

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



## دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد کشاورزی اکولوژیک

تأثیر میکوریزا بر مورفولوژی ریشه و اندام‌هایی دو رقم سورگوم علوفه‌ای و کیفیت باکتریایی خاک در  
شرایط آبیاری با پساب تصفیه شده فاضلاب شهری

دانشجو:

مریم صفار سبزوار

استاد راهنمای:

دکتر محمد رضا عامریان

اساتید مشاور:

دکتر متین جامی معینی

دکتر مصطفی حیدری

۹۶ آذر

۴۶۴ رک  
شماره: ۱۲ / ۱۰ / ۱۳۹۶

با اسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

### فرم شماره (۳) صورجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم مریم صفارسیزوار با شماره دانشجویی ۹۴۳۸۳۷۴ رشته مهندسی کشاورزی گراش اگروآکولوژی تحت عنوان تاثیر میکوریزا بر موروفولوزی ریشه و اندام‌های دو رقم سورگوم علوفه‌ای و کیفیت باکتریایی خاک در شرایط آبیاری با پساب تصفیه شده فاضلاب شهری که در تاریخ ۹۶/۹/۱۴ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شهرورد برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

نوع تحقیق: <input checked="" type="checkbox"/> نظری <input type="checkbox"/> محدود	قبول (با درجه: ..... عالی) <input checked="" type="checkbox"/>
عملی	
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی
۱- استاد راهنمای اول	دکتر محمدرضا عامریان
۳- استاد مشاور	دکتر متین جامی معینی
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مصطفی حیدری
۵- استاد ممتحن اول	دکتر مهدیه پارساییان
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر حمیدرضا اصغری
	دکتر احمد غلامی

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء رئیس دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی محدود شود حداقل بیکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می‌تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را فیض راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم.

## و سپاس بی پایان

از استاد باتکالات و شایسته جناب دکتر محمد رضا عامریان که در کمال سعد صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ گلی در این عرصه بر من درین تئود و زحمت راهنمایی این رساله را برعهده گرفته و از استادان صبور و فریخته، جناب دکتر متین جامی معینی و جناب دکتر مصطفی حیدری که درین تئود و زحمت مشاوره این رساله را مستقبل شدند که بدون مساعدة ایشان، این پژوهه به نتیجه مطلوب نمی‌رسید، باشد که این خردترین، بخشی از زحات آنان را سپاس گوید.

## تعهد نامه

اینجانب مریم صفارسیز وار دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته اگرواکولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تاثیر میکوریزا بر مورفولوژی ریشه و اندام‌هایی دو رقم سورگوم علوفه‌ای و کیفیت باکتریایی خاک در شرایط آبیاری با پساب تصفیه شده فاضلاب شهری تحت راهنمایی دکتر محمد رضا عامریان متعهد می‌شوم.

• 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 رساله 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 شهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.

- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، 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، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

هدف اصلی کشاورزی پایدار، کاهش نهاده‌های مصرفی، بهبود چرخه داخلی عناصر غذایی خاک از طریق کاهش خاکورزی و استفاده از کودهای بیولوژیک به جای کودهای شیمیایی در جهت افزایش عملکرد محصولات کشاورزی است. به منظور بررسی تاثیر میکوریزا بر مورفولوژی ریشه و اندام‌های دو رقم سورگوم علوفه‌ای و کیفیت باکتریایی خاک در شرایط آبیاری با پساب تصفیه شده فاضلاب شهری، آزمایشی بصورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال ۹۵ - ۱۳۹۴ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی سبزوار اجرا گردید. فاکتورهای مورد مطالعه شامل کود زیستی در دو سطح: مصرف و عدم مصرف قارچ میکوریزا آربسکولار، آبیاری در سه سطح: آبیاری با آب معمولی در تمام مراحل رشد، آبیاری با آب معمولی و پساب به صورت یک در میان و آبیاری با پساب در کل دوره رشد و دو رقم سورگوم علوفه‌ای اسپیدفید و رقم محلی سیه‌زن سبزواری بودند. نتایج نشان داد که آبیاری با پساب، باعث افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ، محتوای کلروفیل b، وزن خشک

ریشه، وزن خشک اندام هوایی و میزان فسفر گیاه نسبت به تیمار شاهد گردید. پساب باعث افزایش معنی دار مجموع طول، سطح و حجم ریشه در رقم سیه زن گردید، اما تأثیر معنی داری بر طول و سطح ریشه رقم اسپیدفید نداشت. استفاده از پساب، درصد ماده خشک قابل هضم، پروتئین خام، دیواره سلولی و فیبر نامحلول علوفه را در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داد. تلقیح میکوریزا باعث افزایش درصد ماده خشک قابل هضم و قند محلول در آب، نسبت به تیمار شاهد گردید. در رقم سیه زن، میکوریزا درصد ماده خشک قابل هضم را کاهش و درصد دیواره سلولی و درصد فیبر نامحلول را افزایش داد. درصد قند محلول در آب تحت تأثیر میکوریزا قرار نگرفت. بیشترین میزان فیبر خام در رقم سیه زن مشاهده شد. تلقیح میکوریزا مجموع طول ریشه، سطح ریشه، حجم ریشه و وزن خشک ریشه را در رقم سیه زن تحت تأثیر قرار نداد، اما باعث کاهش این صفات نسبت به شرایط عدم تلقیح میکوریزا در رقم اسپیدفید گردید. غلظت فسفر در اندام هوایی رقم سیه زن به طور معنی داری بیشتر از رقم اسپیدفید بود. بیشترین میزان کلروفیل a در رقم سیه زن و در حضور میکوریزا بدست آمد. کاربرد پساب و آب معمولی به صورت یکی در میان، باعث کاهش کلی فرم کل و مدفوعی خاک در شرایط استفاده از رقم سیه زن گردید. تعداد کلی فرم مدفوعی گیاه و کلی فرم کل و مدفوعی خاک در شرایط تناوب پساب و آب معمولی و تلقیح میکوریزا کاهش یافت. عدم تلقیح میکوریزا در رقم سیه زن باعث افزایش قابل توجه کلی فرم کل در اندام هوایی گیاه گردید. با گذشت زمان روزانه، تعداد باکتری های شاخص آلودگی در خاک کاهش یافت. استفاده از قارچ میکوریزا سرعت کاهش میزان کلی فرم مدفوعی را در خاک افزایش داد. با توجه به نتایج این آزمایش، کاربرد پساب و آب معمولی به صورت متناوب در رقم محلی سیه زن سبزواری، توصیه می گردد. همچنین، با توجه به بهبود صفات رشدی گیاه سورگوم در شرایط آبیاری با پساب و بدون مصرف میکوریزا، کاربرد همزمان کود بیولوژیک و پساب قابل توصیه نمی باشد.

**کلمات کلیدی:** میکوریزا، پساب، رقم، کلروفیل، ریختشناسی، قابلیت هضم، کلی فرم

<u>۱</u>	فصل اول مقدمه و کلیات ..... ۱
۲	۱-۱ مقدمه ..... ۱
۴	۲-۱ مبدأ و تاریخچه کشت سورگوم ..... ۱
۴	۳-۱ مشخصات گیاهشناسی و زراعی سورگوم ..... ۱
۵	۱-۳-۱ خصوصیات اندامهای گیاهی سورگوم ..... ۱
۶	۲-۳-۱ انواع سورگوم ..... ۱
۶	۳-۳-۱ ارقام سورگوم علوفه‌ای ..... ۱
۷	۴-۱ کودهای بیولوژیک و اهمیت آن ..... ۱
۸	۵-۱ اثر کود بیولوژیک در حاصلخیزی خاک ..... ۱
۹	۶-۱ کاربرد کودهای بیولوژیک: مزیتها و محدودیتها ..... ۱
۱۰	۷-۱ انواع کودهای بیولوژیک ..... ۱
۱۱	۸-۱ جنبه‌های زیست شناختی میکوریزا ..... ۱
۱۲	۹-۱ نقش قارچ میکوریزا در کشاورزی پایدار ..... ۱
۱۳	۱۰-۱ فاضلاب ..... ۱
۱۵	۱-۱۰-۱ فاضلاب خام ..... ۱
۱۵	۲-۱۰-۱ فاضلاب تصفیه شده ..... ۱

۱۵	۱۱-۱ طبقه‌بندی فاضلاب‌ها .....
۱۵	۱۱-۱-۱ فاضلاب‌های خانگی .....
۱۵	۱۱-۱-۲ فاضلاب‌های صنعتی .....
۱۵	۱۱-۱-۳ فاضلاب‌های سطحی .....
۱۵	۱۱-۱-۴ فاضلاب‌های کشاورزی .....
۱۶	۱۲-۱ ویژگی‌های پساب‌ها و فاضلاب‌ها .....
۱۶	۱۲-۱-۱ خصوصیات فیزیکی .....
۱۶	۱۲-۱-۲ خصوصیات شیمیابی و بیولوژیکی .....
۱۷	۱۳-۱ کاربرد پساب در آبیاری و رعایت استانداردهای بین‌المللی .....
۱۷	۱۴-۱ بررسی اثرات زیست محیطی استفاده از پساب‌ها .....
۱۷	۱۴-۱-۱ کلی فرم .....

## فصل دوم : بررسی منابع .....

۱۹	۱-۲ اثرات تغذیه‌ای میکوریزا در گیاه میزبان .....
۲۲	۲-۲ تأثیر میکوریزا بر جذب فسفر توسط گیاه میزبان .....
۲۳	۲-۳ نقش میکوریزا در بهبود جذب آب .....
۲۴	۲-۴ میکوریزا و اختصاص مواد فتوستنتزی .....
۲۵	۲-۵ میکوریزا و واکنشهای مروف‌فیزیولوژیکی .....
۲۵	۲-۶ تأثیر میکوریزا بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاهان .....
۲۷	۲-۷ اثر کودهای، معدنی و آلی روی میکوریزا .....
۲۸	۲-۸ بررسی پارامترهای رشدی گیاهان در اثر آبیاری با فاضلاب .....
۳۳	۲-۹ اثرات نامطلوب پساب بر روی خاک .....
۳۷	۲-۱۰ اثرات آبیاری با پساب بر آلودگی گیاه .....
۴۱	<b>فصل سوم : مواد و روشها.....</b>

۴۱	۳-۱ زمان و محل انجام آزمایش .....
۴۲	۳-۲ مشخصات آماری پژوهش .....
۴۲	۳-۳ مشخصات خاک مورد استفاده .....
۴۲	۳-۴ مشخصات پساب فاضلاب شهری .....
۴۳	۳-۵ عملیات اجرایی .....
۴۳	۳-۵-۱ عملیات آماده‌سازی گلدان‌ها و اعمال تیمارها .....
۴۴	۳-۵-۲ عملیات داشت .....
۴۴	۳-۶ نمونه‌برداری و اندازه‌گیری‌ها .....
۴۴	۳-۶-۱ صفات زراعی و مورفو‌لولوژیک .....
۴۵	۳-۶-۲ مشاهده کلونی‌اسیون ریشه‌ها .....

۴۵	۳-۶-۳ اندازه‌گیری مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها
۴۶	۳-۶-۴ تعیین خصوصیات کیفی علوفه
۴۷	۳-۶-۵ اندازه‌گیری فسفر به روش کالریمتری (رنگ زرد مولیبدات وانادات)
۴۸	۳-۶-۶ تجزیه باکتریولوژی نمونه فاضلاب تصفیه شده
۴۸	۳-۶-۷ تجزیه باکتریولوژی نمونه‌های خاک
۴۸	۳-۶-۸ تجزیه باکتریولوژی نمونه‌های گیاه
۴۹	۳-۷-۳ روش MPN
۴۹	۳-۷-۱ آزمایش احتمالی
۵۰	۳-۷-۲ آزمایش تأییدی
۵۰	۳-۸ تجزیه و تحلیل آماری
۵۳	فصل چهارم : نتایج و بحث
۵۳	۴-۱ پارامترهای رشد گیاه
۵۴	۴-۱-۱ شاخص کلروفیل برگ
۵۵	۴-۱-۲ ارتفاع بوته
۵۶	۴-۱-۳ وزن خشک اندام هوایی
۵۸	۴-۱-۴ وزن خشک ریشه
۶۰	۴-۱-۵ مجموع سطح ریشه
۶۳	۴-۱-۶ حجم ریشه
۶۵	۴-۱-۷ مجموع طول ریشه
۶۷	۴-۲ پارامترهای کیفیت علوفه
۶۷	۴-۲-۱ درصد پروتئین خام
۶۹	۴-۲-۲ درصد دیواره سلولی منهای همی‌سلولز
۷۱	۴-۲-۳ درصد فیبر خام
۷۱	۴-۲-۴ درصد فیبر نامحلول
۷۲	۴-۲-۵ درصد قند محلول در آب
۷۴	۴-۲-۶ درصد ماده خشک قابل هضم
۷۶	۴-۲-۷ درصد خاکستر کل
۷۶	۴-۳ فسفر اندام هوایی

۷۸	۴-۴ رنگیزه های فتوسنتزی .....
۷۸	۱-۴-۴ کلروفیل a .....
۷۹	۲-۴-۴ کلروفیل b .....
۸۱	۳-۴-۴ کارتنوئید .....
۸۱	۴-۵ پارامترهای آلدگی خاک و گیاه.....
۸۱	۱-۵-۴ کلی فرم کل و کلی فرم مدفوعی خاک .....
۸۴	۲-۵-۴ کلی فرم کل و کلی فرم مدفوعی اندام هوایی سورگوم.....
۸۵	۳-۵-۴ آزمایشات فرعی.....
۸۷	نتیجه گیری .....
۸۹	منابع .....
۱۱۳	پیوست.....

## فهرست اشکال

۴۲	شكل ۱-۳. نقشه آزمایش .....
۵۴	شكل ۱-۴. اثر روش آبیاری بر شاخص کلروفیل سورگوم .....
۵۶	شكل ۲-۴. اثر کود بیولوژیک بر ارتفاع سورگوم .....
۵۷	شكل ۳-۴. اثر روش آبیاری بر وزن خشک اندام هوایی سورگوم .....
۵۹	شكل ۴-۴. اثر روش آبیاری بر وزن خشک ریشه سورگوم.....
۶۰	شكل ۴-۵. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر وزن خشک ریشه گیاه سورگوم .....
۶۱	شكل ۴-۶. اثر کود بیولوژیک بر مجموع سطح ریشه سورگوم .....
۶۱	شكل ۷-۴. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر مجموع سطح ریشه سورگوم .....
۶۲	شكل ۸-۴. اثر متقابل رقم و روش آبیاری بر مجموع سطح ریشه سورگوم .....
۶۲	شكل ۹-۴. اثر متقابل کود بیولوژیک و روش آبیاری بر مجموع سطح ریشه سورگوم .....
۶۴	شكل ۱۰-۴. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر حجم ریشه سورگوم .....
۶۴	شكل ۱۱-۴. اثر متقابل رقم و روش آبیاری بر حجم ریشه سورگوم .....

..... شکل ۱۲-۴. اثر متقابل روش آبیاری و کود بیولوژیک بر حجم ریشه سورگوم	۶۵
..... شکل ۱۳-۴. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر مجموع طول ریشه سورگوم	۶۶
..... شکل ۱۴-۴. اثر متقابل کود بیولوژیک و روش آبیاری بر مجموع طول ریشه سورگوم	۶۶
..... شکل ۱۵-۴. اثر متقابل رقم و روش آبیاری بر مجموع طول ریشه سورگوم	۶۷
..... شکل ۱۶-۴. اثر روش آبیاری بر درصد پروتئین سورگوم	۶۸
..... شکل ۱۷-۴. اثر روش آبیاری بر درصد دیواره سلولی منهای همیسلولز	۶۹
..... شکل ۱۸-۴. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر درصد دیواره سلولی منهای همیسلولز سورگوم	۷۰
..... شکل ۱۹-۴. اثر رقم بر درصد فیبر خام سورگوم	۷۱
..... شکل ۲۰-۴. اثر روش آبیاری بر درصد فیبر نامحلول گیاه سورگوم	۷۲
..... شکل ۲۱-۴. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر درصد فیبر نامحلول سورگوم	۷۲
..... شکل ۲۲-۴. اثر روش آبیاری بر درصد قند محلول در آب سورگوم	۷۳
..... شکل ۲۳-۴. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر درصد قند محلول در آب سورگوم	۷۴
..... شکل ۲۴-۴. اثر روش آبیاری بر درصد ماده خشک قابل هضم گیاه سورگوم	۷۵
..... شکل ۲۵-۴. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر درصد ماده خشک قابل هضم سورگوم	۷۶
..... شکل ۲۶-۴. اثر رقم بر میزان فسفر اندام هوایی سورگوم	۷۷
..... شکل ۲۷-۴. اثر روش آبیاری بر میزان فسفر اندام هوایی سورگوم	۷۸
..... شکل ۲۸-۴. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر غلظت کلروفیل	۷۸
..... شکل ۲۹-۴. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر غلظت کلروفیل b	۷۹
..... شکل ۳۰-۴. اثر متقابل روش آبیاری و کود بیولوژیک بر غلظت کلروفیل b	۸۰
..... شکل ۳۱-۴. کاهش در تعداد باکتریهای کلیفرم مدفوعی در خاک با گذشت زمان پس از کاربرد پساب در خاک	۸۶

## فهرست جداول

۱-۱- برخی از اجزاء اصلی فاضلاب‌های شهری؛	۱۴
۱-۲- فراوانی جنس‌های باکتریایی شناسایی شده میان توتال و فکال کلی فرم از کاهو و اسفناج؛	۳۸
۱-۳- مشخصات خاک مورد آزمایش؛	۴۲
۲-۳- مشخصات پساب مورد آزمایش؛	۴۳
۱-۴- استانداردهای سازمان محیط زیست ایران برای دفع فاضلاب و استفاده مجدد از پساب (۱۳۷۴)؛	۷۰
۲-۴- اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر کیفیت باکتریایی خاک و گیاه سورگوم؛	۸۱
۳-۴- اثر متقابل رقم و روش آبیاری بر کیفیت باکتریایی خاک و گیاه سورگوم .....	۸۲
۴-۴- اثر متقابل کود بیولوژیک و روش آبیاری بر کیفیت باکتریایی خاک و گیاه سورگوم .....	۸۳
۵-۴- اثرات متقابل سه جانبی .....	۸۴

## فهرست جدول‌های پیوست

- 
- پیوست ۱ - خلاصه نتایج تجزیه واریانس اثر میکوریزا بر مورفولوژی ریشه و اندام هوایی دو رقم سورگوم در شرایط آبیاری با پساب ۱۱۴
- پیوست ۲ - خلاصه نتایج تجزیه واریانس اثر میکوریزا بر خصوصیات کیفی دو رقم سورگوم در شرایط آبیاری با پساب ۱۱۵
- پیوست ۳ - خلاصه نتایج تجزیه واریانس اثر میکوریزا بر رنگیزه‌های فتوسنترزی، درصد فسفر و کیفیت باکتریایی خاک و گیاه دو رقم سورگوم در شرایط آبیاری با پساب ۱۱۶

## مقالات چاپ شده از این پایان‌نامه عبارتند از :

۱. ارزیابی اثر همزیستی میکوریزا بر ریخت‌شناسی ریشه و اندام هوایی دو رقم سورگوم در شرایط آبیاری با پساب. پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. ۶ الی ۸ شهریور ۹۶. دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲. بررسی اثر میکوریزا بر کیفیت باکتریایی خاک و دو رقم سورگوم در شرایط آبیاری با پساب. پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. ۶ الی ۸ شهریور ۹۶. دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. اثر میکوریزا بر رنگیزه‌های فتوسنترزی و درصد فسفر دو رقم سورگوم در شرایط آبیاری با پساب. اولین کنفرانس بین‌المللی و پنجمین کنفرانس ملی کشاورزی ارگانیک و مرسوم. ۲۵ الی ۲۶ مرداد ۹۶. دانشگاه محقق اردبیلی.
۴. تاثیر میکوریزا بر مورفولوژی ریشه دو رقم سورگوم در شرایط آبیاری با پساب. اولین کنفرانس بین‌المللی و پنجمین کنفرانس ملی کشاورزی ارگانیک و مرسوم. ۲۵ الی ۲۶ مرداد ۹۶. دانشگاه محقق اردبیلی.

