴
M × H	۱	۶/۳۰۹۰۳۶	۱۵۳/۸۶۶۵۷۰۵	۰/۴۱۱۰۹۳۰	۳۴/۷۰۴۸۷۰۸
V × M × H	۲	۵۹۸/۵۱۶۰۱۹*	۸۶/۰۶۵۹۶۵۷	۱۴۰/۹۶۸۱۳۹۶	۹/۵۸۹۵۵۳۸
اشتباه آزمایشی	۲۲	۱۱۰/۸۱۳۰۶۱	۲۴۶/۱۵۴۳۱۰	۷۸/۲۸۳۳۷۱	۸۹/۹۲۷۰۳۹
ضریب تغییرات (٪)	-	۲۰/۲۵۹۶۶	۲۶/۹۱۸۳۷	۳۱/۸۳۲۵۲	۲۷/۲۴۱۸۹

**و* به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح احتمال ۱ و۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۱۸- تجزیه واریانس درصد همزیستی میکوریزایی تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		۶۵ روز پس از کاشت (S۱)	۸۵ روز پس از کاشت (S۳)
بلوک (R)	۲	۵۰/۶۹۴۴۴۴	۴/۸۶۱۱۱۱۱
ورمی کمپوست (V)	۲	۱۲۵/۶۹۴۴۴۴*	۲/۷۷۷۷۷۷۸
میکوریز (M)	۱	۱۷۷/۷۷۷۷۷۸*	۳۰۶/۲۵*
هیومیک اسید (H)	۱	۲۵	۳۴/۰۲۷۷۷۷۸
V × M	۲	۳۴/۰۲۷۷۷۷۸	۸/۳۳۳۳۳۳۳
V × H	۲	۱۴/۵۸۳۳۳۳	۲/۷۷۷۷۷۷۸
M × H	۱	۱۳۶/۱۱۱۱۱۱۱	۵۶/۲۵
V × M × H	۲	۹۲/۳۶۱۱۱۱۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰
اشتباه آزمایشی	۲۲	۳۵/۵۴۲۹۲۹	۴۹/۵۵۸۰۸۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۶/۵۰۹۵۷	۲۸/۳۱۶۳۱

**و* به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح احتمال ۱ و۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۱۹- تجزیه واریانس کارایی جذب پتاسیم تحت تاثیر ورمی کمپوست، میکوریز و هیومیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کارایی جذب پتاسیم برگ S۱	کارایی جذب پتاسیم برگ S۳	کارایی جذب پتاسیم غده S۱	کارایی جذب پتاسیم غده S۳
بلوک (R)	۲	۱۸۳۲۶/۷۰۶۳۳**	۳۳۶۷۶/۲۳۲۱۷**	۷۵۴۲۰/۸۸۰۸**	۴۴۹۲/۴۵۵۳۶۷**
ورمی کمپوست (V)	۲	۲۷۹۱/۳۶۳۵۰	۱۳۰۸/۵۶۶۸۴	۱۶۴۲/۵۹۶۷	۱۲۰۴/۷۲۶۵۷۷
میکوریز (M)	۱	۱/۴۰۱۶۹	۱۰۲۵/۶۸۱۹۲	۵۵۱/۰۸۶۱	۴۱/۸۴۳۱۲۶
هیومیک اسید (H)	۱	۲۱۸۶/۰۶۰۹۶	۲۵/۴۵۵۲۳	۱۰۸۳۴/۸۲۳۳	۱/۱۵۲۹۲۰
V × M	۲	۵۱۰/۴۸۳۲۳	۲۹۱/۶۱۸۶۲	۲۱۸۳/۷۷۶۰	۳۲/۷۳۸۶۲۰
V × H	۲	۱۴۴۵/۵۵۱۱۵	۵۱۳/۴۵۴۹۰	۱۲۴۱/۰۱۴۷	۱۲۵/۷۲۴۹۱۸
M × H	۱	۳۷۷/۱۹۱۱۳	۱۷۳۰/۲۱۳۲۴	۱۹۱۷/۱۸۳۴	۵۳۳/۳۹۲۸۵۴
V × M × H	۲	۲۱۲۹/۶۱۰۰۱	۹۶۸/۲۰۸۱۹	۵۶۴۳/۱۸۲۵	۱۲۳/۱۰۴۵۷۲
اشتباه آزمایشی	۲۲	۹۲۵/۰۸۱۸۵	۱۵۲۱/۰۱۸۰	۲۸۶۳/۰۱۵۹	۳۹۱/۳۵۱۷۲
ضریب تغییرات (٪)	-	۲۵/۹۰۱۵۷	۳۰/۳۰۱۳۷	۳۶/۵۷۸۶۸	۱۷/۶۲۶۲۲

**و* به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح احتمال ۱ و۵ درصد می‌باشد.

منابع

امینی س، (۱۳۸۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی:" بررسی تاثیر مواد زاید کارخانه کاغذ سازی بر حاصلخیزی خاک و رشد گندم"، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

برین م، علی اصغر زاده ن و صمدی ع، (۱۳۸۴) "اثر تلقیح با قارچ های میکوریزی در خزانه بر خصوصیات رشدی و تغذیه ای گوجه فرنگی. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران، جلد ۲، صفحه ۵۵-۵۷.

بوردی ا. و ملکوتی م ج، (۱۳۸۶) " بررسی تاثیر منابع مختلف کود آلی (کود دامی، کمپوستو ورمی کمپوست) بر کمیت و کیفیت پیاز قرمز در دو منطقه بناب و خسروشهر" **مجله علوم خاک و آب**، جلد۲۱، شماره ۱.

پوریای ولی م، (۱۳۸۹) "**سیب زمینی و تولید خارج از فصل**" انتشارات نصوح، اصفهان، ۱۴۴ صفحه.

توسلی ع و علی‌اصغرزاده ن، (۱۳۸۸) "اثر قارچهای میکوریزا آربوسکولار بر جذب عناصر غذایی و عملکرد پیاز در یک خاک شور در شرایط مزرعه‌ای" **مجله دانش آب و خاک**. جلد ۱۹. شماره ۱.