تأثیر میکوریزا بر ویژگی‌های کیفی دو رقم سورگوم در شرایط آبیاری با پساب با پساب. اولین کنفرانس بین‌المللی و پنجمین کنفرانس ملی کشاورزی ارگانیک و مرسوم. ۲۵ الی ۲۶ مرداد ۹۶. دانشگاه محقق اردبیلی

# فصل اول

مقدمہ و کلیات

## ۱-۱ مقدمه

گیاهان به عنوان مهم‌ترین منابع تجدید پذیر و اولین منبع تأمین کننده مواد غذایی برای بشر و دیگر جانوران بوده و به عنوان حلقه اول زنجیره غذایی مورد توجه می‌باشند. با توجه به کمبود منابع، انتخاب گونه‌هایی با نیازهای حداقلی برای رشد و بازده بالا در تولید یکی از ضروریات ادامه زندگی می‌باشد (خدابنده، ۱۳۶۶).

یکی از ارکان اصلی در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه در مصرف نهادهای شیمیایی است (شارما، ۲۰۰۲) بروز مشکلات اقتصادی و زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی موجب گردیده که یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین زمینه‌های مورد تحقیق در مطالعات علمی روز، تلاش برای تولید کودهای زیستی باشد (باشان، ۲۰۰۴). اگر چه استفاده از کودهای بیولوژیک در کشاورزی قدمت زیادی دارد ولی بهره برداری علمی از این گونه منابع سابقه چندانی ندارد. هر چند کاربرد این کودها در چند دهه اخیر کاهش یافته ولی امروزه با توجه به مشکلاتی که مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی به وجود آورده است استفاده از آنها در کشاورزی مجدداً مطرح شده است (آستارایی و کوچکی، ۱۳۷۵) و سعی بر آن است تا از پتانسیل ارگانیسم‌های خاک و مواد آلی به منظور حداکثر تولید در ضمن توجه به کیفیت خاک و رعایت بهداشت و ایمنی محیط زیست استفاده گردد (معلم و عشقی زاده، ۱۳۸۶).

با رشد بی‌رویه جمعیت جهان به خصوص در کشورهای جهان سوم کمبود مواد غذایی امری جدی است. این کمبود محققین شاخه‌های مختلف را بر آن داشته تا در زمینه افزایش تولید محصولات غذایی برای رفع این کمبود اقدام کنند، لذا با وجود محدودیت اراضی قابل کشت کوشش محققین در سالهای اخیر بر افزایش عملکرد در واحد سطح متتمرکز شده است. افزایش تولید در واحد سطح، به طور کلی از دو طریق به نژادی و به زراعی امکان‌پذیر است (امام و نیک نژاد، ۱۳۷۳). این امر از یک سو و خشکسالی‌های پی در پی در سال‌های اخیر از سوی دیگر موجب شده که منابع موجود آب شیرین سطحی در اکثر کشورهای واقع در کمربند مناطق خشک به اوج مصرف برسد و بالطبع فشار بیش از اندازه به منابع آب وارد آید (اروندی و کامیاب، ۱۳۷۹).

کم آبی، امروزه یکی از مهمترین عوامل محدود کننده تولید محصول در نواحی خشک و نیمه خشک می‌باشد و کاهش رشد در اثر تنفس خشکی به مراتب بیشتر از سایر تنفس‌های محیطی است. امروزه تقریباً ۷۰ درصد آب کره زمین به مصرف کشاورزی می‌رسد و ۴۰ درصد غذای مردم جهان نیز در زمین‌های کشاورزی تولید می‌شود. از نظر منابع و عوامل تولید، کشاورزی از وضعیت خاصی برخوردار است. بدین معنی که از ۱۶۵ میلیون هکتار مساحت کل کشور، تنها حدود ۳۷ میلیون هکتار اراضی مناسب کشت و زرع، می‌باشد. در حال حاضر به علت محدودیت آب فقط  $\frac{7}{8}$  میلیون هکتار از این اراضی به صورت فاریاب،  $\frac{4}{5}$  میلیون هکتار دیگر نیز به صورت آیش استفاده می‌شود (کشاورز و صادق زاده، ۱۳۷۹).

در سالهای اخیر با توجه به خشکسالی‌ها و افزایش تقاضا، سرانه آب قابل دسترس کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد. البته این کاهش سرانه محدود به ایران نبوده و وضعیت نگران کننده‌ای را برای کشورهای خاورمیانه ایجاد نموده است. خاورمیانه با ۵٪ جمعیت جهان تنها به یک درصد از آبهای شیرین دسترسی دارد. سازمان ملل در سال ۱۹۹۰ وضعیت آبهای قابل دسترس جهان را مورد بررسی قرار داد و از میان کشورهای خاورمیانه ۱۱ کشور در وضعیت کمبود آب قرار گرفتند. پیش بینی شده تا سال ۲۰۲۵ و در صورت تداوم وضعیت موجود کشورهای مصر، اتیوبی، ایران، لیبی، مراکش، عمان و سوریه به این لیست بپیونددن ( محمودی و سرلک، ۱۳۸۷).

امروزه استفاده از پساب جهت رفع کمبود آب شیرین و نیز حاصلخیز کردن زمین‌های کشاورزی و کشت آبی متداول است و کاربرد آن در دهه‌های اخیر مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک افزایش یافته است (منزوی، ۱۳۶۷). دسترسی به پساب فاضلاب به عنوان یک منبع مطمئن و دائمی آب و مواد مغذی موجب می‌شود در زمان بحران، نیاز گیاه به آب و کود تأمین شود و همچنین در طول دوره رشد از منابع مناسب آب و کود برخوردار باشد. از طرف دیگر میزان املاح پساب در برخی موارد پایین‌تر از املاح آبهای زیرزمینی مورد استفاده در کشاورزی می‌باشد و از آنجا که زیادی املاح موجب کاهش بازده محصول می‌شود، استفاده از پساب که املاح کمتری دارد و علاوه بر آن حاوی مواد مغذی کافی است، بازده محصول را در بسیاری از گیاهان افزایش می‌دهد (سیاهی و جبلی، ۱۳۸۰).

در حال حاضر به سه صورت مختلف از فاضلاب‌ها، پساب‌ها و آبهای برگشتی در کشاورزی استفاده می‌شود.

۱. استفاده غیر اصولی و بدون رعایت استانداردهای مربوط و الگوی کشت مناسب.

۲. استفاده بعد از تصفیه کامل فاضلاب و رساندن کیفیت آن به حد استانداردهای مورد نظر
۳. استفاده از پساب با کیفیت نامطلوب، برای کشت نباتات خاص و انتخاب روش مناسب آبیاری، منطبق با کیفیت پساب ها و کنترل افراد در معرض تماس (یارقلی، ۱۳۸۹).

استفاده از پسابها (فاضلابهای تصفیه شده) در کشاورزی مزایای متعددی را به همراه دارد که در بسیاری از مقالات به آن اشاره شده است و مهمترین آنها عبارتند از:

فراهم نمودن یک منبع آب ارزان و دائمی، کاهش هزینه‌های تصفیه، آزادسازی بخشی از منابع آب با کیفیت خوب برای سایر مصارف، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و اثرات زیست محیطی آنها و کاهش اثرات زیست محیطی دفع پساب به منابع آبی (دانش و علیزاده، ۱۳۸۷).

## ۲-۱ مبدأ و تاریخچه کشت سورگوم

بر اساس گزارش (دوخت، ۱۹۸۸)، سورگوم زراعی امروزی از سورگوم خودروی *Sorghum bicolor* به وجود آمده است. بیشترین تنوع جنس سورگوم متعلق به شمال آفریقا می‌باشد، محلی که اجداد گونه‌های امروزی با تعداد پنج کروموزوم، حدود ۵ تا ۶ هزار سال قبل در آنجا به وجود آمده‌اند. در حدود ۱۵۰۰ سال قبل از میلاد، سورگوم نوع گینه و دورا از آفریقا به جنوب عربستان و از آنجا به هندوستان منتقل شد. سورگوم در حدود ۷۰۰ سال قبل از میلاد از هندوستان به کشورهای مدیترانه‌ای و به خصوص ایتالیا برده شد. (المدرس و همکاران، ۱۳۸۷).

## ۱-۳ مشخصات گیاه‌شناسی و زراعی سورگوم

- سورگوم گیاهی از خانواده *Poaceae* و جنس *Sorghum* است که گونه‌های آن عبارتند از:
۱. سورگوم گیاهی از نوع وحشی و اولین بار در آفریقا پیدا شده و گیاهی است یک ساله و علفی.
  ۲. *Sorghum halopense* گیاهی چند ساله است.
  ۳. *Sorghum Vulgare* یا ذرت خوش‌های اصلاح شده که زراعت آن در سطح وسیع انجام می‌گیرد و کلیه ارقام آن یک ساله می‌باشند (rstگار، ۱۳۸۴).

نام علمی ذرت خوش‌های، *Sorghum bicolor* می‌باشد که ارتفاع آن از ۳ تا ۵/۴ متر متغیر و دارای ۷ تا ۲۰ میانگره است. در داخل مغز ساقه ذرت خوش‌های همچون ذرت، آوندهای چوبی و آبکش به طور نامنظم قرار گرفته‌اند (المدرس و همکاران، ۱۳۸۷).

### ۱-۳-۱ خصوصیات اندام‌های گیاهی سورگوم

الف) ساقه: سورگوم دارای یک ساقه است اما بر حسب واریته، جمعیت گیاهی و شرایط محیطی، توانایی پنجه‌زنی دارد. ساقه مستقیم محکم با پوسته سخت و مغز نرم می‌باشد. هر ساقه ممکن است آبدار یا خشک و شیرین یا بی‌مزه باشد (المدرس و همکاران، ۱۳۸۷).

ساقه ذرت خوش‌های تو پر می‌باشد. ارتفاع آن از  $\frac{4}{5}$  تا  $\frac{7}{10}$  متر متغیر و دارای ۷-۲۰ میان‌گره است. در داخل مغز ساقه ذرت خوش‌های همچون ذرت، آوندهای چوبی و آبکش به طور نا منظم قرار گرفته‌اند. شیره ساقه ذرت خوش‌های در برخی ارقام دارای ۱۸-۲۰ درصد مواد قندی است. از این ساقه‌ها شربت قند استخراج می‌گردد. ساقه ذرت خوش‌های آبدار و میزان شیره ساقه در بعضی ارقام به ۴۸-۳۳ درصد می‌رسد. بالا بودن شیره ساقه باعث افزایش مقاومت ذرت خوش‌های نسبت به ورس، بیماری‌ها و بالا رفتن ارزش علوفه‌ای آن می‌گردد (نور محمدی و همکاران، ۱۳۸۹).

ب) گل‌آذین: گل‌آذین سورگوم از نوع خوشه مرکب با یک محور اصلی است که کاملاً به وسیله انشعابات خوشه پوشیده شده و یا کاملاً رو باز است. طول گل‌آذین که دارای ۴۰۰ تا ۸۰۰۰ دانه می‌باشد، ممکن است به ۴ تا ۲۵ سانتی‌متر و عرض آن به ۲ تا ۲۰ سانتی‌متر برسد. محور گل‌آذین ممکن است به صورت بلند، کوتاه، ضخیم، نازک، خطدار، شیاردار، مودار و یا صاف و بدون مو یا چندین انشعاب در قاعده هر گره باشد (المدرس و همکاران، ۱۳۸۷). سنبلچه‌ها به صورت جفتی قرار می‌گیرند به طوری که یکی از آنها دارای دمگل و عقیم و دیگری بدون دمگل و بارور می‌باشد. یک گل‌آذین ذرت خوش‌های می‌تواند ۱۵-۷۵ میلیون گرده را آزاد نماید. این دانه‌های گرده بسیار ریز و مدت فعالیت آنها بسیار کوتاه و پس از چند ساعت قدرت فعالیت خود را از دست می‌دهند (نور محمدی و همکاران، ۱۳۸۹). بالاترین میان‌گره که دارای گل‌آذین است، پایک گل‌آذین نام دارد و همیشه طویل‌ترین میان‌گره است. خارج شدن دمگل از غلاف برگ باعث کم شدن امکان حمله بیماری‌ها و آفات به قسمت پایین گل‌آذین می‌گردد (المدرس و همکاران، ۱۳۸۷). گل‌آذین این گیاه خوش‌های مرکب بوده، اندازه و شکل آن متغیر است (کوچکی، ۱۳۸۶).

پ) برگ‌ها: لبه‌های برگ زبر یا صاف بوده و نوک برگ‌ها ممکن است کرک‌دار باشد. برگ‌ها مستقیم و تقریباً افقی بوده و در حین افزایش عمر گیاه احنا پیدا می‌کنند. اپیدرم برگ با لایه‌ای از موم سفید

پوشیده شده است، این لایه‌ی سطحی مومی همراه با کوتینی شدن تلفات آب را کاهش می‌دهد (المدرس و همکاران، ۱۳۸۷).

ت) غلاف برگ: غلاف برگ ساقه را احاطه کرده و غالباً حاشیه‌های آن همپوش هستند. پودری سفید رنگ و مومی در غلافهای بالایی وجود دارد. این موم در قسمت‌های زیر پهنه‌کهای برگ وجود دارد که به مقاومت گیاه در مقابل تنفس رطوبتی کمک می‌کند (المدرس و همکاران، ۱۳۸۷).

ث) ریشه: ریشه معمولاً ۱-۱/۳ متر در خاک نفوذ کرده، ولی ۸۰ درصد آن در عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک می‌باشد. سیلیکای ذخیره شده در درون پوست ریشه احتمالاً باعث محکم شدن ریشه در خاک شده و آن را قادر به تحمل فشار زیاد در خلال تنفس خشکی می‌نماید. سورگوم‌های زراعی بدون ریزوم بوده یا ریزوم محدودی دارند و لذا بیشتر یکساله هستند (المدرس و همکاران، ۱۳۸۷).

سورگوم دارای سیستم ریشه گسترده و افشاران تری نسبت به ذرت می‌باشد. سیستم ریشه‌ای گسترده که باعث می‌شود رطوبت قابل استفاده از خاک را جذب کند می‌تواند توانایی سورگوم را برای تحمل تنفس خشکی توضیح دهد (راشدمحصل و همکاران، ۱۳۷۶).

### ۲-۳-۱ انواع سورگوم

این محصول انواع مختلفی دارد و از نقطه نظر مصرف به چهار گروه شیرین، دانه‌ای، علوفه‌ای و جارویی تقسیم‌بندی می‌شود (مارتین، ۱۹۸۶)

### ۳-۱ ارقام سورگوم علوفه‌ای

ارقام مهم سورگوم شامل: رقم شوگرگریز (Pacific Sugargraze)، رقم جامبو (Jumbo)، رقم اسپیدفید (Speedfeed) و ارقام محلی می‌باشد (نور محمدی و همکاران، ۱۳۸۹).

مشخصات رقم اسپیدفید (Speedfeed): این گیاه دو ماه پس از کاشت به گل می‌رود (زود گل). به علت میزان برگ و ساقه، مناسب چرای دام به خصوص گاو می‌باشد. در ارتفاع بالای یک متر می‌توان برداشت گیاه را از ارتفاع ۵ سانتی‌متری بالای خاک انجام داد و از علوفه برداشت شده به صورت علوفه تر، خشک و سیلو شده استفاده نمود. میزان پروتئین در این گیاه ۸-۱۶ درصد است. تعداد چین در این رقم ۳-۵ چین در سال می‌باشد. این رقم سریع‌الرشد می‌باشد و در شرایط مناسب به میزان ۲-۵ سانتی‌متر در روز می‌تواند رشد کند. در صورتی که به گیاه اجازه رشد داده شود، به سرعت به ارتفاع ۲ متری و خوش‌دهی می‌رسد. همچنین اسید پروسیک این رقم پایین است. مناطق مناسب کشت

رقم اسپیدفید در ایران مناطق معتدل و سردسیر کشور از جمله کرج، شهرکرد، زنجان، ارومیه، سمندج، رشت، ساری، همدان و مشهد است (نور محمدی و همکاران، ۱۳۸۹).

#### ۴- کودهای بیولوژیک و اهمیت آن

افزایش قیمت نهاده‌های کشاورزی و به ویژه کودهای شیمیایی در سال‌های اخیر، تولید محصولات کشاورزی را تحت تاثیر قرار داده است. با بروز این وضعیت استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی برای تولید بیشتر فاقد توجیه اقتصادی و زیست محیطی است. بدیهی است مخاطرات زیست محیطی ناشی از مصرف این کودها، تخریب و تراکم خاک‌ها و کاهش مقدار ماده آلی خاک نیز نقش مهمی در این رویکرد داشته است (قربانی‌جاوید و بینش، ۱۳۹۵).

از آنجا که برداشت محصولات به تدریج باعث کاهش مواد غذایی خاک می‌شود، بشر از دیر هنگام به فکر جبران کمبود مواد غذایی خاک بوده و در گذشته، کودهای آلی بقایای گیاهی و فضولات حیوانی را به کار برده است. اما چون تولید زیاد این کودها امکان‌پذیر نبود و قادر به کنترل بیماری‌های مشترک بین انسان و حیوان نبودند، به استفاده از نسل دوم کودها، کودشیمیایی روی آورده، ولی آسیب‌های زیست محیطی و تغییر ساختار شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک، انسان را به فکر جایگزینی دیگری انداخت که در گام بعدی، نسل سوم کودها، کود بیولوژیک در غالب کشاورزی پایدار و کشاورزی ارگانیک پای به عرصه کشاورزی نهاد (عباس زاده، ۱۳۸۸).

امروزه کودهای بیولوژیک به عنوان یک جایگزین برای کودهای شیمیایی با هدف افزایش باروری خاک و تولید محصولات در کشاورزی پایدار محسوب می‌شوند (ویو و همکاران، ۲۰۰۵).

کودهای بیولوژیک، مواد نگه دارنده‌ای با انبوه متراکم یک یا چند نوع ارگانیسم مفید خاکزی و یا به صورت فرآورده متابولیک این موجودات می‌باشند که صرفاً برای تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، تولید می‌شوند. انواع رایج آن‌ها، مایه تلقیح‌های میکروبی هستند که با نام میکروارگانیسم مورد استفاده گیاه مورد تلقیح واقع شده و یا اکثرًا با اسمی خاص تجاری، برای فروش عرضه می‌شوند (عباس زاده، ۱۳۸۸).

کودهای بیولوژیک در مقایسه با مواد شیمیایی مزیت‌های قابل توجهی دارند از آن جمله این که در چرخه غذایی، مواد سمی تولید نمی‌کنند، قابلیت تکثیر خودبخودی دارند، باعث اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شوند، از نظر اقتصادی مقرنون به صرفه و از دیدگاه زیست محیطی قابل پذیرش هستند (معلم و عشقی زاده، ۱۳۸۶).

## ۱-۵ اثر کود بیولوژیک در حاصلخیزی خاک

اهمیت قارچ‌های میکوریزا در کشاورزی پایدار، اساساً به نقش این قارچ‌ها بعنوان عامل رابط بین گیاه و خاک مربوط می‌شود. این قارچ‌ها عامل انتقال مواد غذایی بین گیاه و خاک بوده و در حفاظت و تغذیه خاک همانند تغذیه گیاه تأثیر دارند. تأکید زیاد به اهمیت خاک در کشاورزی پایدار، سبب شده است که در مطالعات و روش‌های کاربرد قارچ‌های میکوریزا، دیدگاه جدیدی فراهم شود. هرچند که هنوز هم انتخاب قارچ‌های میکوریزا VM<sup>۱</sup> مناسب برای استفاده در کشاورزی، بیشتر با حدس و گمان صورت می‌گیرد (غلامی و کوچکی، ۱۳۸۰).