جوادی م، (۱۳۸۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد:" ارزیابی تحمل به خشکی در کلون های حاصل از بذر حقیقی سیب زمینی"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل. ۱۲۰ صفحه.

حاجیان شهری م و عباسی م، (۱۳۸۳) " تغییرات جمعیت اسپورهای قارچی میکوریز وزیکولار - آربوسکولار در خاک جنگلهای طبیعی پسته در استان خراسان" **مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی**، سال هشتم، ش چهارم، صفحه ۸۵-۷۷.

حسندخت م ر و کاشی ع، (۱۳۷۸) " بررسی اثر کود دامی و نیتروزن بر صفات کیفی و کمی سیب زمینی" **نهال و بذر**، سال ۱۵، (۴)۳۳۰-۳۲۰.

خاورزی ک و ملکوتی م ج، (۱۳۸۰) " ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور" سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی، نشر آموزش کشاورزی، کرج ۵۶۰ صفحه.

خلدبرین ب و اسلامی زاده ط، (۱۳۸۰) " **تغذیه معدنی گیاهان عالی**" (ترجمه)، انتشارات دانشگاه شیراز، ۹۴۵ صفحه.

خواجه پور م ر، (۱۳۸۳) " **گیاهان صنعتی**" انتشارات جهاد دانشگاهی اصفهان، ۵۷۱ صفحه.

دانشور م ح، (۱۳۸۲) " **پرورش سبزی**" انتشارات دانشگاه شهیدچمران، اهواز، ۴۷۰ صفحه.

رجالی ف، مردوخی ب و ملکوتی م ج، تأثیر همزیستی میکوریزی بر کارایی مصرف آب، تجمع پرولین و جذب عناصر غذایی گندم در شرایط شور، **مجله پژوهشهای آب در کشاورزی**، شماره ۲، ۱۳۸۹.

رستگار م ع، (۱۳۸۵) **"زراعت گیاهان صنعتی"** انتشارات برهمند. ۴۶۹ صفحه.

رضایی ع، سلطانی ا، (۱۳۸۳) **"زراعت سیب زمینی"** انتشارات جهاد دانشگاهی (دانشگاه مشهد). ۱۸۰ صفحه.

ریگی م ر و رونقی ع م، (۱۳۸۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "ارزیابی گلخانه‌ای تاثیر سه نوع ورمی کمپوست و نیتروژن بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت و برنج"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

زندیان ف، امیری م و فرنیا ا، (۱۳۹۲)، "ارزیابی کاربرد کودهای آلی بر ارتفاع بوته، وزن و تعداد غده های سیب زمینی با اندازه بذری ریز در شهرستان ماهیدشت"، اولین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار. تهران

سماوات س، (۱۳۸۰)، "مدیریت استفاده از ضایعات کشاورزی به منظور تولید کمپوست"، موسسه تحقیقات آب و خاک، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی وزارت کشاورزی، نشریه فنی ۲۰۱.

سماورات س، پازکی ع و لادن مقدم ع، (۱۳۸۷) **"اصول کاربردی مواد آلی در کشاورزی"** گرمسار. دانشگاه آزاد اسلامی گرمسار. صفحه ۷۸.

غلامی ا و کوچکی ع، (۱۳۸۰) **"میکوریزا در کشاورزی پایدار"** (ترجمه) انتشارات دانشگاه شاهرود، ۲۱۲ صفحه.

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

فلاحی م، (۱۳۷۶)، **"دانش و تکنولوژی سیب زمینی"** مشهد: بارثاوا. ۲۵۰ صفحه.

کوچکی ع، حسینی م و نصیری محلاتی م، (۱۳۷۴) **"رابطه آب و خاک و گیاه در گیاهان زراعی"** انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۶۰ صفحه.

مبلی ح، موسی زاده ح و جوانبخت س، (۱۳۸۹) **"فناوری تولید سیب زمینی"** موسسه انتشارات دانشگاه تهران. ۲۱۶ صفحه.

مجیدیان، م، قلاوند ا، کریمیان ن و کامکار حقیقی ع ا، (۱۳۸۷) اثر تنش خشکی، کود شیمیایی نیتروژن و کود آلی بر قرائت کلروفیل متر، عملکرد دانه و اجزای عملکرد ذرت دانه ای سینگل کراس ۷۰۴. **مجله علوم زراعی ایران**. ۱۰(۳): ۳۳۰-۳۰۳.

محمدی ع، (۱۳۸۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "ارزیابی منابع مقاومت به خشکی در تعدادی از ارقام سیب زمینی در منطقه اردبیل"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل. صفحه۱۳۷

معارف دوست م م، (۱۳۷۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی تعادل های توزیع Zn روی هیومیک اسید استخراج شده از خاک جنگلی نهارخوران گرگان در pH های مختلف و تعیین ثبات تعادل (k) به وسیله تکنیک جذب اتمی" دانشگاه گیلان

ملکوتی م ج، شهابی ع ا و بازرگان ک، (۱۳۸۴) **"پتاسیم در کشاورزی ایران"** انتشارات سنا. ۳۱۸ صفحه.

ملکوتی م ج و کاووسی م، (۱۳۸۳)، تغذیه متعادل برنج. وزارت جهاد کشاورزی- معاونت زراعت، (۶۱۱ صفحه).

ملکوتی م ج و همایی م، (۱۳۸۳) **"حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک (مشکلات و راه حل‌ها)** " چاپ دوم با بازنگری کامل، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

میرزایی ح، (۱۳۹۱)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "اثر متقابل ورمی کمپوست و اسید هیومیک بر عملکرد سیب زمینی" دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود.

میرکمالی س ح، حبیبی ج و حاجیان فر ر، (۱۳۸۳) **"آفات، بیماریها و علفهای هرز مهم سیب زمینی در ایران و مدیریت تلفیقی آنها"** انتشارات سازمان تحقیقاتی آموزش و ترویج کشاورزی. ۱۵۲ صفحه.

Abbasi A. (2007), M.Sc. thesis, "Investigation of nitrogen uptake and use efficiency in potato cultivars", University of Mohaghegh Ardabili. 115 pp. Ardabil. Iran.

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

Abbott L. K. and Robson A. D. (**1979**), "A quantitative study on the spores and anatomy of mycorrhizas formed by a species of *Glomus*, with special reference to its taxonomy ", **Austral. J. Botany**., 27:**363-375.**

Abdel-Mawgoud A. M. R., El-Greadly N. H. M., Helmy Y. I. and Singer S. M. (**2007**), "Responses of tomato plants to different rates of humic based Fertilizer and NPK Fertilization", **Journal of Applied Sciences Researc**h., 3(2): **169-174.**

Abou-Aly H. E. and Mady M. A. (**2009**), "Complemented effect of humic acid and biofertilizers on wheat *(Triticumaestivum L.)* productivity", **Annals of Agric. Sci**., Moshtohor,47(1) :**1-12.**

Aira M., Monroy F. and Dominguez J. (**2007**), " *Eisenia foetida*(Oligochaeta: Lumbricidae) Modifies the structure and physiological capabilities of microbial communities improving carbon mineralization during vermicomposting of pig manure", **J. of .Microbial Ecol**.,54,pp **662-671.**

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

Akhtar M. S. and Siddiqui Z. A. (**2008b**), "*Glomus intraradices*, *Pseudomonas alcaligenes* and *Bacillus pumilus*: effective agents for the control of root-rot disease complex of chickpea (*Cicer arietinum* L.) ", **J. Gen. Plant Pathol**., 74, pp **53.**

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

Alam M. N., Jahan M. S., Ali M. K., Ashraf A. and Islam M. K. (**2007**), "Effect of Vermicompost and Chemical Fertilizers on Growth, Yield and Yield Components of Potato in Barind Soils of Bangladesh", **J. of .Appl. Sci. Res**.,3(12),pp **1879-1888.**

Albayrak S. and Camas N. (**2005**), "Effect of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield component of forage turpin", **Journal of Agronomy** 42: **130-133.**

Albiach R., Canet R., Pomares F. and Ingelmo F. (**2001**), "Organic matter components aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years Biores", **Technol**. 77:**109-114.**

Allen M. F. (**1991**), "**The Ecology of Mycorrhizae**", Cambridge.Univ.Press.

Amin A. A., Rashad E. M. and Gharib A. E. (**2008**), "Changes in morphological, phiysiological and reproductive characters of Wheat plants as affected by foliar application with Salicylic acid and Ascorbic acid", **Aust. J. of Basic. and Appli. Sci**. 2(2): **252-261.**

Ansari A. A. (**2008a**), "Effect of Vermicompost on the Productivity of Potato (*Solanum tuberosum*),Spinach (*Spinacia oleracea*) and Turnip (*Brassica campestris*)", **World Journal of Agricultural Sciences** 4 (3): **333-336.**

Ansari A. A. (**2008b**), "Effect of vermicompost and Vermiwash on the productivity of spinach (*Spinacia oleracea*), onion (*Allium cepa*) and potato (*Solanum tuberosum*)", **World Journal of Agricultural Sciences**., 4 (5): **554-557.**

Anwar M., Patra D. D., Chand S., Alpesh K., Naqvi A. A. and Khanuja S. P. S. (**2005**), "Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil", **Communications in Soil Sci. and Plant Analysis**., 36: **1737-1746.**

Arancon N., Edwards C. A., Bierman P., Welch C. and Metzger J. D. (**2004**), "influences of Vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth on yields", **Bioresour Technol**., 93(2):**145-53.**

Arguello J. A., ledesma A., nuhez S. B., Rdriyuez C. H. and Goldfarb M. D. D. (**2006**), "vermicompost effects on buldings dynamics, nonstructural carbohydrate content, yield, and quality of Rosado Paraguayan garlic bulbs" **hort science**., 41(3):**589-592.**

Asmaa R. and Magda M. (**2010**), "Increasing productivity of potato plants (*solanum tuberosum* L.) by using poyassium fertilizer and humic acid application", **inter. J. of academic research**., 2(2): p**83.**

Atiyeh R. M., Lee S. S., Edwards C. A., Arancon N. Q. and Metzger J. (**2002**), "The influence of humic acid derived from earthworm-processed organic waste on plant growth", **J. of .Bio. Resource.Technol**., 84, pp **7–14.**

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

Augé R. M. (**2004**), "Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations", **Canadian Journal of Soil Science**., 84: **373-381.**

Ayas H. and Gulser F. (**2005**), "The effect of sulfur and humic acid on yield components and macronutrient contents of spinach", **Journal of biological sciences**., 5 (6): **801- 804.**

Ayuso M., Hernandez T., Garcia C. and Pascual J. A. (**1996**), "A comparative study of the effect on barley growth of humic substances extracted from municipal wastes and from traditional organic materials", **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 72(4): **493–500**.

Azarmi R., Mousa T. G. and Rahim Taleshmikail D. (**2008**), "Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicumesculentum*)", **J. of . Afr. Bio. tech**., 7 (14), pp **2397-2401**.

Bathlenfalvay G. J., Brown M. S., Ames R. N. and Thomas R. S. (**1988**), "Effect of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybean in relation to water use and phosphate uptake", **Physiol. Plant**., 72: **565-571.**

Baylis G. T. S. (1975), "The magnolioid mycorrhiza and mycotrophy in root systems derived from it" PP.373-389. In: F. E. Sanders, B. Mosse and P. B. Tinker(Eds.), **Endomycorrhizas**", Springer-Verlag Pub., London."

Benavides M. P., Gallego S. M. and Tomaro M. L. (**2005**), "Cadmium toxicity in plants Braz ", **J. plant physiol**. 17(1):**21-34.**

Bolan N. S. (**1991**), "Acritical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants", **Plant and Soil.**, 134: **189-207.**

Bowen G. D. (**1980**), "**Misconceptions, concepts and approaches in rhizosphere biology. In: Current Perspectives in Microbial Ecology**", Klug, M.J., and Reddy, C.A., (Eds.). American Society of Microbiology, Washington, D.C. USA. P. 283-304.

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

Brown L. (1997), "**Facing the prospect of food scarcity**. In: State of the World" Strake, L. (Ed.). W.W. Norton & Co. New York. pp. 23-41.