کودهای بیولوژیک منشأ طبیعی دارند و معمولاً از خاک تهیه می‌شوند، بنابراین سبب بهبود ساختمان خاک، افزایش محصول و کاهش آводگی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی و در نتیجه کاهش بیماری‌ها خواهد شد. در دهه گذشته مصرف کودهای شیمیایی، اثرات و پیامدهای زیست محیطی نامطلوبی نظیر آводگی آب و خاک و همچنین بروز مشکلاتی در خصوص وضعیت سلامت انسان‌ها و دیگر موجودات زنده را به همراه داشته است. بنابراین به نظر می‌رسد برای دستیابی به توسعه پایدار در کشاورزی و تحقق اهداف و سیاست‌های پیش‌بینی شده در راستای دستیابی به کشاورزی پایدار استفاده از راهکاری مناسب برای تأمین نیازهای غذایی گیاه به کمک موجودات زنده ساکن خاک ضروری خواهد بود که استفاده از کودهای بیولوژیک می‌تواند راهکار مؤثری برای این کار باشد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد مصرف کودهای بیولوژیک در کشاورزی قدمتی بسیار طولانی دارد. در گذشته تولیدکنندگان محصولات کشاورزی برای تقویت زمین‌های کشاورزی، گیاهی از تیره لگومینوز را کشت می‌کردند و بر این باور بودند که با کشت این گیاه میزان حاصلخیزی خاک افزایش پیدا می‌کند. بدون تردید استفاده از کود زیستی می‌تواند اثرات مطلوبی برای گیاه و خاک به همراه داشته باشد. در بسیاری از نوشهای تاریخی نیز کاشت گیاهانی نظیر شبدر و باقلای مصری به عنوان تقویت کننده خاک مورد تأیید قرار گرفته است. در حقیقت کود بیولوژیک، ماده نگهدارنده میکروارگانیسم‌های مفید خاک است که به صورت متراکم و به تعداد بسیار زیاد در یک محیط کشت تولید شده است. این نوع کود معمولاً به صورت بسته‌بندی شده در اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگرچه هدف اصلی از مصرف کودهای بیولوژیک، تقویت حاصلخیزی خاک و تأمین نیازهای

<sup>۱</sup>. Vesicular arbuscular

غذایی گیاه است، اما بدون تردید استفاده از این نوع کود می‌تواند اثرات مطلوبی برای گیاه و خاک به همراه داشته باشد (احمدزاده قویدل، ۱۳۹۱).

ارزش کود بیولوژیک به دلیل سه خاصیت مهم آن است:

۱. تغذیه‌ای و شیمیایی (از نظر میکروارگانیسم خاک)
۲. خواص فیزیکی
۳. بهبود خواص بیولوژیک

کودهای بیولوژیک وقتی به خاک داده می‌شود مانند یک کود NPK<sup>۱</sup> عمل می‌کند (۲۵ درصد - ۵ درصد - ۲۵ درصد)، یعنی برای هر مقدار، ۲۵ کیلو ازت و ۵ کیلو پنتا اکسیدفسفر و ۲۵ کیلو پتاس فوراً در اختیار گیاه قرار می‌دهد ولی همین فوراً در اختیار گیاه قرار می‌دهد ولی مهم‌تر آن است که همین مقدار ازت و پتاسیم و ۲۰ کیلو پنتا اکسید فسفر نیز در طول مدت طولانی به تدریج آزاد و آماده جذب گیاه می‌شود. غیر از سه عنصر پر مصرف اصلی، مقادیر چشمگیری از عناصر دیگر از جمله منیزیم و گوگرد و آهن و روی و مس و بر و غیره در اختیار گیاه گذاشته می‌شود. این کود از نظر تبدیل شدن به کود بیولوژیک در حال حاضر در هیچ کشور دنیا به این روش تولید نمی‌شود زیرا این نوع کود به صورت باکتری‌های مفید تولید می‌شود و چون خاک و هوا صورت می‌گیرد، آب باران در زمین فرو رفته که خود باران نیز دارای مقادیر زیاد نیتروژن است. به علاوه این نوع کود، فعل و انفعالات باکتری‌های مفید خاک و موجودات ذره‌بینی و محیط اطراف خود و تنفس تبادلات اکولوژیکی جانداران ذره‌بینی را مختل نمی‌کند و قادر مواد شیمیایی است و در نتیجه میکروارگانیسم خاک را تقویت می‌کند و در حاصلخیزی خاک نقش بسزایی دارد (چیتسازان و همکاران، ۱۳۹۱).

## ۱-۶ کاربرد کودهای بیولوژیک: مزیت‌ها و محدودیت‌ها

استفاده از این تولیدات میکروبی مزیت‌هایی نسبت به مواد شیمیایی متداول دارد، از جمله:

۱. مطمئن‌تر از بسیاری از مواد شیمیایی کنونی هستند.
۲. هیچ‌گونه مواد سمی یا میکروبی در چرخه غذایی وارد نمی‌کنند.
۳. تکثیر خودبه‌خودی این میکروب‌ها نیاز استفاده دائم و مکرر آن‌ها را مرتفع می‌سازد.

<sup>۱</sup>. Nitrogen, Phosphorus, Potassium

۴. ارگانیسم‌های هدف مقاومت خود را به مواد سمی که برای از بین بردن آفات استفاده می‌شوند، گسترش می‌دهند.

۵. کنترل بیولوژیکی گسترش یافته در اثر استفاده از این مواد، اثر زیان بخشی بر پروسه‌های اکولوژیکی ندارند (وو و همکاران، ۲۰۰۵).

استفاده از کودهای بیولوژیکی دارای مشکلاتی مثل عدم سهولت در استفاده و عدم پاسخ سریع و اقتصادی، حساسیت موجودات زنده به شرایط محیطی، پیچیدگی روابط بین میکرووارگانیسم‌ها و واکنش‌های آنتاگونیسمی می‌باشد (علم و عشقی زاده، ۱۳۸۶).

تأمین عناصر غذایی به صورتی کاملاً متناسب با تغذیه طبیعی گیاهان، کمک به تنوع زیستی، تشدید فعالیت‌های حیات، بهبود کیفیت و حفظ سلامت محیط زیست و در مجموع حفظ و حمایت از سرمایه‌های ملی خاک، آب، منابع انرژی غیر قابل تجدید، از مهم‌ترین مزایای کودهای زیستی محسوب می‌شود (شارما، ۲۰۰۲).

## ۱-۷ انواع کودهای بیولوژیک

میکرووارگانیسم‌های خاک در چرخه عناصر غذایی نقش مهمی دارند و در فرایند تجدید پوشش گیاهی نیز نقش به سزاگی ایفا می‌کنند (اسمیت و همکاران، ۲۰۱۰). پژوهش‌ها نشان داده است که خصوصیات خاک بر جامعه میکروبی خاک تاثیر داشته به طوری که باکتری‌های خاک به شدت تحت تاثیر واکنش خاک می‌باشند ولی جمعیت قارچ‌ها به ندرت تحت تاثیر آن قرار می‌گیرند. قارچ‌ها در خاک بسیار متنوع هستند قارچ‌ها به علت فعالیت‌های مختلف گروه بسیار جالبی هستند. در یک خاک حاصلخیز ممکن است طول رشته‌های قارچی از ۱۰-۱۰۰ متر در هر گرم متغیر باشد (فللاح و همکاران، ۲۰۰۹).

الف- با توجه به نوع میکرووارگانیسم‌ها، کودهای زیستی را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی کرد (چیتسازان و همکاران، ۱۳۹۱):

- کودهای زیستی باکتریایی (ریزوبیوم، ازتوباکتر، آزوسپریلیوم و غیره)
- کودهای زیستی قارچی (میکوریزا)
- کودهای زیستی جلبکی (جلبک‌های سبز-آبی و آزوا)
- کودهای زیستی اکتینومیست‌ها (فرانکیا)

ب- با توجه به اعمالی که میکروارگانیسم‌ها انجام می‌دهند کودهای زیستی به شرح زیر تقسیم بندی می‌شوند (چیتسازان و همکاران، ۱۳۹۱):

- ثبیت‌کننده‌های ازت مولکولی
- فارچه‌ای میکوریزا
- میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات‌های نامحلول
- باکتری‌های ریزوسفر محرک رشد
- میکروارگانیسم‌های تبدیل کننده مواد آلی زايد به کمپوست (EM)<sup>۱</sup>
- کرم‌های خاکی تولید کننده ورمی کمپوست

## ۱-۸ جنبه‌های زیست شناختی میکوریزا

ریشه گیاه و ریزوسفر، زیستگاه مناسبی را برای فعالیت بسیاری از میکروارگانیسم‌های خاک فراهم می‌نماید. همزیستی میکوریزایی از رایج‌ترین و سابقه‌دارترین رابطه همزیستی در سلسله گیاهان است، انواع میکوریزاها از نظر کشاورزی اهمیت فوق العاده زیادی دارد و به عنوان یک کود زیستی برای افزایش محصولات کشاورزی با اهمیت می‌باشد، زیرا ریشه اغلب گیاهان مرتعی، زراعی و باغی با میکوریزا همزیست هستند (شارما و جوهري، ۲۰۰۲؛ نوربخش و حاج عباسی، ۱۳۷۸). قارچ مایکوریزا آربوسکولار پیش از تسلط بر توده قارچی در زمین‌های زراعی، برای کسب مواد مغذی از طریق تکثیر میسلیوم در خاک سطحی گسترش ایجاد می‌نماید. میسلیوم این قارچ برای رشد گیاه دارای اهمیت حیاتی است. به طور مثال می‌توان به صفت‌های مفیدی هم چون تجزیه مواد آلی، انتقال مواد مغذی به گیاه میزبان، تشکیل دانه بندی خاک و سرکوب پاتوژن اشاره کرد. قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار در مقایسه با سایر مواد آلی از اهمیت و تأثیر بیشتری برخوردارند، به طوری که حتی در نسبت مساوی با آن‌ها، اثرگذارتر بوده و به طور قابل ملاحظه‌ای در تنظیم آب و کسب مواد مغذی توسط گیاه میزبان کمک نموده و تطابق میزبان با محیط (خاک) اطراف آن را فراهم می‌نماید (مبصر و همکاران، ۱۳۹۳). اگرچه این قارچ قادر است مزایای چندگانه دیگری را به گیاه میزبان ارائه نماید در برخی موارد نیز می‌تواند رشد آن را کاهش دهد (لرات، ۲۰۰۳).

میکوریزا از با اهمیت‌ترین قارچ‌های موجود در اغلب خاک‌های تخریب نشده است. برآورد می‌شود حدود ۷۰ درصد از توده زنده جامعه میکروبی خاک را میسلیوم این قارچ تشکیل می‌دهد. اصطلاح میکوریزا در واقع از دو کلمه تشکیل شده است. یکی کلمه یونانی Mikes به معنی قارچ و دیگری

<sup>۱</sup>. Effective Micro – Organisms

کلمه‌ای با ریشه‌ای لاتین Rhiza که به معنی ریشه می‌باشد. کارکرد همزیستی قارچ میکوریزا این است که منبع کافی کربوهیدرات برای قارچ همزیست فراهم شود. در مقابل ایجاد همزیستی فواید متعددی را برای گیاه در گیر در پی دارد که شامل بهبود تغذیه و جذب آب، جذب کربن اضافی، افزایش ظرفیت انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی، افزایش تولید فیتوهورمون‌ها، بهبود مقاومت در مقابل عوامل بیماریزا و تحمل در برابر فلزات سنگین است (گندمکار و همکاران، ۱۳۸۹).

میکوریزا دارای انواع مختلف اندومیکوریزا، اکتومیکوریزا، اکتندومیکوریزا، اربونوئید، مونوتروپوئید، اریکوئید و اورکید می‌باشد. همزیستی بین ریشه و قارچ‌های میکوریزا، برای هر دو مفید بوده و در تأمین مواد غذایی مورد نیاز به همدیگر کمک می‌کنند. پراکندگی اکولوژیکی قارچ‌های میکوریزا و توزیع آن‌ها در خاک مناطق مختلف تحت تاثیر شرایط مختلف قرار می‌گیرد و در صورتی که گیاه میزبان مناسب خود را بیابند با آن همزیست می‌شوند. اثرات مفید قارچ‌های میکوریزا بر حسب نوع گیاه، نوع قارچ همزیست و شرایط محیطی متفاوت است و ممکن است یک قارچ میکوریزا در یک شرایط محیطی یا با یک گیاه معین بهتر از شرایط دیگر یا با گیاه دیگر همزیستی کند و اثرات بیشتری بر گیاه میزبان داشته باشد. رابطه همزیستی قارچ‌های میکوریزا و ریشه گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک، خاک‌های شور و کمبود فسفات اهمیت بیشتری دارد (شریفی، ۱۳۷۸). تعداد محدودی از گیاهان زراعی قادر به تشکیل سیستم میکوریزایی نیستند و بیشتر این گیاهان نظریجنسهای *Brassica*، *Sinopsis* از خانواده شببو و از خانواده اسفناجیان جنس *Beta* و از خانواده علف هفت‌بند جنس *Fagopyrum* می‌باشند (بارئا و همکاران، ۲۰۰۵؛ پلنچت و دوپونیس، ۲۰۰۵). از این میان، انواع اندومیکوریزا از نظر برقراری همزیستی با گیاهان زراعی اهمیت و کارایی بیشتری دارند که بر حسب گیاه میزبان و ساختمان زیست شناسی، آلودگی قارچ به سه دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از میکوریزای وزیکولار – آرباسکولار، میکوریزای اریکاسه و میکوریزای ارکیداسه که در این میان میکوریزای وزیکولار – آرباسکولار (VAM)<sup>۱</sup> مهم‌تر بوده (کوتهاماسی و همکاران، ۲۰۰۱) و روی تعداد زیادی از گیاهان زراعی و باغی فعالیت می‌نماید (رجالی، ۱۳۸۴؛ اردکانی، ۱۳۷۹).

## ۹-۱ نقش قارچ میکوریزا در کشاورزی پایدار

کشاورزی پایدار نوعی کشاورزی است که از به کار بردن نهاده‌های سنتزی مانند کودهای شیمیایی به علت تأثیر منفی بر تعادل زیستی اجتناب می‌کند اما از تناب نهاده‌های آلی برای ایجاد چرخه برای تأمین عناصر غذایی استفاده می‌کند (کwoo و همکاران ۲۰۰۴). از این رو کشاورزی پایدار از طریق

<sup>۱</sup>. Vesicular arbuscular Mycorrhiza

جایگزینی مواد شیمیایی با کودهای آلی و زیستی در صدد افزایش حاصلخیزی و سلامت خاک حفظ محیط زیست و افزایش کیفیت محصولات می‌باشد (ابهین مستو و همکاران، ۲۰۰۶).

یکی از مهمترین ترین آثار قارچ‌های میکوریزا، بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی به ویژه در شرایط حاصلخیزی ضعیف خاک‌ها است. به ویژه در آن اراضی که فسفر محلول در خاک آنها کم بوده یا در اثر خشکی حلالیت عنصر فسفر بسیار کاهش یافته باشد. این افزایش عملکرد ممکن است به دلیل افزایش سطح جذب ریشه‌ها از طریق نفوذ میلیسیوم قارچ در خاک و برای دسترسی گیاه زراعی به حجم بیشتری از خاک باشد. در چنین شرایطی جذب عناصر غذایی پر مصرف به ویژه فسفر و برخی عناصر ریزمغذی نظیر مس، روی و منگنز و نیز مقاومت به تنفس‌های محیطی افزایش می‌یابد (غلامی، ۱۳۷۸؛ صالح‌راستین، ۱۳۸۰؛ شارما، ۲۰۰۲). همچنین در بسیاری از تحقیقات انجام گرفته در سیستم‌های کشاورزی پایدار اهمیت و تاثیر همزیستی میکوریزایی بر افزایش جذب آب، تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش مقاومت گیاه نسبت به عوامل بیماری‌زا تاثیر بر روی دانه‌بندی خاک، کاهش آسیب‌های ریشه‌ای در هنگام جابجایی نشاها و تشديد فعالیت‌های مفید زیستی در خاک از طریق تاثیر مثبت بر روی برخی ریزجاذaran خاکزی، مورد تاکید و تایید قرار گرفته است (رجالی و همکاران، ۱۳۸۴؛ صالح‌راستین، ۱۳۸۰؛ شارما، ۲۰۰۲).

## ۱۰- فاضلاب

فاضلاب یا گنداب عبارت است از آب استفاده شده‌ای که برای مصرف خاص قابل استفاده مجدد نیست یا به عبارتی کیفیت آن پایین‌تر از قبل از استفاده از آن می‌باشد. این آب دارای مقادیری فضولات جامد و مایع است که از خانه‌ها، خیابان‌ها، شستشوی زمین‌ها و در مجموع ناشی از فعالیت‌های انسانی نظیر سرویس‌های بهداشتی، صنایع و کشاورزی است. چون این آب اغلب ناپاک و دارای بوی ناخوشایند است گنداب نیز نامیده می‌شود (حاتمی و همکاران، ۱۳۹۴). فاضلاب محلول رقیقی است که ۹۹/۹ درصد آن آب و ۰/۱ درصد آن را مواد جامد تشکیل می‌دهد. که بخشی از آن مواد آلی و بخش دیگر مواد معدنی به حالت محلول یا معلق در آب است. بوی نامطبوع فاضلاب اغلب به علت مواد آلی موجود در آن است. اجزاء تشکیل دهنده فاضلاب عبارت است از: ازت، فسفر، پتاسیم، نمک‌ها، عناصر ناچیز (فلزهای سنگین) و عوامل بیماری‌زا می‌باشد. ازت، فسفر و پتاسیم از عمدۀ مواد معدنی هستند که برای رشد و تکثیر گیاهان ضروری هستند. عناصر ناچیز به عناصری گفته می‌شود که غلظت آنها در خاک به طور معمول خیلی کم است (کبات، سدیم، بور، نیکل، وانادیم، مس، روی، آهن و منگنز و غیره) این عناصر را ریزمغذی نیز می‌نامند، زیرا مقادیر کم آنها برای گیاه ضروری و مقادیر

بیشتر آنها برای گیاه سمی است. نمک‌ها شامل طیف گسترده‌ای از ترکیبات هستند. کاتیون‌هایی مثل سدیم، کلسیم، منیزیم و پتاسیم و آనیون‌هایی مثل کربنات، نیترات، کلر، سولفات و بیکربنات، که با افزایش هدایت الکتریکی خاک، اثر مشترکی به نام شوری بر خاک می‌گذارند (شیدایی، ۱۳۹۲).

جدول ۱-۱. برخی از اجزاء اصلی فاضلاب‌های شهری (وایر و همکاران، ۱۴۰۰؛ استات و کرافت، ۱۴۰۳؛ حسین و همکاران، ۱۴۰۲)

نوع	منبع	اثر
مواد اکسیژن خواه	غالباً مواد آلی (به خصوص فضولات اکسیژن محلول در آب را مصرف می‌کند)	برای زندگی آبزیان سمی است
مواد آلی غیر قابل تجزیه (فلن‌ها، آفتکش‌ها و غیره)	فضولات صنعتی، محصولات خانگی	عامل ایجاد بیماری هستند
ویروس‌ها و باکتری‌ها	فضولات انسانی	برای زندگی برخی آبزیان سمی است
شوینده‌ها	شوینده‌های مورد مصرف خانگی	غذی شدن (اتروفیکاسیون) آب‌های سطحی که موجب رشد سریع گیاهان آبزی می‌شود
فسفات‌ها	شوینده‌ها	برای زندگی برخی آبزیان سمی است
چربی و روغن	فضولات ناشی از آشپزخانه‌ها و صنایع	مسوم کننده برای دام و انسان
فلزات سنگین	فضولات صنعتی و آزمایشگاه‌های مواد شیمیایی	تجزیه و فساد بازمانده‌های حیوانی و انسانی، تولیدات صنعتی، روانآب و شدن (اتروفیکاسیون) آب‌های سطحی که موجب رشد سریع گیاهان آبزی می‌شود
نیترات	سختی گیرها و فاضلاب صنعتی	افراش شوری آب و خاک
ذرات (جامدات معلق)	ذرات آلی و معدنی	گرفتگی قطره چکان‌ها، گرفتگی روزنه‌های خاک، کاهش نفوذ آب به خاک و کاهش راندمان آبیاری

## **۱-۱۰-۱ فاضلاب خام**

هر نوع ماده زاید مایع حاصل از فعالیت‌های شهری و صنعتی بدون طی مراحل تصفیه فاضلاب خام نامیده می‌شود (شیدایی، ۱۳۹۲).