Brundrett M. C. and Abbott L. K. (**2002**), "**Arbuscular mycorrhizas in plant communities In: Microorganisms in Plant Conservation and Biodiversity**", Sivasithamparam, K., Dixon, K.W., and Barrett, R.L. (Eds.). Kluwer Academic Press. pp:151-193.

Cabello M., Irrazabal G., Bucsinszky A M., Saparrat M., and Schalamuk S. (**2005**), "Effect of an arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus mosseae*, and a rockphosphatesolubilizing fungus, *Penicillium thomii*, on *Mentha piperita* growth in a soilless medium", **J. Basic Microbiol**., 45(3):**182-189.**

Cardoso I. M. and Kuyper T. W. (**2006**), "Mycorrhizas and tropical soil fertility" **Agricultur Ecosystems & Environment**., 116(1-2):**72-84.**

Castrillo M. and Trujillo I. (**1994**), "Ribulose-1,5-bisphosphate carboxilase activity and chlorophyll and protein contents in two cultivars of french bean plants under water stress and rewatering", **Photosynthetica**., 30(2): 175–181.

Cavagnaro T. R., Smith F. A., Smith S. E. and Jakobsen I. (**2005**) "Functional diversity in arbuscular mycorrhizas: Exploitation of soil patches with different phosphate enrichment differs among fungal species", **Plant Cell. Environ**., 28(2): **642–650.**

Chen Y. and Aviad T. (**1990**) "**Effect of humic substances on plant growth**" In MacCarthy, P. (ed.) Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings. ASA-SSSA, Madison. pp. 161–186.

chen y., clap C. E., Magen H. and clin V. W. (**1999**), "**stimulation of plant Growth by Humic substances :Effects on Iron Availability**" In: Ghabbour, E.A. and Davies, G. understanding Humic substances: Advanced Methods, properties and applications. Royal socity of chemistry ,Cambridge. UK.

Ciecko Z., Kalembasa S., Wyszkowski M. and Rolka E. (**2004**), "Effect of Soil Contamination by Cadmium on Potassium Uptake by Plants", **Journal of Environmental Studies**., 13(3): **333-337.**

Clap C. E. (**2001**), "An organic matter trial: polysaccharides to waste management to nitrogen / carbon to humic substances", royal society of chemistry, Cambridge, uk. Pp. 3- 17.

Clark R. B. and Zeto S. K. (**1996**), "Iron acquisition by mycorrhizal maize grown on alkaline soil", **Journal of Plant Nutrition**., 19(2): **247-264.**

Cottenie A. (**1980**), "**Soil and plant testing as a basis of fertilizre recommenations**" FAO Soils Bull. 38/2. FAO, Rome (Italy). **120**.pp.

Day B. (**2000**), "**Modified atmosphere packaging of selected prepared fruits and vegetables**", In P. Zeuthen (Ed.), Processing and quality of foods, Vol. 3.Chilled foods the revolution in freshness (pp. **230–233**). London: Elsevier.

Delfine S., Tognetti R., Desiderio E., Alvino A. (**2005**), "Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat" **Agron. Sustain**., 25(2): **183-191.**

Dodd J. C. (**2000**), "The role of arbuscular mycorrhizal fungi in agro-natural ecosystems", **Outlook on Agriculture**., 29:**63-70.**

Dogan e. and Dimer K. (**2004**), "Determination of yield and fruit characteristics of tomato crop grown in humic acids –added aggregate culture in greenhouse condition", VI. 21-24 september, turkey. Pp **218-224.**

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(8):**1460-1468.**

Duponnois R., Kisa M., Assigbetse K., Prin Y., Thioulouse J., Issartel M., Moulin P. and Lepage M. (**2006**), "Fluorescent pseudomonads occurring in Macrotermes subhyalinus mound structures decrease Cd toxicity and improve its accumulation in sorghum plants", **Sci Total Environ**., 370(2-3): **391–400.**

Dursun A., Guvenc I. and Turan M. (**2002**), "Effects of different levels of humic acid on seedling growth and macro and micronutrient contents of tomato and eggplant", **Acto Agrobotanica**., 55(2): **81- 88.**

Edwards C. A. and Burrows I. (**1988**), "The potential of earthworm compost as plant growth media" In: Edwards C.A. and Nauhauser A. (Eds.), Earthworm in Environmental and Waste management. Springer, The Netherlands, pp. **211–220.**

Edwards C. A. and Neuhauser E. F. (Eds)., (**1998**), "**Earth worms in waste and Environmental management**", SPB Academic publishing bv, the Netherland , **391** P.

Ekelof J. (**2007**), "potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization" Master project in the Horticultural science programme 2: 20 p(30 ECTS).

El-defan T. A. A., El-Kholi M. G., Rifaat M. and Allah A. E. A. (**1999**), "Effect of soil and foliar application of potassium on yield and mineral content of weat grain grown in sandy soils", **Egiption Journal Agricultural Research**., 77(2): **513-522.**

El Sayed Hameda E.A. and El Morsy A. H. A. (**2011**), "Responses of productivity and quality of sweet potato to phosphorus fertilizer rates and application methods of the humic acid", **Inter. Res. J. of Agric. Sci and Soil Sci**., 1(9): **383–393.**

Federico A., Rincón-Rosales R. and Dendooven L. (**2007**), "Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (Lycopersicum esculentum)", **J. of .Bio Resource. Technol.,** 98(15): pp **2781-2786.**

Fernandez F., Reyes v., Martinez C., Salomon C., Yanez J., Ceballos J. M. and Dendooven L. (**2010**), "Effect of different nitrogen sources on plant characteristics

and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris L.*)", **Bioresource Technology**., 101: **396–403.**

Furlan V. and Bernier-Cardou M. (**1989**), "Effects of N, P and K on formation of vesicular-arbuscular mycorrhizae, growth and mineral content of onion" **Plant Soil**., 113(2): **167-174.**

Garg V. K., Kaushik P. and Dilbaghi N. (**2006**), "Vermiconversion of wastewater sludge from textile mill mixed with anaerobically digested biogas plant slurry employing Eisenia foetida", **Ecotoxicology and Environmental Safety** 65(3):**412-419.**

Georg E., Haussler K., Kothari S. K., (**1995**), "Role of arbuscular mycorrhiza fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil", **Critical Review in Biotechnology**., 15(3-4): **257-270.**

Ghabbour E. A. and Davies G. (**2000**), "Humic Substances: Structures, Models and Functions", **Royal, Engineers**., 44(4):**677-682.**

Gholizadeh A. L., Ardalan M., Tehrani M. M., Mirseyed Hosseini H. and Karimian N. (**2009**), "Solubility test in phosphate rocks and their potential for direct application in soil", **World Applied Sci. J**., 6 (2):**182-190.**

Giovannetti M. and Mosse B. (**1980**), "An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots" **New Phytol**., 84(3): **489-500**.

Gohre v. and Paszkowski U. (**2006**), "Contribution of the arbuscular mycorrhizal symbiosis to heavy metal phytoremediation" **Planta**., 223(6): **1115–22.**

Govindarajulu M., Pfeffer P. E., Jin H., Abubaker J., Douds D. D., Allen J. A., Bucking H., Lammers P. J. and Shachar-Hill Y. (**2005**), "Nitrogen transfer in the arbuscular mycorrhizal symbiosis" **Nature**., 435, **819-23**.

Grant C., Bittman S., montreal M., Plenchette C. and Morel C. (**2005**), "Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development" **Can. J. Plant Sci**., 85: **3-14.**

Grossl P. R. and Inskeep W. P. (**1991**), "Precipitation of dicalcium phosphate dihydrate in the presence of organic acids", **Soil sci. Amer.J**., 55(3):**670-675**.

Haase T., Schuler C. and Heb J. (**2007**), "The effects of different N and K sources on tuber nutrient uptake, total graded yield of potatoes (solanum tuberosum L.) for processing", **European Journal of Agronomy**., 26(3):**187-193.**

Haselwandter K. (**1995**), "Mycorrhizal fungi: Siderophore production", **Crit. Rev. Biotechnol**., l5(3-4):**287-291.**

Harsh, P. B., Tiffany L. W., Laura G. P., Simon G. and Jorge M. V. (**2006**), "The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms", **Plant. Biol**., 57:**233-266.**

Harris D., Rashid A., Miraj G., Arif M. and Shah H. (**2007**) "On-farm seed priming with zinc sulphatesolution a cost-effective way to increase the maize yields of resource poor farmers", **Field. Crop. Res**., 102 (2): **119-127.**

Harrison M. J., (**2005**), "signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis", **Annual Review of Microbiology**., 59: **19-42.**

Hart M. M., Reader R. J. and Klironomos J. N. (**2001**), "Life-history strategies of arbuscular mycorrhizal fungi in relation to their successional dynamics", **Mycologia**., 96: **1186-1194.**

Haverkort A. J., Waart M. and Bodlaender K. A. (**1990**), "The effect of early drought stress on number of tubers and stolons of potato in controlled and field conditions", **Potato Research**., 33(1): **89-94**.

Hayman D. S. (**1983**), "The physiology of vesicular arbuscular endomycorrhizal symbiosis", **Canadian. Journal of Botany**., 61(3): **944-963**.
Hayman D. S. (**1970**), "Endogone spore numbers in soil and vesicular–arbuscular mycorrhiza in wheat as influenced by season and soil treatment" **Trans. Br. Mycol. Soc**., 54 (1): **53-63**.
Hinsinger P., Jaillard B. and Dufey J. E. (**1992**), "Rapid weathering of trioctahedral mica by the roots of ryegrass", **Soil Sci Soc Am J**., 56(3): **977–982**.
Hiscox J. D. and Israelstam G. F. (**1979**), "Amethod for extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration" **Canadian. J. Bot**., 57(12):**1332-1334**.
Hopkinz B. J. (2003), "humic acid effects on potato respons to phosphorios", Presented at the Idaho Potato Conference., 22–23.
Hsu Y. T. and Kao C. H. (**2004**), "Cadmium toxicity is reduced by nitric oxide in rice leaves", **Plant growth regulat**., 42(3): **227-238**.
Huang P. M. (**2005**), "**Chemistry of soil potassium. In: Chemical Processes in Soil**", Tabatabai M. A. and Sparks D. L. (eds.). SSSA, Madison, WI. pp. **227-292**.
Hussein S. M. A. (2005), "Effect of supplemental irrigations, seeding rates and foliar application of potassium, macro and micro elements on wheat productivity under rainfed conditions", Bulltion of faculty of agriculture. Cario university., 56(3): 431-435.
Jackson C.R. (**1984**), "Phosphorus nutrition on mycorrhizal colonization, photosynthesis, growth and nutrient composition of *Citrus aurantium*", **Plant and Soil**., 80(1):**35-42**.
Jeffries P. and Barea J. M. (2001), "**Arbuscular mycorrhizal a key component of sustainable plant-soil ecosystems**" In: Hock B. (Ed.)., The Mycota. Vol. IX. Fungal Associations. Pp. **95-113**. Berlin and Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.
Jeffries P., Gianinazzi S., Perotto S., Turnau K. and Barea J. M. (**2003**), "The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility", **Biology and Fertility of Soils**., 37(1): **1-16**.
Jeyabal A. and Kupposwamy G. (**2001**), "Recycling of organic wastes for the production of vermecompost and it's response in rice-legume cropping system and soil fertility", **J. of .Eur. J. Agr. Sci**., 15(3): **153-170**.
Jones C. A., Jacobse J. S. and Mugaas A. (2004), "Effect of humic acid phosphorus availability and spring wheat yield", Fact. Fertilizer., 32. F. J. Stevenson, soil. Am. J, 40, 1665-672,1976.
Jones C. A., Jacobsen J. S. and Mugaas A. (2008), "Effect of Low-Rate Commercial Humic Acidon Phosphorus Availability, Micronutrient Uptake, and Spring Wheat Yield", **Communications in Soil Science and Plant Analysis**., 38(7–8): **921-933**.
Jones M. D. and Smith S. E. (**2004**), "Exploring functional definitions of mycorrhizas: are mycorrhizas always mutualisms?", **Can. J. Bot**., 82:**1089-1109**.
Kale R. D., Mallesh B. C., Kubra B. and Bagyaraj D. J. (**2002**), "Influence of vermicompost application on the available macronutrients and selected microbial population in a paddy field", **Soil Biology and Biochemistry**., 24(12): **1317-1320**.
Karakurt Y., Unlu H. and Padem H. (**2009**), "The influence of foliar and soli fertiization of humic acid on yeild and quality of pepper", **Plant soli science**., 59(3): **233-237**.
Khanam D., Mridha A. U. and Solaiman A. R. M. (**2000**), "Effect of fertilizers on the natural occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi chickpea (*Cicer arietinume* L.)", **Bull. Inst. Trop. Agr**., 29: **87-95**.