## **۱-۱۰-۲ فاضلاب تصفیه شده**

این فاضلاب‌ها دربرگیرنده فاضلاب‌های تصفیه شده شهری و صنعتی می‌باشد که حداقل یک مرحله تصفیه اعم از فیزیکی، شیمیایی و زیستی را طی کرده باشند (شیدایی، ۱۳۹۲).

## **۱-۱۱ طبقه‌بندی فاضلاب‌ها**

### **۱-۱۱-۱ فاضلاب‌های خانگی**

به هر نوع ماده زاید مایع حاصل از فعالیت‌های عادی شهرها و روستا فاضلاب خانگی اطلاق می‌شود (شیدایی، ۱۳۹۲).

### **۱-۱۱-۲ فاضلاب‌های صنعتی**

به هر نوع ماده زاید مایع حاصل از فعالیت‌های واحدهای صنعتی فاضلاب صنعتی اطلاق می‌شود. فاضلاب‌های صنعتی، فاضلاب‌هایی هستند که از صنایع مختلف حاصل می‌شوند و نسبت به نوع صنایع ترکیبات شیمیایی مختلفی دارند (شیدایی، ۱۳۹۲).

### **۱-۱۱-۳ فاضلاب‌های سطحی**

فاضلاب‌های سطحی ناشی از بارندگی، ذوب یخ‌ها و برف‌های نقاط بلند است (شیدایی، ۱۳۹۲).

### **۱-۱۱-۴ فاضلاب‌های کشاورزی**

در این فاضلاب‌ها، سموم کشاورزی مانند هیدروکربن‌های هالوژنه، DDT، آلدرين و ترکیبات فسفردار نظیر پاراتیون وجود دارد (شیدایی، ۱۳۹۲).

## ۱۲-۱ ویژگی های پساب ها و فاضلابها

### ۱-۱۲ خصوصیات فیزیکی

خصوصیات فیزیکی شامل درجه حرارت، رنگ، بو، مواد شناور و مواد آلی می باشد و از نظر کشاورزی به لحاظ تأثیرگذاری بر خواص فیزیکی خاک مانند تهویه، نفوذپذیری و غیره مهم است. اهمیت درجه حرارت از آن جهت است که با افزایش دمای پساب از میزان اکسیژن محلول آن کاسته می شود. درجه حرارت فاضلاب معمولاً از درجه حرارت آب در همان محیط بیشتر است و غالباً در سرددترین روزهای سال از ۱۰ درجه سانتی گراد کمتر می گردد. مواد معلق موجود در فاضلاب قسمتی از کل مواد جامد موجود در آن را تشکیل می دهد و برای پیش بینی مقدار لجن تولید شده اهمیت زیادی دارد (هیأت تحریریه، ۱۳۷۰).

### ۱-۲ خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی

از جمله عوامل و فاکتورهایی که باید در تعیین خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی پساب ها و فاضلاب ها در نظر داشت درجه اسیدی (pH)، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD)<sup>۱</sup>، اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)<sup>۲</sup>، و میزان عناصر مختلف از جمله نیتروژن، فسفر، سدیم و دیگر عناصر و نیز عناصر سنگین و سمی است. pH پساب های خانگی تازه، معمولاً حالت خنثی یا متمایل به قلیایی دارند، ولی پساب های صنعتی دارای درجه اسیدی بالاتر نسبت به پساب های شهری هستند (هیأت تحریریه، ۱۳۷۰).

اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD) یک فاضلاب، پساب یا آب آلوده عبارت است از میزان اکسیژن مورد نیاز میکروارگانیسم ها برای اکسیداسیون بیوشیمیایی مواد آلی موجود در آن. بدیهی است بالابودن BOD پساب نشانگر آلودگی بیشتر آن خواهد بود. اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) یک فاضلاب، پساب یا آب آلوده عبارت است از میزان اکسیژن مورد نیاز برای اکسیداسیون مواد قابل اکسیداسیون موجود در آن (دانشور، ۱۳۷۱). نیترات، نیتریت، آمونیاک، فسفر و عناصر دیگر و املاح از جمله عوامل دیگری است که باید در یک پساب قبل از استفاده در کشاورزی مورد بررسی و اندازه گیری قرار گیرند. تفاوت فاضلاب و پساب به عنوان یک منبع آب آبیاری، با منابع طبیعی دیگر مانند آب چاه، قنات و رودخانه بیشتر مربوط به فلزات سنگین و نادر می باشد که این عناصر از منابع مختلف بویژه صنایع تولید می گردد. این بدان معنی است که در فاضلاب های صنعتی به غیر از مواد آلی فاسد

<sup>۱</sup>. Biochemical Oxygen Demand

<sup>۲</sup>. Chemical Oxygen Demand

شدنی، مواد معدنی نیز وجود دارد که به محض ورود با اکسیژن ترکیب شده و سبب کاهش اکسیژن محلول می‌گردد. اولین قدم در تشخیص آلودگی پساب و فاضلاب، شناخت و بررسی BOD می‌باشد. با این عمل میزان مواد آلی موجود در فاضلاب و پساب مشخص می‌گردد. از نسبت  $\frac{BOD}{COD}$  جهت شناسایی فاضلاب برای تصفیه بیولوژیکی استفاده می‌شود. چنانچه این نسبت ۱/۵ تا ۲ باشد تمام مواد آلی، قابل تجزیه بوده و هرچه این نسبت افزایش یابد قدرت تجزیه بیولوژیکی فاضلاب کاهش خواهد یافت (شريعی، ۱۳۷۳).

### ۱-۱۳ کاربرد پساب در آبیاری و رعایت استانداردهای بین المللی

برای استفاده مجدد پساب‌ها در کشاورزی استانداردهای مختلفی وجود دارد. هدف اصلی و اولیه از استاندارد کردن پساب‌های شهری جلوگیری از شیوع بیماری‌های آبزیست و در پساب‌های صنعتی نیز هدف از استاندارد کردن پساب پایین آوردن مقدار عناصر سمی است زیرا در این گونه پساب‌ها امکان کمتری برای وجود موجودات زنده در آن وجود دارد البته این نکته را باید در نظر داشت که میزان خسارت وارد شده از طریق پساب به عواملی چون نوع گیاه، بافت خاک و اقلیم منطقه بستگی دارد (آیرس، ۱۹۸۵).

### ۱-۱۴ بررسی اثرات زیست محیطی استفاده از پساب‌ها

#### ۱-۱۴-۱ کلی فرم

یکی از شاخص‌های اساسی در کاربرد فاضلاب تصفیه شده در آبیاری، غلظت ارگانیسم‌های مذفووعی و باکتری‌های کلیفرمی می‌باشد. اصطلاح کلی فرم به گروهی از باکتری‌های خانواده انتروباکتریاسه (باکتری‌های روده‌ای) گفته می‌شود که دارای توانایی خاصی در تخمیر قند لاکتوز باشند. کلی فرم‌ها باکتری‌هایی هستند که همیشه در مجرای گوارشی حیوانات و انسان حضور دارند و در زباله‌ها و همچنین در گیاهان و مواد روغنی نیز یافت می‌شوند. کلی فرم مذفووعی که یک زیر شاخه از باکتری کلی فرم کل است، شامل چندین گونه از باکتری کلی فرم است که در روده و مذفووع حیوانات خونگرم وجود دارد. از مهمترین باکتری‌های کلی فرمی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود (نقل از سایت).

- سیتروباکتر (Citrobacter): یک باکتری گرم منفی و از خانواده انتروباکتریاسه است. گونه‌های *C.freundu* و *C.koseri* از سیترات‌ها به عنوان منبع کربن استفاده می‌کنند و به خاطر توانایی‌شان در تبدیل تریپتوفان به اندول، تخمیر لاکتوز و مصرف مالونات (Malonate) قابل تشخیص هستند.

• انتروباکتر (Entrobacter): باکتری گرم منفی، بی‌هوای اختیاری و میله‌ای شکل از خانواده انتروباکتریاسه است. بیشتر سویه‌های این باکتری پاتوژن می‌باشند و در شرایط مناسب عفونت‌های مجاری ادراری و دستگاه تنفسی را سبب می‌شوند. دو گونه مهم این جنس شامل عفونت‌های E.aerogenes و E.cloacae می‌باشند.

• اشرشیا (Escherichia): باکتری گرم منفی بدون اسپور، بی‌هوای اختیاری، میله‌ای شکل از خانواده انتروباکتریاسه می‌باشد که محل سکونت آن معده و روده حیوانات خونگرم می‌باشد و بخشی از ویتامین K میزبان را فراهم می‌کنند و به دلیل اینکه قابلیت تخمیز لاکتوز را در دمای ۴۴ درجه سانتی‌گراد دارند از سایر باکتری‌های خانواده انتروباکتریاسه متمایز می‌شود.

در مطالعات اخیر ارتباط ژنتیکی بین اشرشیاکلی و شیگلا مشخص شده است. به طوری که بررسی تشابه DNA نشان داده است که جنس شیگلا شباهت زیادی به اشرشیا کلی دارد.

• کلبسیلا (Klebsiella): باکتری گرم منفی و اکسیداز منفی فاقد حرکت و میله‌ای شکل همراه با کپسول پایه‌ای پلی‌ساقاریدی حساس و برجسته است که عمدهاً پاتوژن انسان می‌باشند. توانایی بالایی در بیماری‌زایی دارند و از جمله بیماری‌هایی که ایجاد می‌کنند شامل: پنومونی، عفونت مجرای ادراری، سپتی سمی، عفونت‌های بافت نرم و غیره می‌باشد.

• سراتیا (Serratia): گرم منفی و بی‌هوای اختیاری است و شاخص‌ترین گونه آن *S.marcescens* است. معمولاً پاتوژن است و به بستری در بیمارستان نیاز است. همچنین گونه‌های کمیاب *S.odoriferae* و *S.rubidaea* از موارد عفونت‌زا می‌باشند. این جنس با تولید رنگ دانه‌های قرمز و آنزیم DNase، لیپاز و ژلاتیناز از سایر گونه‌ها قابل تفکیک است.

## فصل دوم

### بررسی منابع

۱- اثرات تغذیه‌ای میکوریزا در گیاه میزبان

بروز مشکلات اقتصادی و زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و نیز توجه به قابلیت‌های ذاتی بسیار جالب و متنوع موجودات خاکزی و به ویژه ریزجандاران موجب گردیده که یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین زمینه‌های مورد تحقیق در مطالعات علمی روز، تلاش برای تولید کودهای بیولوژیک باشد. همچنین با توجه به واردات سالانه حدود ۵۰۰ هزار تن کود شیمیائی فسفاته، یافتن روشی که بتواند از مصرف بی‌رویه این کود بکاهد، ضروری به نظر می‌رسد (کریچنر، ۱۹۹۳). استفاده بهینه از منابع بیولوژیک نه تنها دارای اثرات مثبتی بر خصوصیات خاک می‌باشد بلکه از جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی نیز مفید بوده و می‌تواند جایگزین مناسبی برای نهاده‌های شیمیایی باشد (داد، ۲۰۰۰). اثر متقابل ریشه‌های ارگانیک می‌باشد (خرم‌دل و همکاران، ۱۳۸۷). این قارچ‌ها با فسفر توسط گیاه، به ویژه در سیستم‌های ارگانیک می‌باشد (خرم‌دل و همکاران، ۱۳۸۷). این قارچ‌ها با جذب فسفر موجب بهبود فتوسنتر و در نتیجه افزایش در محتوا و سازماندهی کلروپلاست‌های برگی گیاهان می‌شوند (سلوراج و چلفن، ۲۰۰۶). فارنورس و راکستون (۱۹۷۳)، گزارش کردند که کاربرد مقادیر مختلف کود بیولوژیک باعث افزایش مقدار پروتئین در سورگوم علوفه‌ای می‌شود. مهورز و چایچی (۲۰۰۸)، گزارش کردند که کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا به صورت منفرد و تلفیقی می‌تواند باعث افزایش درصد خاکستر و کاهش سرعت جذب خالص علوفه گیاه جو شود.

اورتاس (۱۹۹۶)، معتقد است، استفاده از قارچ میکوریزا سرعت رشد گیاه را افزایش داده و بر تخصیص و انتقال مواد بین ریشه و ساقه اثر می‌گذارد، به طوری که با جذب بیشتر عناصر غذایی و انتقال آن‌ها موجب افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی می‌گردد (کلارک و زتو، ۲۰۰۲). نتایج مطالعه رای و همکاران (۲۰۰۱)، نشان داد که همزیستی با میکوریزا علاوه بر افزایش پارامترهای رشد، مراحل نمو گیاه دارویی (*Spilanthes calva*) را نیز تسريع می‌بخشد. همزیستی گیاهان با قارچ میکوریزا دارای اثرات مثبت بر کمیت و کیفیت گیاه می‌باشد. همزیستی با میکوریزا اثرات سوء ناشی از فقر عناصر غذایی و تنش‌های خشکی و شوری را کاهش می‌دهد و در نتیجه رشد گیاه، جذب عناصر غذایی نظیر نیتروژن، فسفر، برگشت‌پذیری پس از تنش و تحمل گیاه را افزایش می‌دهد (فرانکن، ۲۰۱۲).

تحقیقات متعدد نشان می‌دهد که فسفر، ازت، پتاسیم، روی، مس، گوگرد، کلسیم و آهن توسط سیستم میکوریزا جذب می‌شوند و به گیاه منتقل می‌شوند (بارئا و همکاران، ۲۰۰۵). بطور کلی مکانیسم جذب از طریق افزایش حجم خاک قابل دسترس توسط ریشه‌های قارچ است (آلتری، ۱۹۹۴). در بین عناصر غذایی بیشترین نقش مایکوریزا در جذب فسفر است. هنگامی که فسفر خاک در سطح پایینی باشد

سیستم میکوریزا جذب فسفر و در نتیجه رشد گیاه را به نحوه چشمگیری افزایش می‌دهد (رامبلی، ۱۹۷۳؛ لیندرمن، ۱۹۹۸). هیف‌ها قادر هستند که فسفات را از ۱۵ سانتی‌متری سطح ریشه تا چند سانتی‌متری عمق خاک زیر ریشه دریافت کنند. طبق اظهارات آلن و همکاران (۱۹۸۲) هر یک سانتی‌متر مکعب خاک دارای ۲ الی ۴ سانتی‌متر ریشه، ۱ تا ۲ متر تارهای کشنده و بیش از ۵۰ متر هیف می‌باشد. قسمت اعظم فسفر موجود در خاک غیر محلول و غیر قابل استفاده مستقیم گیاه است. مطالعات متعدد نشان داده است که میکوریزاها می‌توانند آنزیم فسفاتاز سنتز کنند و از این راه امکان دسترسی به فسفر را افزایش دهند. برخی از انواع میکوریزاها اسیدهای کلات کننده تولید می‌کنند و از این راه حلایلیت فسفر را برای جذب افزایش می‌دهند.

نقش میکوریزا در تعزیه ازته گیاه به دلیل دارا بودن ضریب پخش زیاد آن ناچیز است. افزایش جذب ازت بوسیله سیستم‌های میکوریزایی بخصوص در میکوریزاها بیرونی همزیست با گیاهان جنگلی مشاهده شده است. همچنین هیف‌ها در منافذی از خاک نفوذ می‌کنند که امکان نفوذ تارهای کشنده ریشه وجود ندارد (قطر تارهای کشنده حداقل ۲۰ میکرومتر است در حالیکه هیف‌ها حداقل ۱-۲ میکرومتر می‌باشند) بعلاوه هیف‌ها از راه افزایش سطح تماس یا از راه افزایش طول موثر ریشه جذب عناصر غذایی را به شدت افزایش می‌دهند (رانسکو و جکوبسن، ۱۹۹۹).

به نظر می‌رسد که اثر میکوریزا در کیفیت تولید، مرتبط با افزایش غلظت عناصر غذایی در دانه باشد (کهیلوتو و همکاران، ۲۰۰۱). افزایش جذب فسفر به وسیله میکوریزا، گره‌زایی به وسیله ریزوبیوم را افزایش می‌دهد و به طور غیر مستقیم عنصر نیتروژن را در گیاه افزایش می‌دهد (لکبرگ و کاید، ۲۰۰۵). همچنین تحقیقات نشان داده که قارچ‌های میکوریزا قادرند مقدار بیشتری از نیتروژن را به گیاه انتقال دهند (گووینداراجلو و همکاران، ۲۰۰۵) قارچ میکوریزا جذب عناصر دیگری مانند سولفور، بور، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، روی، مس، منگنز، آهن، آلومینیوم و سیلیوم را نیز افزایش می‌دهد (کلارک و زتو، ۲۰۰۰).

همزیستی میکوریزا در ریزوسفر، نقش واسطه‌ای را بین ریشه گیاه و توده خاک عهده‌دار است و به گیاه در جهت جذب آب و عناصر غذایی به ویژه (فسفر) از خاک کمک می‌نماید (خوازی و ملکوتی، ۱۳۸۰). نقش مهم میکوریزا تأمین فسفر گیاه می‌باشد (ریچاردسون و همکاران، ۲۰۰۷). قارچ‌های میکوریزا عنصر فسفر را در گیاهان افزایش می‌دهند مخصوصاً در شرایط کمبود فسفر (بارا و همکاران، ۲۰۰۸). تاواریا و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که ترشحات هیف‌های قارچ، فسفر را بیشتر از ترشحات ریشه حل کرده و در اختیار گیاه قرار می‌دهد. در این زمینه مطالعات زیادی نشان داده‌اند که بین

تراکم و طول هیف با جذب فسفر، بیوماس اندام هوایی گیاهان کلونیزه شده با میکوریزا همبستگی مثبت وجود دارد (اویو و همکاران، ۲۰۰۶). در بعضی موارد افزایش هیف با رشد گیاه همبستگی مثبت ندارد (اسمیت و همکاران، ۲۰۰۴). و در بعضی مواقع مخصوصاً در شرایطی که به زمین کود می‌دهیم میکوریزا نقش کمتری در بهبود جذب فسفر دارد (ریان و همکاران، ۲۰۰۵).

در پژوهش آریاگادا و همکاران (۲۰۰۷)، که بر روی گیاه دارویی اکالیپتوس انجام شد، مشاهده شد که کاربرد دو گونه قارچ میکوریزا به نام‌های *G. deserticola* و *G. mosseae* باعث افزایش قابل ملاحظه وزن خشک و غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در مقایسه با شاهد شد. در این تحقیق محققان دریافتند که همزیستی میکوریزایی از طریق ایجاد سیستم ریشه‌ای نازک‌تر و نفوذ آن به منافذ باریک خاک سبب بهبود جذب آب و عناصر غذایی پرمصرف شده است. جوشی و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای که بر روی گیاه دارویی بشقابی انجام دادند اظهار داشتند که تلقیح ریشه این گیاه با میکوریزا باعث افزایش رشد گیاه خصوصاً رشد ریشه شده است. در مطالعه‌ای دیگر که به همین منظور در ذرت صورت گرفت، مشاهده شد که گیاهان تلقیح شده با میکوریزا برتری محسوسی از نظر ارتفاع گیاهچه و غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم نسبت به شاهد داشتند (بستانی، ۱۳۹۴). اگرچه این قارچ دارای مزایای چندگانه دیگری برای گیاه است، اما در برخی موارد نیز می‌تواند رشد آن را کاهش دهد (لرات و همکاران، ۲۰۰۳).

## ۲-۲ تأثیر میکوریزا بر جذب فسفر توسط گیاه میزان

تحقیقات مختلفی نشان می‌دهد که آلدگی میکوریزی برای رشد و فعالیت گیاهان مفید بوده و یکی از فواید آن محلول‌تر نمودن ترکیبات کم محلول فسفر و برخی عناصر کم مصرف خاک است (صالح راستین، ۱۳۷۷). همزیستی میکوریزا در ریزوفسفر، نقش واسطه‌ای را بین ریشه گیاه و توده خاک عهده‌دار است و به گیاه در جهت جذب آب و عناصر غذایی به ویژه (فسفر) از خاک کمک می‌نماید (خوازی و ملکوتی، ۱۳۸۰). نقش مهم میکوریزا تأمین فسفر گیاه می‌باشد (ریچاردسون و همکاران، ۲۰۰۷).

قارچ‌های میکوریزا عنصر فسفر را در گیاهان افزایش می‌دهند مخصوصاً در شرایط کمبود فسفر (bara و همکاران، ۲۰۰۸). تاواریا و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که ترشحات هیف‌های قارچ، فسفر را بیشتر از ترشحات ریشه حل کرده و در اختیار گیاه قرار می‌دهد. در این زمینه مطالعات زیادی نشان داده‌اند که بین تراکم و طول هیف با جذب فسفر، بیوماس اندام هوایی گیاهان کلونیزه شده با میکوریزا همبستگی مثبت وجود دارد (اویو و همکاران، ۲۰۰۶). در بعضی موارد افزایش هیف با رشد گیاه همبستگی مثبت

ندارد (اسمیت و همکاران، ۲۰۰۴). و در بعضی مواقع مخصوصاً در شرایطی که به زمین کود می‌دهیم میکوریزا نقش کمتری در بهبود جذب فسفر دارد (ریان و همکاران، ۲۰۰۵). جانسون و همکاران (۲۰۰۴)، طی آزمایشی ابراز داشتند که میکوریزا با جذب فسفر و عناصر متحرکی هم چون مس و روی موجب افزایش رشد ذرت، سویا و سورگوم می‌شود. مطالعه خواساد و همکاران (۲۰۰۶) نیز که با استفاده از یک گونه قارچ میکوریزا در گیاه دارویی مرزنجوش انجام گرفته بود میان آن بود که زیست توده اندام هوایی، غلظت فسفر در برگ و مقدار انسانس تحت تاثیر قرار گرفت. همچنین آنها پی برند که بهبود تغذیه معدنی گیاه به ویژه فسفر از طریق همزیستی میکوریزایی موجب افزایش بارز میزان انسانس شده است. در تحقیق دیگری که به همین منظور بر روی نعناع انجام گرفت، فریتاس و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که تلقیح ریشه این گیاه با چهار گونه میکوریزا سبب افزایش محسوس میزان انسانس نعناع در مقایسه با تیمار شاهد شد. همچنین محققان یاد شده بهبود تغذیه معدنی گیاه به ویژه فسفر، که از طریق همزیستی میکوریزایی حاصل شده بود را به عنوان دلیل عمدۀ افزایش بارز میزان انسانس ذکر کردند و این در حالی است که کاربرد فسفر معدنی به تنها یک هیچ گونه تأثیری بر بهبود مقدار انسانس در نعناع نداشت.

گائور و همکاران (۲۰۰۰) طی آزمایشاتی نشان دادند که سبزی‌های گشنیز، شبليله و هویج تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزا وزیکولار آربوسکولار در یک خاک لوم-شنبه با کمبود مواد غذایی، در شرایط مزرعه، دارای وزن خشک ریشه و اندام هوایی بیشتری بودند. همچنین در گیاهان تلقیح شده کل جذب نیتروژن و فسفر نیز نسبت به گیاهان تلقیح نشده بیشتر بود.

### ۳-۲ نقش میکوریزا در بهبود جذب آب

در پژوهش‌های اولیه در مورد این که تأثیر قارچ‌های آرباسکولار میکوریزا در روابط آبی گیاه به اثرات مستقیم این قارچ‌ها در وضعیت تغذیه‌ای فسفر گیاه نسبت داده شده است (سفیر و همکاران، ۱۹۷۲). ولی گزارش‌های متعدد دیگر نشان می‌دهد که اثرات این قارچ‌ها بر روابط آبی گیاه میزبان می‌تواند مستقل از وضعیت تغذیه‌ای فسفر باشد (بتلن فالوی، ۱۹۹۲).

کلونیزاسیون ریشه‌ها توسط قارچ‌های میکوریزا بر مکانیسم‌هایی مانند کنترل روابط آب و گیاه، هدایت هیدرولیکی ریشه، هدایت برگ، تبادل گازی برگ، توسعه برگ، تنظیم اسمزی و تولید هورمون‌های گیاهی اثر می‌گذارد (غلامی و کوچکی، ۱۳۸۰). شواهد بسیار زیادی وجود دارد که نشان‌گر این است که میکوریزا می‌توانند سبب تغییراتی در روابط آبی گیاه و بهبود مقاومت به خشکی و یا تحمل در گیاه میزبان شود (رامبلی، ۱۹۷۳؛ لیندرمن، ۱۹۸۸). بسیاری از محققین این خصوصیت را یک واکنش

ثانویه در نتیجه بهبود جذب عناصر غذایی می دانند. راثی پور (۱۳۸۱) روابط آبی گیاه را در سطوح مختلف غلظت فسفر مورد بررسی قرار دادند در این مطالعه مشخص شد که با افزایش میزان فسفر خاک تاثیر مفید میکوریزا کاهش می یابد و حداکثر تاثیر میکوریزا در سطوح پایین فسفر ظاهر می شود. میلر (۲۰۰۰) گزارش نموده است که در گیاهان میکوریزایی به دلیل افزایش فتوسنتز و تولید بیشتر مواد فتوسنتزی به ازای واحد آب مصرفی کارایی مصرف آب افزایش می یابد. گیاهان میکوریزایی به ازای تولید هر واحد ماده خشک آب کمتری مصرف می کنند. بنابراین کارایی مصرف آب (WUE)<sup>۱</sup> بالاتری دارند و در گیاهان میکوریزایی در شرایط تنفس خشکی محسوس تر است. تولید هورمون های گیاهی در ریشه تحت تأثیر آب خاک و یا قارچ های VAM قرار گرفته و می تواند عامل مهمی در شناخت اثرات VAM بر وضعیت آب در خاک و گیاه باشد و بر رشد گیاه و کارکرد آن در شرایط خشکی تأثیر داشته باشد (غلامی و کوچکی، ۱۳۸۰).

نتایج مطالعات انجام شده نشان می دهد که قارچ های میکوریزا در طی دوره تنفس خشکی با افزایش پتانسیل آب برگ (لدجل و همکاران، ۲۰۰۵)، افزایش سرعت مصرف دی اکسید کربن (عامریان و همکاران، ۲۰۰۱)، افزایش میزان تعرق و نیز افزایش میزان جذب آب در واحد زمان و در واحد طول ریشه گیاه میزان (بتلن فالوی و همکاران، ۱۹۸۸)، قادر است اثرهای تنفس خشکی در گیاه را کاهش دهند (کوتاری و همکاران، ۱۹۹۰).

#### ۴-۲ میکوریزا و اختصاص مواد فتوسنتزی

شواهد بسیار زیادی وجود دارد که گیاهان می توانند سرعت فتوسنتز خود را افزایش دهند تا نیازهای همزیست خود را تأمین نمایند این عمل از طریق افزایش سطح برگ و افزایش مقدار ثبیت  $\text{CO}_2$  به ازای واحد وزن برگ انجام می گیرد (والنتین و همکاران، ۲۰۰۶). گیاهان میکوریزایی در دوره های خشکی بهتر از گیاهان غیر میکوریزایی  $\text{CO}_2$  را جذب می نمایند. در مطالعات دیگری مشخص شد که جذب  $\text{CO}_2$  در حضور نور در گیاهان میکوریزایی بیشتر است لذا فتوسنتز بالاتری دارند. افزایش جذب  $\text{CO}_2$  در گیاهان میکوریزایی مربوط به کاهش مقاومت فاز مایع سلول های مزوپلی برای عبور  $\text{CO}_2$  می باشد (لیندرمن، ۱۹۸۸). آلن و همکاران بیان داشتند (۱۹۸۱) که با وجود انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به ریشه ها در گیاهان میکوریزایی این انتقال تاثیری بر وزن خشک نمی گذارد این محققین تایید کردند که بخشی از فتوسنتز اضافی در گیاهان میکوریزایی به وسیله خود میکوریزا مصرف می شود.

---

<sup>۱</sup>. Water Use Efficiency

## ۵-۵ میکوریزا و واکنش‌های مرفوفیزیولوژیکی

گاهی اوقات سیستم‌های میکوریزایی تغییرات مرفولوژیکی را در گیاه ایجاد می‌نمایند که سرانجام آن بهبود بقاء و رشد مناسب تر گیاه می‌باشد. کریشنا و همکاران و (۱۹۸۴) بیان داشتند که میکوریزا پیچش و زاویه برگها را تغییر می‌دهد و گیاه این واکنش را در جهت تنظیم و محدودیت جذب تشعشع و برقراری تعادل انرژی در برگ انجام می‌دهد. در این شرایط گیاهان غیرمیکوریزایی از زیبادی جذب تشعشع و گرما بشدت آسیب دیده و کاهش رشد نشان دادند. آلن و همکاران (۱۹۸۲) گزارش کردند که تغییرات هورمونی در گیاه با آلودگی میکوریزایی در ارتباط است و تغییرات مرفولوژیک برگ را در نتیجه واکنش به تغییرات هورمونهای گیاهی گزارش کردند. همچنین این دانشمندان در سال ۱۹۸۰ افزایش غلظت سیتوکنین را در برگ‌ها و ریشه گراس‌ها که همزیستی میکوریزایی داشتند گزارش کردند.

## ۶-۶ تأثیر میکوریزا بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاهان

قارچ‌های میکوریزا می‌توانند سنتز هورمون‌های رشد مثل ایندول بوتریک اسید و یا آبسیزیک اسید (ABA)<sup>۱</sup> را در گیاه کنترل نمایند. همچنین هیف این قارچ‌ها قادر به تولید این ماده می‌باشند. بنابراین قارچ‌های میکوریزا از طریق افزایش ABA در گیاه میزان می‌توانند هدایت روزنهای آن را تحت تأثیر قرار دهند (استرادا - لونا و همکاران، ۲۰۰۳) و هدر رفت آب گیاه را از طریق کاهش گشودگی روزنها کم کرده و بسته شدن روزنها سریع‌تر انجام شود. به نظر می‌رسد سلول‌های نگهبان روزنه، دارای گیرنده مخصوص ABA هستند که در دیواره بیرونی غشاء پلاسمایی آن‌ها قرار گرفته است. وجود این گیرنده و عمل آن باعث تغییر در باز شدن کانال‌های یونی شده و شیب پروتئین را فعال می‌نماید (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). این قارچ‌ها با ترشح اسیدهای آلی اگزالات که میل ترکیبی بیشتری با Ca, Fe و Al نسبت به P دارند، باعث آزاد شدن فسفر از ترکیب با این عناصر شده و فسفر آزاد شده را جذب می‌نمایند. اگزالات ترشح شده نهایتاً توسط اکتینومیست‌ها تجزیه شده و به CO<sub>2</sub> تبدیل می‌شوند. دی اکسید کربن حاصله از طریق کاهش pH در خاک‌های قلیایی مقدار بیشتری فسفر را از ترکیبات غیر محلول آن جدا کرده و به مصرف گیاه می‌رساند (رامن و ماهادوان، ۱۹۹۶).

خلیقی جمال آباد و خارا (۱۳۸۶) گزارش کردند میزان کلروفیل a و b در گیاهان گندم تلقیح شده با میکوریزا Glomus intraradices بالاتر از میزان آن در گیاهان شاهد بود. که احتمالاً بعلت وجود رابطه

<sup>۱</sup>. Abscisic acid

مثبت بین غلظت فسفر و مقدار کلروفیل در گیاهان میکوریزایی نقش قارچ میکوریزا در فراهم نمودن فسفر مورد نیاز گیاه بعنوان حامل انرژی در طی فتوسنتز تأیید می‌شود (دمیر، ۲۰۰۴). طی مطالعه‌ای اثر قارچ میکوریزا بر محتوی رنگیزهای فتوسنتزی گیاهچه‌های پراونش مورد بررسی قرار گرفت، نتایج بیانگر محتوی بالای کلروفیل a، b و کارتنوئیدها در گیاهان همزیست در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزی بود (رحمت‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲).

به منظور بررسی تأثیر کودهای زیستی بر روی خصوصیات کمی و کیفی آویشن باعی آزمایشی اجرا شد. در این پژوهش وزن تر و خشک اندام هوایی، شاخص سطح سبز برگ، فنل، فلاونوئید، پتاس، کلسیم و کارتنوئید تحت تأثیر کودهای زیستی تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (محمودی، ۱۳۹۱).

از جمله فعالیت‌های مفید این ریزجانداران می‌توان به تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه به ویژه اکسین‌ها، توانایی حل فسفات‌های آلی و معدنی، تولید سیدروفور، اثرات مثبت روی رشد و مورفولوژی ریشه، بهبود رابطه همزیستی با گیاه لگوم میزان و تحريك ایجاد همزیستی میکوریزی اشاره نمود. (سودا و همکاران، ۱۹۹۹). نتایج تحقیق شریفی و همکاران (۱۳۸۹) نشان داد که ریشه ریحان در دو کولتیوار با قارچ *Glomus etunicatum* بین ۶۰ – ۷۰ درصد همزیستی ایجاد نموده است. از طرفی تلقیح قارچ با ریشه گیاه به طور معنی‌داری سبب افزایش شاخص‌های رشدی، سطح برگ، کلروفیل a و b و فنول کل و آنتوسیانین در مقایسه با بوته‌های شاهد شد.

یکی دیگر از فواید میکوریزا افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده می‌باشد. نتایج تحقیقات نشان داده است که قارچ‌های میکوریزا قادر هستند که اثرات نامطلوب تنش خشکی را در گیاهان تعديل نمایند (آیگ، ۲۰۰۱). همزیستی قارچ میکوریزا با اغلب گیاهان تحت شرایط تنش خشکی باعث بهبود تولید در گیاهان از طریق جذب بیشتر عناصر غذایی غیر متحرک مانند فسفر، روی و مس می‌شود. به علاوه تحمل گیاهان به خشکی را از طریق بهبود جذب آب و پتانسیل آماس برگ، کنترل منافذ روزنده‌ای و تعرق، افزایش طول و عمق ریشه و توسعه هیف‌های انتهایی افزایش می-دهد (وامralی و همکاران، ۲۰۰۳؛ قاضی و زاک، ۲۰۰۳). نتایج تحقیق سانچز – بلانکو و همکاران (۲۰۰۳) بر روی گیاه رزماری تحت شرایط تنش خشکی نشان داد که تلقیح میکوریزا موجب افزایش زیست توده اندام هوایی و ریشه در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزای شد. همچنین موجب کاهش کمتر پتانسیل آب برگ و پتانسیل آب بنیادی و بهبود در فعالیت فتوسنتزی و هدایت روزنده‌ای و مقادیر بالاتری از محتوای کلروفیل برگ گیاهان تلقیح شده با میکوریزا نسبت به گیاهان غیر میکوریزای نشان داد.

دادهن و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیق خود بر روی تأثیر شوری بر میزان تحمل گیاه *Gmelina arborea* شاهد افزایش وزن تر و خشک، درصد بیشتری از کلونیزاسیون میکوریزا، تجمع بالاتری از پرولین و محتوای کلروفیل با افزایش سطح شوری بودند. همچنین گیاهان میکوریزایی افزایش قابل توجهی در اسید فسفاتاز، آنزیم آنتیاکسیدان و در تحمل به شوری نسبت به گیاهان غیر میکوریزایی نشان دادند. آیگ و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند کلونیزاسیون گیاه کدو با قارچ *Glomus intraradices* منجر به افزایش به طور متوسط نرخ ۲۷٪ هدایت روزنهای و هدایت هیدرولیکی برگ در گیاهان میکوریزایی در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزایی در شرایط وفور آب شد و در شرایط تنفس شوری مشابه بود. فنگ و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیق خود بر روی تأثیر تنفس خشکی بر میزان تحمل گیاه ذرت میکوریزایی شده، مشاهده کردند که وزن خشک ریشه و اندام هوایی در نتیجه همزیستی با میکوریزا (جنس گلوموس) افزایش یافت.

## ۷-۲ اثر کودهای، معدنی و آلی روی میکوریزا

یکی از خصوصیات بیولوژیک خاک که در اثر مصرف کود شیمیایی فسفر تحت تأثیر قرار می‌گیرد، همزیستی ریشه گیاه با قارچ‌های میکوریزا می‌باشد. در خاکهایی که مقادیر بالای فسفر دارند یا مقادیر زیادی کود فسفر در آنها به کار برده شده است، کلونیزاسیون میکوریزا کاهش می‌یابد و میکوریزا نقش کمی در رشد گیاه دارد (اسمیت و رید، ۲۰۰۸). جورج و همکاران (۱۹۹۴) اظهار داشتند که توانایی قارچ میکوریزا در اشغال سیستم ریشه‌ای گیاه همبستگی منفی با مقدار فسفر موجود در خاک دارد. کمبود زیاد فسفر نیز مانع از کلونیزاسیون میکوریزا می‌شود (کلی و همکاران، ۲۰۰۵).

فقحوانی شجری و همکاران (۱۳۹۰) آزمایشی بر روی گیاه گشنیز انجام دادند نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد کود زیستی میکوریزا نقش چشمگیری در افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی گشنیز داشت. علاوه بر این، مصرف تلفیقی کودهای زیستی به خصوص میکوریزا با کود شیمیایی اثر به مراتب بهتری در مقایسه با کاربرد منفرد منابع کودی مورد مطالعه ایجاد کرد. در یک آزمایش گلخانه‌ای که بر روی گیاه گندم انجام گرفت، بیشترین میزان پروتئین خام و فسفر قابل جذب از تیمار مخلوط کمپوست و قارچ میکوریزا بدست آمد (کرمانی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

اثر پذیری کود اوره در سیستم‌های کشاورزی متغیر می‌باشد (ریان و اش، ۱۹۹۹). علی زاده و آریانا (۱۳۸۹) در تحقیقی به جهت بررسی اثر میکوریزا و ورمی کمپوست به عنوان عامل بیولوژیک در مقایسه با کود شیمیایی نیتروژن و فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت انجام دادن بیان کردند که میکوریزا و ورمی کمپوست در سطوح پایین مصرف کود شیمیایی توانستند موجب افزایش عملکرد و

اجزای عملکرد دانه شوند اما در سطوح بالای مصرف کود شیمیایی فعالیت آن‌ها مختل گردید. تعدادی از مطالعات اخیر نشان داده‌اند که فراروایی میکوریزا در واکنش به کود اوره کاهش می‌یابد (ایگرتون-وربرتون و آلن، ۲۰۰۰؛ برادلی و همکاران، ۲۰۰۶). اثر کود پتاسیم روی میکوریزا کمتر مورد مطالعه قرار گرفته، اما بیان شده که تولید اسپور را تحریک می‌کند (فورلان و برنیر-کاردو، ۱۹۸۹).

در تحقیقی که بر روی ذرت انجام گرفت، زنگ و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که تلقیح ریشه این گیاه با گونه میکوریزا *Glomus mosseae* سبب افزایش محسوس ارتفاع بوته، وزن خشک و میزان فسفر در مقایسه با تیمار شاهد شد. همچنین در کاربرو توأم مایکوریز و ۵/۰ کیلوگرم کود آلی این صفات به طور قابل توجهی افزایش یافته بود، اما در گیاهان میکوریزایی و غیر میکوریزایی و در بالاترین میزان کود (۲۰ کیلوگرم) این صفات کاهش داشته و یا اثر قابل توجهی نداشتند.