Krishnamoorthy R. V. and Vajrabhiah S. N. (**1986**), "Biological activity of earthworm casts: an assessment of plant growth promoter levels in casts", **J. of .Indian. Animal. Sci**., 95: **341–351**.

Laspina N. V., Groppa M. D., Tomaro M. L. and Benavides M. P. (**2005**), "Nitric oxide protects sunflower leaves against Cd induced oxidative stress", **Plant Sci**., 169(2): **323-330**.

Lekberg Y. and Koide R. T. (**2005**), "Arbuscular mycorrhizal fungi, rhizobia, available soil P and nodulation of groundnut (*Arachis hypogaea*) in Zimbabwe", **Agr. Ecosyst. Environ**., 110(3-4): **143-148**.

Leon V., Kochain. (1991), "Mechanisms of micronutrient uptake and translocation in plant", Pp. 229-285. In: Mortvelt J. J., Cox F. R., Shuman L. M. and Welch R. M. (eds). Micronutrient in Agriculture. 2nd ed. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wl.

Liu C. and Cooper R. J. (2000), "Humic substances influence creeping bentgrass growth", Golf Course Management 49-53.

Louise M., Warburton E., Querejeta J. I. and Allen M. F. (**2007**), "Common mycorrhizal networks provide a potential pathway for the transfer of hydraulically lifted water between plants" **J. Exp. Bot**., 58(6): **1473-83**.

Lynch J. M. (1983), "**Soil Biotechnology, Microbiological Factors in Crop Prodactivity**", Blackwell, oxford, **191** p.

Mackowiak C. L., Grossl P. R. and Bugbee B. G. (**2001**), "Beneficial effects of humic acid on micronutrient availability to wheat", **Soil Science Soc Am J**., 65(6):**1744-1750**.

Mahmoud A. R., and Hafez M. M. (**2010**), "Increasing productivity of potato plants (solanum tuberosum l) by using potassium fertilizer and humic acid application", **International Journal of Academic Research**., 2(2): **83-88**.

Mallikarjuna M., Govindasamy R. and Chandrasekaran S. (1987), "Effect of humic acid on sorghum vulgare var" CSH-9.Current. Sci., 56(24): 1273-76.

Marinari S., Masciandaro G., Ceccanti B. and Grego S. (**2000**), "Influence of organic and mineral fertilisers on soilbiological and physical properties", **Bioresource Technology**., 72(1): **9-17**.

Marschner H. and Dell B. (**1994**), "Nutrient uptake in mycorrhizai symbiosis", **Plant and Soil**, 159(1):**89–102**.

Mitchell A. and Edwards C.A. (**1997**), "The production of vermicompost using *Eisenia fetida* from cattle manure", **J. of .Soil. Bio. Biochem**., 29: **3–4**.

Mohanty S, Paikaray N. K, Rajan A. R. (**2006**), "Avalability and uptake of phosphorus from organic manures in groundnut (Arachis hypogea L.)-corn (Zea mays L.) sequence using radio tracer technique", **Geoderna**., 133(3-4): **225-230**.

Mulubrhan H. (2004), M.Sc Thesis, "The effect of Nitrogen, Phosphorus and Potassium fertilization on the yield and yield components of potato (Solanum tuberosum L.) grown on vertisols of Mekele area", Haramaya University, Ethiopia, p. 24.

Munroe G. (2010), "Manual of on-farm vermicomposting and vermiculture", Organic agriculture center of Canada.

Nagahashi G., Douds D. D. and Abney G. D. (**1996**), "Phophorus amendment inhibits hyphal branching of the VAM fungus *Gigaspora margarita* directly and indirectly through its effect on root exudation", **Mycorrhiza**., 6(5): **403-8**

Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A. and Vianello A. (**2002**), "Physiological effects of humic substances on higher plants", **Soil Biology and Biochemistry**., 34(11): **1527–1536**.

Nikbakht A., Kafi M., Babalar M., Xia Y. P., Luo A. and Etemadi N. A. (**2008**), "Effect of humic acid on plant growth, nutrient uptake, and postharvest life of Gerbera", **Journal of Plant Nutrition**., 31(12): **2155-2167**.

Norman, Q. A., Clive A. E., Peter B., James D. M. and Chad L. (**2005**), "Effect of vermicompost produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of pappers in the field", **Pedobiologia**., 49(4): **297-306**.

Ohki K., (**1984**), "Manganese deficiency and toxicity effects on growth, development, and nutrient composition in wheat", **Agron J**., 76(2):**213-218**.

Ortus I. and Harris P. J. (**1996**), "Enhancement uptake of phosphorus by mycorrhizal sorghum plant as influenced by forms of nitrogen", **Plant Soil**., 184(2): **225-64**.

Poss J. A., Pond E., Menge J. A. and Jarrel W. M. (**1985**), "Effect of Salinity on mycorrhizal onion and tomato in soil with and without addieional phosphate", **J. of Plant Soil**., 88(3): **307-319**.

Phillips J. M. and Hayman D. S. (**1970**), "Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection", **Trans. Br.Mycol. Soc**., 55(1): **158-161**.

Piccolo A. Pietramellara G. and Mbagwu J. S. C. (**1997**), "Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability", **Geoderma**., 75(3-4): **267-277**.

Raju P. S., Clark R. B., Ellis J. R. and Maranville J.W. (**1990**), "Effects of species of VAmycorrhizal fungi on growth and mineral uptake of sorghum at different temperatures", **Plant and Soil**., 121(2): **165–170**.