## ۸-۲ بررسی پارامترهای رشدی گیاهان در اثر آبیاری با فاضلاب

بحران کمبود آب یکی از چالش‌هایی است که امروزه جهان با آن مواجه است. پیش‌بینی مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب<sup>۱</sup> (IWMI) برای سال ۲۰۲۵ نشان می‌دهد که کشورهای شمال آفریقا و خاورمیانه (از جمله ایران)، پاکستان، هند و قسمت شمالی چین با کم آبی شدید مواجه می‌شوند. در حال حاضر در بسیاری از مناطق خشک و کم آب دنیا از فاضلاب‌های تصفیه شده شهری و صنعتی در کشاورزی و صنعت استفاده مجدد می‌شود (عادلی، ۲۰۰۵). فاضلاب به عنوان منبع آبیاری برای رسیدن به محصول گیاهی با ارزش و منبعی ارزشمند در افزایش سطح پوشش گیاهی محسوب می‌شود و نیز به عنوان یک منبع کمکی برای مواد غذایی مورد نیاز گیاه و بهبود ساختار خاک می‌باشد (نادیا، ۲۰۰۵).

از آنجا که پساب فاضلاب حاوی مواد مغذی گیاه و مواد آلی می‌تواند به عنوان تأمین کننده یا جایگزین کودهای تجاری در تولید محصول گردد. اثرات مفید استفاده از پساب فاضلاب در کشاورزی توسط محققان متعدد به اثبات رسیده است. همچنین بهبود ویژگی‌های بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی خاک در اثر کاربرد پساب فاضلاب نشان داده شده است (منصوری، ۱۳۹۲). مواد مغذی موجود در پساب فاضلاب میزان زیست توده و عملکرد گیاه را افزایش می‌دهند. معزّم و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که کاربرد پساب و کود نیتروژن به عنوان منبع نیتروژن بر میزان عملکرد دانه و علوفه ذرت تأثیری نداشته است این نشان می‌دهد ارزش کودی یا حاصلخیزی پساب فاضلاب با کودهای تجاری قابل مقایسه است.

<sup>۱</sup>. International Water Management Institute

نادیا (۲۰۰۵)، اظهار داشت که افزایش میزان کلروفیل برگ گیاه سورگوم و در نتیجه افزایش میزان فتوسنترز در تیمار آبیاری با پساب منجر به افزایش رشد اندام هوایی به ویژه سطح برگ نسبت به تیمار شاهد گردید. این افزایش رشد در گیاه سورگوم در اثر آبیاری با پساب فاضلاب، می‌تواند به دلیل افزایش در مواد آلی، عناصر ماکرو و میکرو در انواع مختلف آب فاضلاب باشد تا جایی که عناصر مفید، فعالیت متابولیکی و رشد رویشی گیاه را افزایش داده است. همچنین این محقق طی آزمایشی اثر تیمارهای مختلف آبیاری با پساب فاضلاب روی رشد و محتویات معدنی دو گونه سورگوم به نام-های *S. dochna* و *Sorghum dura* را بررسی کرد. نتایج نشان داد که محتویات فلزات سنگین در پساب‌ها عبارت بود از: Fe>Mn>Zn>Cu>Ni. همچنین افزایش زیادی در طول ساقه و تعداد برگ‌های گیاه و نسبت کل سطح برگ به گیاه و وزن خشک ریشه و ساقه گیاه *Sorghum dura* که با پساب آبیاری شده بود، نسبت به گروه کنترل مشاهده گردید. این اثرات در پساب فاضلاب خام بیشتر بود و در تیمار با پساب فاضلاب دو بار تصفیه شده کمتر بود.

محققان بیان داشتند که افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان پس از مصرف فاضلاب ناشی از زیادی غلظت نیتروژن و عناصر کم مصرف در فاضلاب نسبت به خاک می‌باشد (احمدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). علی‌نژاد جهرمی و همکاران (۱۳۸۹) طی پژوهشی اظهار کردند که بیشترین میزان شاخص‌های وزن تر و خشک کل گیاه، اندام هوایی و همچنین درصد اسانس تحت تاثیر تیمار ۱۰۰ درصد و کمترین میزان در تیمار صفر درصد پساب حاصل شد.

توصیی و همکاران (۱۳۸۹)، گزارش کردند که استفاده از پساب فاضلاب در مقایسه با آب معمولی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد علوفه تر، خشک و عملکرد دانه ذرت می‌شود. نتایج پژوهش دای و تکر (۱۹۷۷) بر روی گیاه سورگوم نشان داد که آبیاری با فاضلاب باعث افزایش عرض برگ شده و میزان عملکرد دانه را افزایش می‌دهد. بررسی‌های آغ‌تپه و همکاران (۱۳۹۲)، نشان داد که بیشترین وزن تر علوفه در گیاه ارزن دمروباہی از تیمار کاربرد پساب در کل دوره رشد بدست آمده است. تراویان و همکاران (۱۳۹۲) به این نتیجه دست یافتند که در گیاه بامیه کاربرد ۱۰۰ درصد پساب، باعث افزایش ۳۷ درصدی وزن اندام هوایی در مقایسه با شاهد گردید. علیزاده و همکاران (۲۰۰۱) نیز گزارش کردند آبیاری با فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار طول گیاه و عرض برگ در گیاه ذرت می‌گردد. پژوهش‌های پاپادوبلوس و استیلیانون (۱۹۹۱)، کارایی بهتر فاضلاب تصفیه شده را نسبت به کود شیمیایی درباره جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه نشان داد. کلاب و همکاران (۱۹۸۷) در مطالعه خود در مورد اثر فاضلاب روی عملکرد ذرت و چند گیاه علوفه‌ای دیگر به این نتیجه رسیدند که تاثیر پساب با کاربرد کود شیمیایی به صورت نیترات آمونیم از نظر تامین نیاز گیاه کاملاً قابل مقایسه است.

در آزمایش دیگری که در مورد اثرات فاضلاب خانگی بر پارامتر های رشد گیاه سورگوم بود افزایش زیادی در طول ساقه و تعداد برگ های گیاه و نسبت کل سطح برگ به گیاه و وزن خشک ریشه و ساقه گیاه *Sorghum dura* که با پساب آبیاری شده بود نسبت به کنترل مشاهده گردید. این اثرات در پساب فاضلاب خام بیشتر بود و در تیمار با پساب دوبار تصفیه شده کمتر بود. به طور مشابه، نسبت کل سطح برگ به گیاه و وزن خشک ریشه و ساقه *Sorghum dochna* بوسیله تیمار با پساب افزایش یافته بود و در آبیاری با پساب خام بیشتر هم بود. تغییر مهمی در پارامتر های رشد هر دو گیاه *S.dura* و *S.dochna* در تیمار با پساب دوبار تصفیه شده مشاهده نشد (نادیا، ۲۰۰۵).

در یک بررسی مشخص شد که آبیاری سورگوم با پساب فاضلاب سبب افزایش چشمگیری در ارتفاع گیاه، ضخامت ساقه، تعداد بذر نسبت به خوشة و نیز قدرت باروری در آن شده بود (معظم و همکاران، ۲۰۱۰). اثر آبیاری با نسبت های مختلف آب چاه و فاضلاب در ۵ سطح (٪.۰، ٪.۲۵، ٪.۵۰ و ٪.۷۵ و ٪.۱۰۰ فاضلاب) بر چهار رقم گیاهان علوفه ای مورد بررسی قرار گرفت. نسبت های مختلف آب چاه و فاضلاب تأثیر معناداری بر میانگین درصد پروتئین خام داشت. با افزایش میزان اختلاط فاضلاب، میانگین درصد پروتئین خام افزایش یافت (بهره مند، ۱۳۸۱). همچنین طی آزمایشی مشاهده شد که آبیاری با پساب در کل دوره رشد و پس از آن در تیمار یک در میان، باعث تجمع بیشترین میزان عناصر سنگین در اندام های گیاه گردید (سمیرمی، ۱۳۸۴). یکی از مواردی که باید به آن توجه خاص شود وجود فلزات سنگین در فاضلاب است. فاضلاب اغلب دارای مقادیر نسبتاً زیادی فلزات سنگین نظیر کادمیوم، سرب و نیکل می باشد. کاربرد مکرر فاضلاب برای آبیاری سبب صدمه زدن به گیاهان و مسمومیت آنها می شود (جلالی، ۱۳۸۹).

اثر آبیاری با فاضلاب بر عملکرد و کیفیت گیاهان علوفه ای توسط محققین مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته است. اغلب گیاهان زراعی هنگامی که با فاضلاب آبیاری می شوند عملکرد بیشتری حاصل کرده و نیاز کمتری به کودهای شیمیایی دارند که در نتیجه آن مقداری از هزینه های تولید کاسته می شود. منیر و همکاران (۲۰۰۷) به این نتیجه رسیدند که آبیاری با فاضلاب به مدت ۲ سال موجب افزایش بیوماس در گیاه جو گردید. عبدالهی و همکاران (۱۳۸۶) در بررسی اثر نسبت های مختلف فاضلاب تصفیه شده شهری، آب آبیاری، کود شیمیایی و کود حیوانی بر عملکرد و اجزاء عملکرد گندم رقم روشن نتیجه گرفتند که بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار ۷۵ درصد فاضلاب بعلاوه ۲۵ درصد آب معمولی بود.

پالیوال و همکاران (۱۹۹۸)، با کاربرد مقادیر مختلف فاضلاب شهری در کشت گیاه Hardwickia binate چنین نتیجه‌گیری کردند که غلظت نیتروژن و فسفر در بخش‌های مختلف گیاه معمولاً با افزایش غلظت فاضلاب افزایش یافت. آنها همچنین بیان کردند که کل پروتئین محلول و کل سطح برگ در تیمار ۵۰٪ فاضلاب افزایش یافت. ادجی و ریچسیجل (۲۰۰۲)، ارزش غذایی گیاه Bahiagrass را در آبیاری با پساب مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که پساب باعث افزایش درصد پروتئین علوفه تولیدی گردید درحالی که هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری در قابلیت هضم در تیمار پساب و شاهد مشاهده نشد. در پژوهشی دیگر درصد پروتئین خام علوفه ذرت، سورگوم و ارزن آبیاری شده با فاضلاب افزایش یافت ولی سایر شاخصه‌های کیفی از جمله قابلیت هضم ماده خشک، انرژی قابل هضم و درصد دیواره سلولی تغییر چشمگیری نداشت (اما می و همکاران، ۱۳۸۶). همچنین در بررسی ارزش غذایی گیاهان علوفه‌ای گرم‌سیری تحت آبیاری با فاضلاب در مقایسه با آب چاه و استفاده از کودهای شیمیایی مشخص شد که ارزش غذایی علوفه تولیدی در آبیاری با فاضلاب تفاوتی با آبیاری با آب چاه همراه با کودهای شیمیایی نداشت (ادجی و ریچسیجل، ۲۰۰۲).

طی آزمایشی که توسط جلالی و همکاران (۱۳۸۹) انجام شد، عملکرد علوفه سورگوم علوفه‌ای تحت تاثیر روش‌های مختلف آبیاری با فاضلاب تصفیه شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، بیشترین عملکرد علوفه از تیمار آبیاری با فاضلاب و آب معمولی به صورت یک در میان و آبیاری با فاضلاب در کل دوره رشد به دست آمد. آبیاری با فاضلاب به دلیل وجود عناصر غذایی همراه، سبب افزایش حجم و آماس بیشتر سلول‌ها و در نتیجه منجر به افزایش وزن تر و خشک برگ در مقایسه با شاهد گردید. سلیمانی و همکاران (۱۳۸۵)، در آزمایش خود نشان دادند که آبیاری با پساب در مقایسه با آب معمولی تأثیر ویژه‌ای بر سطح برگ، وزن خشک کل و سرعت رشد محصول در گیاه ذرت دارد.

رضوانی مقدم و میرزایی نجم آبادی (۱۳۸۸)، در بررسی نسبت‌های مختلف فاضلاب تصفیه شده بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت، سورگوم و ارزن علوفه‌ای گزارش کردند که پساب موجب افزایش ارتفاع بوته و عملکرد علوفه خشک گیاه سورگوم گردید. بهشتیان و المدرس (۱۳۹۱)، در بررسی اثر آبیاری با پساب فاضلاب بر روی رشد و کربوهیدرات‌های سورگوم شیرین نتیجه گرفتند که بیوماس در گیاهان سورگوم شیرین آبیاری شده با فاضلاب تصفیه نشده و تصفیه شده اختلاف آماری وجود ندارد، درحالی‌که بیوماس گیاهان آبیاری شده با آب شهر، بصورت معنی‌داری از سایر تیمارها کمتر بود. مونیر و همکاران (۲۰۰۷)، با بررسی اثر آبیاری با پساب بر گیاهان

علوفه‌ای در اردن دریافتند که وزن گیاه جو با کاربرد پساب افزایش یافته است، در ضمن پساب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را نیز فراهم کرده است.

در مطالعه‌ای که در ایالت تنسی امریکا صورت گرفت مشخص شد که بر اثر کاربرد پساب در اراضی کشاورزی جهت کشت ذرت تولید دانه ذرت به علت افزایش مقدار نیتروژن موجود در پساب افزایش یافت. اطلاعات مربوط به مقدار تولید و مقدار نیتروژن برگ این باور را به دنبال داشت که سرعت معدنی شدن نیتروژن آلی موجود در پساب در سال کاربرد آن ۵۰ درصد و در سال بعد ۳۰ درصد بود (کرپس، ۱۹۹۲). همچنین در تحقیقی که بر روی تأثیر و مقایسه کاربرد آبیاری با پساب و آب چاه بر روی گیاه صورت گرفت مشخص شد که آبیاری با پساب باعث افزایش رشد گیاه در ۲ سال اول کاربرد پساب می‌شود ولی این افزایش بعد از ۵ سال دیده نشد. محققین این طرح به این نتیجه رسیدند که به نظر می‌رسد ناکافی و نامناسب بودن روی و نیتروژن باعث شده که دوره رشد این گیاه محدود شود (نیلسن، ۱۹۹۱). همچنین در آبیاری با پساب در منطقه‌ای در فلسطین بر روی پنبه و گندم مشخص شد که کل تولید پنبه بیش از ۵۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و گندم به بیش از ۷۵۰۰ کیلوگرم در هکتار رسیده است در حالی که مقدار مصرف پساب برای پنبه حدود ۶۵۰۰ مترمکعب در هکتار و برای گندم ۴۵۰۰ مترمکعب در هکتار بوده است. علیزاده طی تحقیقاتی که بر روی کاهو، هویج و گوجه فرنگی انجام داد به این نتیجه رسید که عملکرد محصول هنگامی که با پساب آبیاری می‌شود بیشتر است (کرپس، ۱۹۹۲).

نتایج بررسی‌های انجام شده نشان داده است که آبیاری با فاضلاب شهری، عملکرد سورگوم را ۲/۵ برابر و عملکرد سبزیجات را ۳ برابر در مقایسه با آب چاه افزایش داد. محققان ملاحظه کردند که محصول آبیاری شده با فاضلاب از رشد بیشتر و رنگ سبز تیره‌تری برخوردار بودند (آسانو، ۱۹۸۷). طی آزمایشی میزان پروتئین، فسفر و پتاسیم اندازه‌گیری شده محصولات آبیاری شده با پساب بیشتر از مقدار موجود در محصولات آبیاری شده با آب معمولی مشاهده گردید، به گونه‌ای که پروتئین موجود در تمامی محصولات کمتر از حد مینا بود. لیکن میزان فسفر و پتاسیم جذب شده معمولاً نزدیک به حد مینا و گاهًا بالاتر از آن قرار داشت (حسن اقلی و همکاران، ۱۳۸۳). شبانیان بروجنی و همکاران (۱۳۸۴)، طی آزمایشی دریافتند، لجن فاضلاب باعث افزایش میزان کلروفیل در گیاهان شد. همچنین قاسمی و همکاران (۱۳۹۳)، با بررسی اثر آبیاری با پساب تصفیه شده و تصفیه نشده شهری بر شاخص‌های رشد و تجمع عناصر سنگین در گونه‌های رزماری و ترون گزارش نمودند که بیشترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در شرایط آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بدست آمد.

## ۹-۲ اثرات نامطلوب پساب بر روی خاک

در آبیاری با پساب باید به تأثیر اجزای معدنی و آلی موجود در آن بر روی خواص شیمیایی و فیزیکی خاک مثل انباستگی عناصر مختلف از جمله فلزات سنگین، نیتروژن، فسفر و نیز تغییر در مقدار pH و دیگر خواص شیمیایی و نیز برخی خصوصیات فیزیکی مثل نفوذپذیری، هدایت هیدرولیکی و غیره توجه نمود. تجمع فلزات سنگین در خاک یکی از مشکلات اصلی آبیاری با پساب است. برای استفاده مجدد پساب‌ها در کشاورزی، استانداردهای مختلف وجود دارد. هدف اصلی و اولیه از استاندارد کردن پساب‌های شهری، جلوگیری از شیوع عوامل بیماری‌زا است و در پساب‌های صنعتی هدف، پایین آوردن مقدار عناصر سمی است، زیرا در این گونه پساب‌ها امکان حضور موجودات زنده کمتر می‌باشد. البته این نکته را باید در نظر داشت که میزان خسارت وارد شده از طریق پساب، به عواملی چون نوع گیاه، بافت خاک و اقلیم منطقه بستگی دارد (آیرس و وستکوت، ۱۹۸۵).

فعالیت‌های روزافزون انسان بر روی کره زمین سبب شده است که کارکرد خاک که خود جزئی فراغیر از پیوسته زمین است در مواردی دچار اختلال شود. بدیهی است اگر جمله بالا را تعریف آلدگی خاک بدانیم، آلدگی خاک را یک پدیده نامطلوب می‌انگاریم و باید برای آن مرز مشخصی تعیین نماییم. از دیدگاه جهانی، پس از آب و هوا، پوسته خاک، سومین جزء عمدۀ محیط زیست انسانی تلقی می‌شود. خاک‌ها و اراضی که تحت تاثیر پساب‌های صنعتی قرار می‌گیرند و یا با پساب آبیاری می‌شوند، با گذشت زمان با مقادیر بالایی از فلزات سنگین آلوده می‌گردند که نهایتاً با افزایش غلظت عناصر کمیاب در این محیط، دسترسی گیاه به عناصر فوق زیاد شده و عامل بروز مشکلاتی برای تولیدات کشاورزی می‌شوند (لوچو کنستانتنیو و همکاران، ۲۰۰۵).

عبدی‌کوپایی و همکاران (۲۰۰۶)، در بررسی اثرات آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک در یک منطقه خشک دریافتند، سیستم‌های آبیاری تأثیری بر تجمع فلزات سنگین در خاک نداشته اما کاربرد فاضلاب باعث تجمع معنی‌دار سرب، منگنز، نیکل و کبات در مقایسه با تیمار آب زیر زمینی شده است. همچنین تجمع سرب، منگنز، نیکل، کبات، مس و روی با عمق خاک کاهش یافته است. کلی و همکاران (۲۰۱۰)، با بررسی اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده نشان دادند، غلظت فلزات سنگین در خاک به خصوص برای سرب و کادمیوم با دوره آبیاری افزایش یافته است. تحقیقات نشان داده استفاده از فاضلاب‌ها به دلیل داشتن غلظت زیاد عناصر، بر وضعیت حاصلخیزی و مواد آلی خاک موثر است. حسین و همکاران (۲۰۰۲) در پژوهش‌های خود افزایش

عناصر غذایی نظیر نیتروژن و فسفر، افزایش مقدار نمک‌ها و نیز فلزات سنگین در خاک را بعد از کاربرد فاضلاب گزارش کردند.

فیضی (۱۳۸۰) در مقایسه تأثیر پساب فاضلاب و آب چاه بر خاک منطقه شمال اصفهان نشان داد که هدایت الکتریکی، pH و نسبت جذب سدیم با شوری آب مصرفی ارتباط نزدیک دارد. غلظت عناصری از قبیل سرب، روی، منگنز، مس و آهن در خاک (عمق صفر تا ۴۰ سانتی‌متری) آبیاری شده با فاضلاب بیشتر از خاک‌های آبیاری شده با آب چاه بود اگر چه تفاوت معنی دار نبود. روحانی شهرکی و همکاران (۱۳۸۴) طی پژوهشی در منطقه شمال اصفهان نشان دادند که زمین آبیاری شده با پساب فاضلاب به مدت ۹ سال دارای جرم مخصوص ظاهری کمتر، درصد رطوبت بیشتر و نفوذ نهایی کمتر نسبت به مزرعه مجاور آبیاری شده با آب چاه می‌باشد.

صابر (۱۹۸۶) طی تحقیقات خود در آبیاری با فاضلاب در قاهره نشان داد که با افزایش سال‌های استفاده از پساب، میزان نمکهای محلول در عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری خاک، به میزان قابل توجهی تا حدود ۳ برابر، در مقایسه با خاک‌های آبیاری نشده افزایش داشته است. مطالعات صفری‌سنجبی و حاج رسولیها به نقل از فیضی (۲۰۰۱) دلالت بر این دارد که هشت سال آبیاری با فاضلاب تصفیه شده اصفهان، شوری و سدیم خاک را به طور معنی‌داری افزایش داده است. نتایج تحقیقات ابراهیمی‌زاده و همکاران (۱۳۸۵) نیز بیانگر آن است که در اثر آبیاری با پساب در مقایسه با آب متعارف، شوری خاک در لایه‌های ۲۰ تا ۴۰ و ۶۰ تا ۲۰ سانتی‌متری و SAR<sup>۱</sup> و سدیم خاک در اعماق ۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰ و ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری افزایش قابل توجهی را داشته است.

اسمارت (۲۰۰۳) در مقایسه خصوصیات خاک‌های منطقه شمال آدلاید در استرالیا که با آب و یا پساب آبیاری می‌شوند گزارش نمود که آبیاری با پساب میزان شوری، سدیم و بر را در خاک‌های منطقه افزایش داده است، اگر چه افزایش مشاهده شده هنوز به حدی نرسیده که برروی عملکرد محصولات کشاورزی اثر گذارد. ولی افزایش مشاهده شده در سدیم و SAR خاک از نظر تخریب ساختمان خاک و کاهش ظرفیت زهکشی آن هشدار دهنده است.

مطالعه و بررسی‌های انجام شده بر روی خاک‌های منطقه Moose Jaw در ایالت ساسکاچوان کانادا که از سال ۱۹۸۲ توسط پساب در مساحتی حدود ۱۲۰۰ هکتار آبیاری می‌گردد نشان داده است که شوری خاک به میزان قابل توجهی افزایش یافته است به طوری که میانگین EC خاک از  $0.75 \frac{ds}{m}$  به  $1.6 \frac{ds}{m}$  در سال ۱۹۹۷ رسیده است. تجمع شوری بیشتر در لایه یک متري سطحی خاک گزارش

<sup>۱</sup>. Sodium Adsorption Radio

شده است. نتایج بررسی‌ها بر روی آبهای زیرزمینی کم عمق در منطقه مذکور نیز دلالت بر افزایش غلظت‌های سدیم، کلرور، سولفات و بیکربنات را داشته است. همچنین، مطالعات انجام گرفته در ارتباط با پروژه بزرگ دیگری که در Swift Current همان ایالت در سال ۱۹۷۸ در مساحتی حدود ۳۳۸ هکتار آغاز شد بیانگر آن است که در برخی نقاط شوری خاک افزایش معنی‌داری داشته است. در منطقه اخیر نیز میزان کلرور، سختی، سدیم، سولفات و منگز در آبهای زیرزمینی کم عمق افزایش را نشان داده است (کامرون، ۱۹۹۶). پاترسون (۱۹۹۷) در تحقیقات خود در استرالیا به این نتیجه دست یافت که بالا بودن SAR در پساب حاصل از تصفیه خانه‌های فاضلاب خانگی منجر به کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌گردد، به طوری که با افزایش SAR از صفر به ۳، هدایت هیدرولیکی اشباع به میزان ۵۰٪ و در صورت افزایش آن به ۱۵، هدایت هیدرولیکی به میزان ۷۵٪ کاهش می‌یابد. در گزارش تحقیقاتی پروان (۱۳۸۳) نیز کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع به میزان ۳۰٪ در لایه سطحی خاک در اثر آبیاری طولانی مدت با پساب، گزارش شده است.

علیزاده و همکاران (۲۰۰۱) در تحقیقات خود نشان دادند که آبیاری ذرت با فاضلاب تصفیه شده شهر مشهد به مدت ۲ سال، کاهش ۱۵۶ درصدی ظرفیت نفوذپذیری خاک را در مقایسه با زمان قبل از آغاز تحقیق به دنبال داشته است. شادکام و همکاران (۱۳۸۵) نیز در اثر آبیاری با پساب کاهش چشمگیری را در هدایت هیدرولیکی خاک‌های مورد مطالعه مشاهده نمودند. غلامحسین و الساعتی (۱۹۹۹) در بررسی خصوصیات پساب‌های تولیدی در کشور عربستان گزارش کردند که کاربرد این گونه پساب‌ها به دلیل نامناسب بودن میزان شوری و سدیم آن می‌تواند سبب افزایش شوری خاک شده و درصد سدیم قابل تبادل خاک را تغییر دهد. به همین جهت آنها کاربرد پساب‌ها را فقط به عنوان آب‌های کمکی توصیه نمودند. معاضد و حنیفه‌لو (۱۳۸۵) در بررسی کیفیت پساب خروجی تصفیه خانه فاضلاب غرب شهر اهواز برای استفاده در کشاورزی، به این نتیجه رسیدند که پساب مذکور از نظر برخی از پارامترها مانند سولفات، کلراید و شوری فراتر از استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران بوده و به خصوص از نظر شوری براساس رهنمودهای کیفیت آب آبیاری آبریز و وستکات (۱۹۸۵)، دارای درجه پیامد بسیار بد ارزیابی می‌شود.

در استفاده مجدد از فاضلاب pH خاک نیز می‌تواند تغییر یابد. از آنجا که مهیایی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و همچنین حلالیت بسیاری از عناصر و ترکیبات سمی به شرایط pH خاک بستگی دارد، تغییر این پارامتر می‌تواند جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را کاهش داده و از این طریق و یا از طریق تأثیر بر مهیایی عناصر و ترکیبات مسموم کننده، رشد گیاه و عملکرد آن را تحت تاثیر قرار دهد (مرادی‌نژاد و ابراهیمی، ۱۳۹۵). مطالعات صابر (۱۹۸۶) نشان می‌دهد که آبیاری اراضی شهر قاهره با

فاضلاب، کاهش pH خاک‌ها را به دنبال داشته است اما در بررسی‌های انجام شده توسط مهیدا (۱۹۸۱)، افزایش pH در خاک‌های خشک و نیمه خشک هند در اثر آبیاری با پساب گزارش شده است.

آبیاری با پساب به خصوص به علت فرآیند کلرزنی در تصفیه‌خانه‌ها، می‌تواند غلظت این عنصر را در خاک افزایش داده و به حد سمیت برای گیاهان برساند. گیاهان زراعی و درختان میوه به یون کلر حساس بوده و چنانچه مقدار این عنصر در عصاره اشباع خاک به حدود  $\frac{meq}{lit}$  ۱۰ برسد برای بسیاری از گیاهان ایجاد مسمومیت می‌کند (آیرس، ۱۹۸۵). پروان (۱۳۸۳) در کار تحقیقاتی خود بر روی اثرات طولانی مدت پساب، افزایش میزان کلر را در اعماق مختلف خاک گزارش کرده است. از جمله ناخالصی‌های دیگری که در پساب تصفیه خانه‌ها به ویژه در مناطق صنعتی یافت می‌شود، فلزات سنگین و عناصر کمیاب می‌باشند. کاربرد پساب‌هایی از این قبیل در اراضی کشاورزی، می‌تواند تجمع عناصر مذکور را در خاک و آب‌های زیرزمینی افزایش داده و غلظت آنها را به مرز غلظت‌های سمی برای گیاهان برساند (طباطبایی و همکاران، ۲۰۰۱؛ فرهود و همکاران، ۲۰۰۱). از طرفی تجمع عناصر سنگین در گیاهان سبب ورود آنها به زنجیره‌های غذایی شده و از این طریق می‌تواند اثرات نامطلوبی بر سلامت مصرف کنندگان بگذارد. تحقیقات چنگ و همکاران (۱۹۸۴) دلالت بر این دارد که طی ۶ سال کاربرد فاضلاب در خاک‌های لومی-شنی و لومی، تجمع معنی‌داری در غلظت هر یک از عناصر کادمیوم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی در خاک، به خصوص در لایه صفر تا ۱۵ سانتی‌متری، اتفاق افتاد است. این محققین همچنین نشان دادند که بین کاربرد پساب و تجمع عناصر سنگین در خاک و بافت‌های گیاهی، همبستگی وجود دارد. موحدیان و افیونی (۱۳۸۵) در بررسی اثر پساب و لجن صنعتی بر روی خصوصیات خاک، کاهش pH، افزایش مواد آلی، افزایش EC و نیز افزایش غلظت عناصر سنگین را در عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری کلیه تیمارهای آزمایشی خود مشاهده کردند.

فیضی (۲۰۰۱) در بررسی تجمع عناصر سنگین در مزارع شمال اصفهان که به مدت ۸ سال با فاضلاب و پساب آبیاری شده بودند مشاهده نمود که مقادیر عناصر روی، منیزیوم، مس و آهن در خاک‌های این مزارع نسبت به مزارع آبیاری شده با آب چاه افزایش یافته است. وی در مقاله خود به نتایج کار برخی از محققین اشاره نموده و گزارش می‌دهد که در خاک‌های تحت آبیاری با فاضلاب‌های شهری و صنعتی اصفهان، آلدگی شدیدی از نظر عناصر کادمیوم و سرب در مقایسه با آب معمولی مشاهده شده است و نیز اینکه در اثر آبیاری با پساب مقدار منگز و کروم و سرب در خاک‌های تحت کشت در منطقه اصفهان افزایش یافته است. پروان (۱۳۸۳) در مقایسه خصوصیات خاک مزارع آبیاری شده با پساب و مزارعی که با آب چاه آبیاری شده بودند مشاهده نمود که افزایش فراهمی عنصر نیکل

در لایه ۵ تا ۲۵ سانتی‌متری خاک و عنصر روی در لایه ۵۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری خاک به طور معنی‌داری افزایش یافته است.

در بررسی اثر کاربرد پساب و لجن به عنوان منابع غذایی بروی تجمع و رفتار عناصر کمیاب در خاک‌های ویتنام، کای (۲۰۰۷) چنین نتیجه گرفت که منابع مذکور تجمع عناصر کمیاب (مس و روی) را در تیمارهای مورد آزمایش افزایش داده و از این لحاظ می‌توانند تهدیدی برای کیفیت آب و خاک و نیز بهداشت عمومی محسوب شوند. در بعضی تحقیقات مشخص شده تجمع عناصر سنگین و فسفر در لایه سطحی خاک، تنوع و فعالیت میکرووارگانیسم‌های خاک مانند ریبوزوم‌ها و میکوریزاها را کاهش داده است (کومان و همکاران، ۱۹۹۰؛ ایوب‌ما و همکاران، ۱۹۹۵؛ اورتگا - لوراسیا، ۲۰۰۱).

وجود کربن و نیتروژن در پساب می‌تواند اثرات مفیدی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک داشته باشد (زمان و همکاران، ۲۰۰۴؛ روحانی‌شهرکی و همکاران، ۲۰۰۵). در ارتباط با نیتروژن، اگر چه این عنصر از جمله عناصر غذایی بسیار مهم برای گیاهان محسوب می‌شود، اما مقادیر بیش از حد آن می‌تواند سبب کاهش عملکرد و کیفیت محصول و در ضمن باعث رشد فرازینده علف‌های هرز شود. همچنین آب‌شویی ترکیبات ازته به آبهای زیرزمینی و سطحی موجبات آلودگی این منابع را فراهم می‌سازد، مهیدا (۱۹۸۱) و صابر (۱۹۸۶) در مطالعات خود گزارش کردند که آبیاری مزارع با پساب، افزایش ازت خاک را در پی‌داشته است.

## ۱۰-۲ اثرات آبیاری با پساب بر آلودگی گیاه

در برخی آزمایشات تجمع فلزات سنگین در خاک در اثر آبیاری با فاضلاب نشان داده شده است که ممکن است سبب برخی از مشکلات زیست محیطی گردد و نیز اثرات مخربی بر سلامتی انسان و جانوران به دلیل اثر بر محصول گیاهی داشته باشد. برای مثال مقادیر بالای مس، روی و نیکل باعث آسیب محصول می‌گردد قبل از آنکه غلظت در محصولات به حد کافی بالا رود تا برای مصرف کننده آنها مسمومیت ایجاد کند. در مقابل، کادمیوم به اندازه‌ای در محصول انباسته می‌شود که برای آن مضر نمی‌باشد ولی ممکن است برای مصرف کننده محصول خط‌نراک باشد. سرب و کرم برای محصول قابل دسترس نیستند بنابراین ورود آن به زنگره غذایی از طریق جذب محصول بسیار کم است. اگر آنها وارد زنجیره غذایی شوند، سبب دیر هضمی به دلیل مواد گیاهی آلوده می‌شوند (نادیا، ۲۰۰۵).

استفاده از پساب فاضلاب به عنوان مکمل منابع آب آبیاری محصولات کشاورزی در مناطق خشک و مناطق نیمه خشک گسترش یافته است. بر اساس نتایج به دست آمده از تحقیق تراپیان و همکاران

(۱۳۹۲)، آبیاری با پساب غلظت عناصر پرمصرف (نیتروژن و فسفر) و عناصر کمصرف (آهن و سدیم) را در میوه بامیه افزایش داد.

یکی دیگر از مشکلات آبیاری گیاهان با پساب فاضلاب، جذب باکتری‌های بیماریزا توسط گیاه از پساب می‌باشد که منجر به ایجاد بیماری برای مصرف کننده آن گیاه می‌گردد. از شایع ترین باکتری‌ها در پساب فاضلاب که باعث ایجاد مسمومیت‌های گوارشی برای مصرف کننده می‌گردند کلی‌فرم‌ها می‌باشند. در آزمایشی به منظور تعیین کیفیت باکتریولوژی سبزیجات برگ‌دار که در نزدیکی سطح زمین رشد می‌کنند برای مثال کاهو و اسفناج که هر دو علفی می‌باشند و به طور خام مصرف می‌شوند با فاضلاب خانگی آبیاری شدند. پس از بررسی این دو گیاه ذکر شده از لحاظ میزان جذب کلی‌فرم، مشاهده شد که مقداری باکتری در برگ گیاهان آبیاری شده با فاضلاب خام وجود دارد (۳۷۰۰۰). توتال کلی‌فرم و ۳۶۰۰ فکال کلی‌فرم در کاهو و ۸۷۰۰ توتال کلی‌فرم و ۲۴۰۰ فکال کلی‌فرم در اسفناج). تعداد باکتری بین گیاهان آبیاری شده با فاضلاب و گیاهانی که با فاضلاب آبیاری نشده بودند تفاوت زیادی داشت و حجم بالای کلی‌فرم مدفوعی در گیاهان آبیاری شده با پساب فاضلاب نشان دهنده خطر برای مصرف کننده آن گیاهان می‌باشد (ارکولانی، ۱۹۷۶).

جدول ۲-۱. فراوانی جنس‌های باکتریایی شناسایی شده میان توتال و فکال کلی‌فرم از کاهو و اسفناج (ارکولانی، ۱۹۷۶)

جنس‌های باکتریایی	کاهو		اسفناج	
	TC	FC	TC	FC
سیتروباکتر	۲۰	۱۲	۱۶	۹
انتروباکتر	۵۱	۲۹	۴۴	۲۷
اشرشیا	۲۹	۴۸	۲۵	۴۵
کلبسیلا	۱۲	۸	۹	۸

استفاده از فاضلاب می‌تواند از طریق شیوع امراضی با منشاء باکتریولوژیکی، وبروسی، پروتوزوائی و انگلی باعث به خطر افتادن سلامت انسان‌ها شود. نتایج طرح مطالعاتی بلومنتال (۲۰۰۰)، به نقل از ماتاوکی ترتو (۲۰۰۵)، دلالت بر این دارد که کاربرد فاضلاب در کشاورزی به شرط آن که به حد کافی تصفیه شده باشد، سبب شیوع بیماری‌های نماد رودهای در میان کارگران مزارع و مصرف کنندگان محصولات نمی‌شود، مگر آنکه شرایط آب و هوایی و نوع آبیاری، شرایط را برای بقای تخم این گونه نمادتها فراهم سازد (مرادی‌نژاد و ابراهیمی، ۱۳۹۵). ولی براساس مطالعات شوال و همکاران (۱۹۸۶)

در نقاطی از جهان که بیماری‌های انگلی آسکاریازیس و تریکوزیاسیس وجود داشته است، شیوع این گونه بیماری‌ها هم‌زمان با کاربرد پساب در آبیاری زمین‌های آن منطقه مشاهده شده است. شوال (۱۹۸۴) نیز در مطالعات اپیدمیولوژی خود چنین نتیجه می‌گیرد که ریسک شیوع کرم‌های آسکاریس در کودکان و افراد بالغی که از محصولات زراعی آبیاری شده با فاضلاب خام استفاده می‌کنند بسیار زیاد است. وی همچنین در تحقیقات خود به شیوع بیماری‌هایی از قبیل وبا، تیفوئید، شیگلوزیس در اثر استفاده از فاضلاب خام در کشاورزی اشاره می‌کند.

علیزاده و همکاران (۱۳۷۶) در تحقیقات خود بر روی آبیاری چغندرقدن با پساب، در ارتباط با آلودگی‌های انگلی مربوط به خاک و اندام‌های گیاهی، آلودگی نماتدهای روده‌ای را مشاهده نکردند اما در مورد آلودگی‌های میکروبی تفاوت قابل توجهی را در کلی فرم‌های مدفوعی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی-متری خاک در آبیاری با پساب و آب چاه مشاهده نمودند. از بعد میکروبیولوژیکی، یکی از حیاتی‌ترین گام‌ها در برنامه‌ریزی کاربرد مجدد پساب در کشاورزی محافظت سلامت جامعه با تاکید برروی کارگران مزارع و مصرف کنندگان محصولات می‌باشد. علاوه بر افراد مذکور، افراد دیگری مانند خانواده‌های کارگران و جوامع مجاور مکانهای کاربرد پساب نیز در معرض خطرات بیماری‌ها قرار دارند. به همین جهت تامین سلامت عموم به خصوص در جوامعی که بیماری‌هایی با منشاء مدفوعی رایج است از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. علاوه بر میکرواگانیزم‌های پاتوژن، فاضلاب‌های خانگی و صنعتی حاوی ترکیبات مختلف شیمیایی از قبیل داروها، هورمون‌ها، آنتی‌بیوتیکها، ترکیبات تاثیرگذار بر سیستم هورمونی و غیره می‌باشند که اثرات طولانی مدت آنها به خصوص از طریق کاربرد پساب در کشاورزی، برروی سلامت انسان‌ها و اکوسیستم‌ها هنوز به طور کامل شناخته شده نیست (فیتا و کیسترووتو، ۲۰۰۵). فیضی (۲۰۰۱)، در پژوهشی تأثیر آبیاری با فاضلاب بر تجمع برخی عناصر در خاک و گیاه در مدت هشت سال را نشان داد. در این پژوهش مقدار آهن و منیزیم در گیاه ذرت در مزارع آبیاری شده با فاضلاب بیشتر بود.