Rapparini F., Liusia J. and Penuelas J. (**2008**), "Effect of arbuscular mycorrhiza colonization on terpen emission and content of *Artemisia annua* L", **Plant Biology**., 10(1): **108-122**.

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**.

Rillig M. C. and Mummey D. (**2009**), "Mycorrhizas and soil structure", **New Phytol**., 171(1): **41–53**.

Rizk A. H., Mashhour A. M. A., Abd-Elhadyand E. S. E. and EI-Ashri K. M. A. (**2010**), "The rote of some humic acid products in reducing of use mineral Fertilizer and improving soil properties and nutrient uptake", **J. Soil Sci. and Agri. Engineering**, Mansoura Univ., 1(8):**765-774**.

Rosen C. and Nearney M. M. (2003), "Potato yield and tuber setas affected by phosphorus fertilization" www.potatonews.com/articles_categori. ASP ipa genomz 23 source=fertilizer.

Roth-Nebelsick A. and Konrad W. (**2003**), "Assimilation and transpiration capabilities of rhyniophytic plants from the Lower Devonian and their implications for paleoatmospheric CO2 concentration", **Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol**., 202(1-2): **153–178**.

Roy D. K. and Singh B. P. (**2006**), "Effect of level and time of nitrogen application with and without vermicompost on yield, yield attributes and quality of malt barley (*Hordeum vulgare*)", **Indian J. Agron**., 51(1): **40-42**.

Rubio R., Borie F., Schalchli C., Castillo C. and Azcón R. (**2003**), "Occurrence and effect of arbuscular mycorrhizal propagules in wheat as affected by the source and amount of phosphorus fertilizer and fungal inoculation", **Applied Soil Eco**., 23(3): **245-255**.

Ryan M. H. and Graham J. H. (**2002**), "Is there a role for arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in production agriculture ?", **J. of. Plant and soil**., 244(1-2) **263-71**.

Saeidi M. (2008), M.Sc. thesis, "Investigation of tuber size and nitrogen on some growth aspects qualitative and quantitative traits of potato tuber", University of Mohaghegh Ardabili., 119p, Ardabil. Iran.

Sabannavar S. J. and Lakshman H. C. (**2009**), "Effect of rock phosphate solubilization using mycorrhizal fungi and phosphobacteria on two high yielding varieties of *Sesamum indicum* L.", **World J. Agric. Sci**., 5(4): **470-79.**

Sainz M. J., Taboada-Castro M. T. and Vilarino A. (**1998**), "Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil amended with composted urban wastes", **J. of Plant Soil**., 205(1): **85-92**.

Sanchez–Sanchez A., Sanchez–Anderu J., Juarez M., Jorda J. and Bermudez D. (**2002**), "Humic substances and Amino acid improve effectiveness of Chelate FeEDDHA in Lemons trees", **J. of Plant Nutrition**., 25(11): **2433-2442**.

Sanchez–Sanchez A., Sanchez–Andreu J., Juarez M., Jorda J. and Bermudez D. (**2006**), "Imporvement of iron uptake in table grape by addition of humic substancecs", **Journal of Plant Nutrition**., 29(2): **259-272**.

Sawhney V., Singh D. P. (**2002**), "Effects of chemical desiccation at the post anthesis stage on some physiological and biochemical changes in the flag leaf of contrasting wheat genotypes", **Field Crops Research**., 77(1): **1-6**.

Sebahattin A. and Necdet C. (**2005**), "Effects of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield components of forage Turnip (Brassica rapa L.)", **Agronomy. Journal**., 4: **130-133**.

Selim E. M. and El-Neklawy A. S. (**2009**), "Beneficial Effects of Humic Substances Ferrtigation on Soil Fertility to Potato Grownon Sandy Soil", **Australian Journal of Basic and Applied Sci**., 3(4): **4351–4358**.

Shabayev V. P., Smolin V. Y. and Mudrik V. A. (**1996**), "Nitrogen fixation and CO2 exchange in soybeans (Glycine max L.) inoculated with mixed cultures of different microorganisms", **Biology and Fertility of Soils**., 23(4): **425-430**.

Sharif, M., Khattak R. A. and Sarir M. S. (**2002**), "Effect of different levels of lignitic coal derived humic acid on growth of maize plants", **Plant Analysis**., 33: **3567–3580**.

Sharma A. K. (2002a), "**A handbook of organic farming**", Agrobios (India)., **656**pp.

Sharma A K. (2002b), "**Biofertilizers for sustainable agriculture**" Agrobios .Indian Publication., pp**456**.

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

Singh M. and Ramesh S. (**2002**), "Response of sweet basil (*Ocimum basilicum*) to organic and inorganic fertilizer in semi-arid tropical conditions" J**. Med. Arom. Plant Sci**., 24(4): **947-950**.

Singh R. B., Chauhna C. P. S. and Minhas P. S. (**2009**), "Water production functions of wheat irrigation with saline and alkali waters using double line source sprinkler system" **Agricultural water management**., 96(5): **736-744**.

Singh R., Gupta R. K., Patil R. T., Sharma R. R., Asrey R., Kumar A. and Jangra K. K. (**2010**), "Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria ananassa Duch*.)", **J. of .Hort.Scientic**., 124(1): **34–39**.

Singh S. (2000), "Effect of Fe, Zn on growth of sunflower", **S. Environmental**., 34(1–2): **57–63**.

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

Smith S E. (**1982**), "Inflow of phosphate into mycorrhizal and non-mycorrhizal plants of *Trifolium subterraneum* at different levels of soil phosphate", **New Phytol**., 90(2): **293-303**.

Smith S. E. and Read D. J. (2008), "**Mycorrhizal Symbiosis**", third ed. Academic Press, London, UK.

Sparks D. L. (1996), "**Method of Soil Analysis**", Part III. Chemical Method. No. 5. Book Series, Soil Sci. Soc. Amer., Madison, WI.

Splittstoesser w. e. (1990), "**Vegetable growing handbook, principles and procedures for producing an abundance of quality vegetab**le", Fforuth edition. the AVI publishing company, inc .westpott, new York, U .S .A.

Sreenivas C., Muralidhar S. and Rao M. S. (**2000**), "Vermicompost, a viable component of IPNSS in nitrogen nutrition of ridge gourd", **J. of .Annual. Agr. Res**., 21(1): **108-113**.

strada-Luna A. and Davies A. (**2003**), "Arbuscular Mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchange, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Capsicum annuum*) plantlets during acclimatization and post-acclimatization", **J. of .Plant Physiology**., 160(9): **1073-83**.

Taher M. M., Khurshid M., Khan M. Z., Abbasi M. K. and Kazmi H. M. (**2011**), "lignite-derived humic acid effect on growth of wheat plants in different soils", **Pedosphere**., 21(1): **124-131**.

Tan K. H. and Nopamornbodi V. (**1979**), "Effect of different levels of humic acids on nutrient content and growth of corn (*Zea mays* L.)", **Plant Soil**., 51(2): **283–287**.

Tan K. H. (2003), "**Humic Matter in Soil and the Environment**", Marcel Dekker, New York.

Tarafdar J. C. and Marschner H. (**1994**), "Phosphorus activity in the rhizosphere and hyphosphere of VM mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus", **Soil Biol. Biochem**., 26(3):**387-395**.

Tattini M., Bertoni P., Landi A. and Traversim M. L. (**1991**), "Effect of humic acids on growth and biomass portioning of container grown olive plants", **Acta Horticulturaea**., 294: **75-80**.

Thimmegouda S. and Devakumar N. (**1993**), "Analysis of moisture stress on growth and tuber yield of potato (*Solanum tuberosum* L.)", **Indian Agriculturist**., 37(3): **145-150**.

Tisdal S. L., Nelson W. L. and Baton J. D. (1995), "**Soil fertility and fertilizers**", Macmillan Publishing Company. USA. 375 p.

Toor R. K., Savage G. P. and Heeb A. (**2006**), "Influence of different types of fertilizers on the major antioxidant components of tomatoes", **J. Food Comp. Anal**., 19(1): **20-27**.

Toussaint J. P., Smith F. A. and Smith S. E. (**2006**), "Arbuscularl mycorrhizal fungi can induce the production of phytochemicals in sweet basil irrespective of phosphorus nutrition", **Mycorrhiza**, 17(4): **291-297**.

Vallini G., Per, A., Avio L., Valdrighi M. and Giovannetti M. (**1993**), "Influence of humic acids on laurel growth, associated rhizospheric microorganisms, and mycorrhizal fungi", **Biol Fertil Soils**., 16(1):**1-4**.

Van der Heijden M. G. A. and Sanders I. (2002), "**Mycorrhizal ecology**", Springer, Berlin, Heidelberg. **469** p.

Vaughan D. and Linehan D. J. (**2004**), "The growth of wheat plants in humic acid solutions under axenic conditions", **Plant Soil**., 44(2): **445–449**.

Visser S. A. and Caillier M. (**1988**), "Observations on the Dispersion and Aggregation of Clays by Humic Substances, I. Dispersive Effects of Humic Acids", **Geoderma**., 42(3-4): **331-337**.

Wilson G. W. T., Rice C. W., Rillig M. C., Springer A. and Hartnett D. C. (**2009**), "Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi", results from long-term field experiments. **Ecol. Lett**., 12(5): **452–461**.

Wright S. F. and Upadhyaya A. (**1998**), "A survey of soils for aggregate stability and glomalin a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi", **Plant Soil**., 198(1): **97-107**.

Yang W. Z. and Shao M. A. (2000), "**Soil Water of the Loess Plateau**", Science Press, Beijing,China.

Yildirim E. (**2007**), "Foliar and soil fertilization of humic acid affect productivity and quality of tomato", Acta agriculturae Scandinavica section B. **Journal of Soil and Plant Science**., 57(2): **182-186**.

Yuan B. Z. Nishiyama S. and Kang Y. (**2003**), "Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip- irrigated potato", **Agricultural water Management**., 63(3): **153-167**.

Zaller J. G. (**2006**), "Foliar spraying of vermicompost extracts: Effects on fruit quality and indications for late-blight suppresson of field-grown tomatoes", **Biol. Agric. Hortic**., 24(2): **165–180**.

Zhou J. and Huang P. M. (**2007**), "Kinetics of potassium release from illite as influenced by different phosphates", **Geoderma**. 138(3-4): **221-228**.

Abstract

Due to the fixation of chemical fertilizers in soil and environmental pollution, use of the organic and biological fertilizers in order to release the on-farm resources of application of previous years which are unavailable can be a suitable alternative for chemical fertilizers and achieve to the sustainable agriculture. This study was performed to evaluate the effect of arbuscular mycorrhizal and organic fertilizers (vermicompost and humic acids) application on uptake and transportation efficiency of potassium in potato in a rich soil of potassium. For the purposes of this study, we selected a field with high concentrations of potassium and were done a factorial experiment in a randomized complete block design with three replications. Treatments was consisted of three levels of Vermicompost (0, 5 and 10 t/ha) and two levels of Humic acid and two levels of Mycorrhiza. Sampling was done in two stages 65 and 85 days after planting and the measured traits were include the concentration of potassium in leaves and tubers. Then By using of the relevant formulas, potassium uptake efficiency was also calculated. The results indicated that in both sampling, humic acid by potassium transfer from the above-ground to the underground part led to significantly increase ($P<0.05$) of potassium in underground part of plant compared to control. That this transfer leads to an increase in the number of tubers and reduce in the tubers diameter, stem dry weight and plant height. Also the effect of any one of the treatments were not significant on uptake efficiency of potassium of leaves and tubers. Based on the results of this study, By using of humic acid can supplied both directly and indirectly, The bulk of potassium needed by plants in alkaline soils and reduce environmental pollution especially surface waters to chemical fertilizers.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal, humic asids, potassium, potato, vermicompost

Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture

Effect of arbuscular mycorrhizal and organic fertilizers (vermicompost and humic acids) appiliccation on uptake and transportation efficiency of potassium in potato (*Solanum tuberosum L.*)

Abbas Ali Malek

Supervisors:

Hamid Reza Asghari

Mohammad Reza Amerian

Co-Supervisors:

Mahdi Rahimi

Ahmad Akhyani

September 2014