استفاده از پساب فاضلاب برای آبیاری گیاهان در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان بسیار معمول شده است همچنین توسعه و مدیریت کاربرد فاضلاب در سیستم‌های آبیاری توجه بسیاری از کشورها را به خود جلب کرده است (کاوشیک، ۲۰۰۷).

فیضی (۲۰۰۱)، در پژوهشی تأثیر آبیاری با فاضلاب بر تجمع برخی عناصر در خاک و گیاه در مدت هشت سال را نشان داد. در این پژوهش مقدار آهن و منیزیم در گیاه ذرت در مزارع آبیاری شده با فاضلاب بیشتر بود. در مورد بررسی گیاه سورگوم از لحاظ جذب کلی فرم‌های مدفوعی و غیرمدفوعی، پس از آبیاری با پساب فاضلاب تاکنون آزمایشی انجام نگرفته است اما تحقیقات بر روی گیاه ذرت که

نزدیکترین گیاه به سورگوم و از خانواده سورگوم است، نشان داده است که تلقیح دانه‌های ذرت با (NBRIAR3) *E.coli* سبب افزایش رشد و جذب مواد غذایی توسط گیاه در مقایسه با کنترل شد این در حالی است که *E.coli* از ساکنان طبیعی خاک نمی‌باشد (چاندرا، ۲۰۱۰). پساب فاصلاب خانگی حاوی *E.coli* مدفعی به میزان زیاد می‌باشد. بنابراین بررسی میزان جذب باکتری‌های بیماریزا در گیاهانی که به عنوان علوفه و یا غذای انسان مورد استفاده قرار می‌گیرند بسیار حائز اهمیت است.

## فصل سوم

### مواد و روش

#### ۱- زمان و محل انجام آزمایش

این پژوهش در سال ۹۶-۱۳۹۵ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، با طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی و ارتفاع متوسط ۹۷۷ متر از سطح دریا اجرا شد.

### ۲-۳ مشخصات آماری پژوهش

این پژوهش از نوع گلخانه‌ای بوده و در دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا گردید. فاکتورهای مورد مطالعه شامل: کود زیستی در دو سطح مصرف ( $a_0$ ) و عدم مصرف قارچ میکوریزا آرسکولار ( $a_1$ ، آبیاری در سه سطح آبیاری با آب معمولی در تمام مراحل رشد ( $b_0$ )، آبیاری با آب معمولی و پساب به صورت یک در میان ( $b_1$ ) و آبیاری با پساب در کل دوره رشد ( $b_2$ ) و دو رقم سورگوم علوفه‌ای اسپیدفید ( $c_0$ ) و رقم محلی سیهزن سبزواری ( $c_1$ ) بودند.

$a_0 b_2 c$	$a_1 b_1 c$	$a_1 b_1 c$	$a_1 b_2 c$	$a_1 b_0 c$	$a_0 b_2 c$	$a_0 b_1 c$	$a_1 b_1 c$	$a_1 b_2 c$	$a_0 b_0 c$	$a_0 b_0 c$	$a_1 b_0 c$
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0

$a_0 b_0 c$	$a_0 b_0 c$	$a_1 b_2 c$	$a_0 b_1 c$	$a_1 b_2 c$	$a_1 b_1 c$	$a_1 b_1 c$	$a_0 b_2 c$	$a_0 b_2 c$	$a_1 b_0 c$	$a_0 b_1 c$	$a_1 b_0 c$
1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0

$a_0 b_1 c$	$a_1 b_0 c$	$a_0 b_1 c$	$a_1 b_0 c$	$a_1 b_2 c$	$a_0 b_0 c$	$a_0 b_2 c$	$a_1 b_1 c$	$a_1 b_1 c$	$a_1 b_2 c$	$a_0 b_2 c$	$a_0 b_0 c$
1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0

$a_1 b_0 c_1$	$a_1 b_2 c_0$	$a_0 b_1 c_1$	$a_1 b_2 c_1$	$a_0 b_1 c_0$	$a_0 b_0 c_0$	$a_0 b_2 c_1$	$a_1 b_1 c_0$	$a_0 b_0 c_1$	$a_1 b_1 c_1$	$a_0 b_2 c_0$	$a_1 b_0 c_0$
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

شکل ۱-۳. نقشه آزمایش

### ۳-۳ مشخصات خاک مورد استفاده

قبل از انجام آزمایش، نمونه‌ای از خاک مورد استفاده تهیه و جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه، بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی ارسال گردید.

جدول ۳-۱. مشخصات خاک مورد آزمایش

pH	هدایت الکتریکی	آهک	کربن آلی	ماسه	سیلت	رس	فسفر	پتابسیم	آهن	منگنز	روی	مس
	dS/m	درصد						کیلوگرم / میلی گرم				
۸/۱	۰/۷۰	۱۵/۷	۰/۲۲	۶۱	۳۱	۸	۴/۴	۹۳	۵/۴۴	۶/۱۲	۰/۳۰	۰/۹۲

### ۴-۳ مشخصات پساب فاضلاب شهری

به منظور بررسی ویژگیهای کیفی پساب منطقه، نمونه‌ای یک لیتری از دهانه خروجی تصفیه خانه شهر سبزوار گرفته و در ظرفی استریل ریخته شد، سپس نمونه سریعاً به آزمایشگاه آب و پساب خراسان رضوی منتقل گردید. نتایج در جدول (۲-۳) نشان داده شده است.

جدول ۲-۳. مشخصات پساب مورد آزمایش

هدایت الکتریکی	pH	کربنات	بی‌کربنات	کلر	سولفات	$\text{Mn}^{2+}$ + کلسیم	کلسیم	منیزیم	سدیم	SAR
dS/m	میلی‌گرم در لیتر									
۱/۷۶	۷/۵	۰/۰	۸/۵	۶/۵	۲/۵	۳/۸	۱/۲	۲/۶	۹/۸	۷/۱
COD	BOD	سولفات	فسفر	آهن	نیترات	میلی‌گرم در لیتر				
۲۵۶	۱۴۱	۲۳۵	۵/۴	۳	۲۳					

### ۳-۵ عملیات اجرایی

#### ۳-۵-۱ عملیات آماده‌سازی گلدان‌ها و اعمال تیمارها

جهت انجام آزمایش از ۴۸ گلدان به قطر ۳۵ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر حاوی خاک زراعی استفاده شد. پس از آماده نمودن و ایجاد زهکش مناسب در گلدان‌ها، محل تیمارهای آزمایشی به صورت تصادفی مشخص شد. در این آزمایش از روش تصادفی کردن دو مرحله‌ای استفاده شد ( بصیری، ۱۳۹۴). بدین صورت که ابتدا عمل تصادفی کردن بین گلدان‌ها در درون بلوک انجام گرفت و بلوک‌ها به صورت تصادفی مرتب شدند. سپس خاک زراعی پس از عبور از الک ۱۰ میلی‌متری، به گلدان‌ها منتقل شد. مایه تلقيح قارچ (*Glomus mosseae*) شامل خاک، بقایای ریشه‌ای و اندام قارچ بود که از شرکت زیست فناور توران شاهروд تهیه شد و به ازای هر گلدان میزان ۳۰۰ گرم مایه تلقيح با خاک مخلوط و در زیر بذرها به صورت لایه‌ای به ضخامت حدود ۳ سانتی‌متر اضافه شد. بعد از آن بذور سورگوم روی آن ریخته و با خاک پوشانده شد. ابتدا بذور به صورت متراکم در هر گلدان کشت شد و پس از سبز شدن بوته‌ها، تراکم بوته‌ها به ۵ بوته در هر گلدان کاهش یافت. پساب مورد استفاده در این پژوهش از خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرستان سبزوار، تهیه و توسط مخزن به محل گلخانه منتقل شد. جهت اعمال دقیق تیمارهای آبیاری، از ظروف پلاستیکی ۴ لیتری مدرج استفاده گردید و حجم پساب و آب مورد استفاده در گلدان‌ها در هر مرحله از آبیاری یکسان بود.

## ۳-۵-۲ عملیات داشت

آبیاری: نخستین آبیاری، بلا فاصله پس از کاشت بذور درون خاک به صورت سبك انجام شد. آبیاری دوم روز بعد و آبیاری‌های بعدی در طول فصل رشد هر ۳ الی ۴ روز یکبار بسته به نیاز گیاه انجام گرفت.

تنک کردن: با توجه به اهمیت تراکم بوته، تنک کردن در مرحله ۶ - ۴ برگی گیاهچه‌ها و با حفظ بوته‌های سالم و قوی و حذف دیگر بوته‌ها اجرا شد، به صورتی که در هر گلدان تعداد ۵ بوته باقی ماند. مبارزه با علف‌های هرز: وجین و حذف علف‌های هرز به صورت دستی در طی دوران رشد گیاه انجام شد.

مبارزه با آفات و حشرات: جهت مبارزه با آفات و حشرات از کارت زرد استفاده گردید بدین صورت که بین هر دو گلدان یک کارت زرد آویخته شد. همچنین به منظور حفاظت و کنترل عوامل بیماری‌زا، قارچ‌کش مسی با غلظت ۰/۲ درصد محلول پاشی شد.

## ۳-۶ نمونه‌برداری و اندازه‌گیری‌ها

### ۳-۶-۱ صفات زراعی و مورفولوژیک

رشد گیاهان تا یک ماه پس از آغاز رشد زایشی ادامه یافت و سپس اقدام به بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناسی اندام هوایی و ریشه شد. قبل از بررسی خصوصیات ریخت‌شناسی، شاخص کلروفیل برگ (SPAD-502 Minolta, Osaka, japan) توسط دستگاه کلروفیل‌متر دستی (SPAD-502 Minolta, Osaka, japan) اندازه‌گیری شد. بدین منظور از هر بوته سه برگ همسان (جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته) انتخاب و کلروفیل آن‌ها به وسیله دستگاه قرائت شد. ارتفاع ساقه در کلیه بوته‌ها با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری گردید. جهت بررسی خصوصیات ریخت‌شناسی ریشه، ابتدا بوته‌های سورگوم به طور کامل از خاک خارج شده و به دو بخش ریشه و ساقه تفکیک شدند. ریشه‌های هر گلدان تا جایی که امکان داشت به صورت دستی از خاک جدا گردید. برای جدا کردن ریشه‌های باقی مانده در خاک از الک ۴ میلیمتری استفاده شد. در داخل الک، خاک اطراف ریشه‌ها به صورت کامل شستشو داده شد. سپس ریشه‌ها برای بررسی خصوصیات مورفولوژیکی به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه وزن تر ریشه و ساقه با ترازوی حساس (دقت ۱۰۰۰) اندازه‌گیری شد. حدود ۳ گرم از هر نمونه ریشه با قرار گرفتن در محلول متیل بنفسن رنگ‌آمیزی و سپس توسط سیستم آنالیز ریشه (Delta-T SCAN (DTS-UM-1) جهت

اندازه‌گیری خصوصیات حجم ریشه، مجموع سطح ریشه، متوسط قطر ریشه و مجموع طول ریشه اسکن شدند. پس از بررسی خصوصیات ریخت‌شناسی ریشه، نمونه‌های ریشه جهت تعیین وزن خشک به آون به مدت ۴۸ ساعت و با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد منتقل گردید. وزن خشک ریشه‌ها با استفاده از ترازوی حساس (دقت ۱۰۰/۰) تعیین شد.

### ۲-۶-۳ مشاهده کلونیزاسیون ریشه‌ها

به منظور مشاهده اندام‌های قارچ میکوریزا آرباسکولار در بافت ریشه‌ای از نمونه‌های تهیه شده از ریشه‌ها (ریشه مویی) که در داخل محلول (۵۰ درصد آب مقطر و ۵۰ درصد الکل سفید) نگهداری شده بود، استفاده شد. جهت رنگ‌آمیزی ریشه‌ها در محیط آزمایشگاه از روش تغییر یافته فیلیپس و هیمن (۱۹۷۰) استفاده گردید. پس از شستشوی کامل ریشه‌ها با آب جهت رنگ بری، ریشه‌ها به داخل شیشه‌های حاوی KOH ۵ درصد منتقل و به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس ۳ الی ۴ بار با آب مقطر کاملاً شسته شدند و جهت خنثی کردن محیط قلیایی به مدت دو دقیقه در محلول HCl یک دهم نرمال قرار گرفتند. سپس ریشه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در محلولی با فرمولا‌سیون ۰/۶۵ گرم پودر تریپان بلو در ۳۲۵ میلی لیتر اسید لاکتیک، ۳۰۰ میلی لیتر گلیسیرین و ۴۰۰ میلی لیتر آب مقطر قرار گرفتند. در این رنگ‌آمیزی کلونی‌های همزیستی مایکوریزی به شکل نقاط کمرنگ در طول ریشه مشاهده می‌شوند (جیبووانی و موس، ۱۹۸۰).

### ۲-۶-۳-۱ اندازه‌گیری مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کارتونوئیدها

پس از اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ و ارتفاع بوته، تعدادی برگ از هر گلدان جدا گردید و جهت اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنترزی سریعاً به آزمایشگاه منتقل شد. برای سنجش میزان کلروفیل و کاروتونوئید از روش آرنون (۱۹۶۷) استفاده شد. بدین منظور:

۱. مقدار نیم گرم از ماده تر گیاهی را در هاون چینی ریخته شد، سپس با استفاده از نیتروژن مایع خرد گردید و به خوبی له شد.
۲. ۲۰ میلی لیتر استن ۸٪ به نمونه اضافه، سپس در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد و عصاره جدا شده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ را به بالن شیشه‌ای منتقل گردید.
۳. مقداری از نمونه داخل بالن را در کووت اسپکتروفوتومتر ریخته شد و سپس به طور جداگانه در طول موج های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ برای کارتونوئیدها توسط اسپکتروفوتومتر مقدار جذب را قرائت گردید.

۴. در نهایت با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a، b و کاروتینوئیدها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد.

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 * A663 - 0.86 * A645) V/100W$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 * A645 - 3.6 * A663) V/100W$$

$$\text{Carotenoides} = 100(A470) - 3.27(\text{mg chl. a}) - 104(\text{mg chl. b})/227$$

= حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

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

= وزن تر نمونه بر حسب گرم

نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی بر حسب میلی‌گرم کلروفیل بر گرم وزن تر محاسبه و ارائه گردیدند.

#### ۴-۶-۳ تعیین خصوصیات کیفی علوفه

برای تعیین خصوصیات کیفی علوفه گیاه سورگوم نمونه برداری با قیچی باغبانی و از حدود ۱ سانتی-متری از سطح خاک انجام گرفت. علوفه قطع شده در پاکت‌های کاغذی که مشخصات هر نمونه به طور کامل به وسیله برچسب روی پاکت ثبت شده بود، ریخته شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه به آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت منتقل گردید. وزن خشک اندام هوایی با ترازوی حساس (دقت ۱/۰۰۰) تعیین شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها، برای اندازه‌گیری صفات کیفی، حدود ۲۰-۱۵ گرم برگ و ساقه گیاه به وسیله آسیاب برقی به طور کامل آسیاب گردید. صفات کیفی با استفاده از دستگاه (NIR)<sup>۱</sup> در آزمایشگاه موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مرتع ایران بر اساس روش جعفری و همکاران (۲۰۰۳) استخراج گردید. در این آزمایش، درصد ماده خشک قابل هضم (DMD)<sup>۲</sup>، درصد قند محلول در آب (WSC)<sup>۳</sup>، درصد پروتئین خام (CP)<sup>۴</sup>، درصد دیواره سلولی منهای همی‌سلولز (ADF)<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup>. Near infrared spectrometer

<sup>۲</sup>. Dry matter digestibility

<sup>۳</sup>. Water soluble carbon

<sup>۴</sup>. crude protein

<sup>۵</sup>. free acid detergent fiber

درصد فیبر نامحلول (NDF)<sup>۱</sup>، درصد فیبر خالص (FIB)<sup>۲</sup> و درصد خاکستر کل (ASH)، مورد ارزیابی قرار گرفتند.

امروزه بیشتر توجه روی روش‌های فیزیکی و غیرمخرب از جمله طیف سنجی اشعه مادون قرمز نزدیک شیمیایی به کار نمی‌رود و علاوه بر این، متتمرکز شده است. در این روش، هیچ گونه محلول شیمیایی به کار نمی‌رود و دارای سرعت فوق العاده زیادی است. در ضمن اندازه‌گیری صفات کیفی به روش شیمیایی بسیار پرهزینه می‌باشد (چاره‌ساز و همکاران، ۱۳۹۰). احمدی (۲۰۰۳)، کیفیت علوفه چندگونه مرتتعی را در مراحل مختلف رشد فنولوژیکی با استفاده از دو روش آزمایشگاهی و NIR مورد مطالعه قرار داد و در نهایت روش NIR را به عنوان یک فناوری جدید، سریع، دقیق و کارآمد در اندازه‌گیری کیفیت علوفه گیاهان مرتتعی ارزیابی نمود. تکنولوژی NIR، بر اساس جذب و انعکاس اشعه مادون قرمز در طول موج‌های بین ۷۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر استوار است. در این روش اشعه بر جسم تابانیده می‌شود و انرژی منعکس شده (R)، از نمونه به صورت لگاریتمی اندازه‌گیری می‌شود و بر اساس برآذش معادلات خطی رگرسیونی چند متغیره بین انرژی‌های منعکس شده از جسم و داده‌های شیمیایی، دستگاه کالیبره می‌شود (چاره‌ساز و همکاران، ۱۳۹۰). گزارشات متعددی، از جمله باربر و همکاران (۱۹۹۰)، در مورد کارایی NIR به عنوان جایگزینی مناسب برای اندازه‌گیری صفات کیفی، در گیاهان علوفه‌ای گزارش شده است.

### ۳-۶-۵ اندازه‌گیری فسفر به روش کالریمتری (رنگ زرد مولیبدات و آنادات)

این اندازه‌گیری از عصاره حاصل از اندام‌های هوایی در مرحله رویشی گیاه به روش زیر انجام می‌شود:

۱- هضم در بالن ژوژه به کمک اسید سولفوریک- اسید سالیسیلیک- آب اکسیژنه

۲- قرائت در دستگاه اسپکتروفوتومتر یا کالریمتر با طول موج ۴۷۰ نانومتر

۳- تعیین میزان فسفر در نمونه خشک گیاه بر حسب گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر (امامی، ۱۳۷۵).

$$(a - b) \times \frac{v}{2000w} \times \frac{100}{D.M}$$

a- غلظت فسفر در نمونه بر حسب میلی‌گرم در لیتر

b- غلظت فسفر در شاهد بر حسب میلی‌گرم در لیتر

<sup>1</sup>.Neutral detergent fiber

<sup>2</sup>.Fiber

v- حجم نهائی عصاره در مرحله هضم بر حسب میلی لیتر

w- وزن نمونه گیاه خشک مورد استفاده جهت هضم بر حسب گرم

D.M- درصد ماده خشک گیاه

### ۳-۶-۶ تجزیه باکتریولوژی نمونه فاضلاب تصفیه شده

نمونه فاضلاب تصفیه شده از کanal خروجی تصفیه خانه در بطری یک لیتری شیشه‌ای استریل جمع- آوری و در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری و سریعاً مورد استفاده قرار گرفت. کیفیت باکتریایی پساب به روش بیشترین تعداد احتمالی تعیین گردید.

### ۳-۶-۷ تجزیه باکتریولوژی نمونه‌های خاک

در انتهای فصل رشد و یک روز بعد از اتمام آخرین مرحله آبیاری، از وسط گلدان‌های آبیاری شده با پساب و تناوب پساب و آب معمولی، با استفاده از قاشق فلزی استریل خاک سطحی کنار زده شد و بلافضله با اسپیتول استریل دیگری ۲۰ گرم خاک از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک مربوطه برداشته و در ظروف شیشه‌ای استریل جمع آوری و در ظرف حاوی یخ در حدود دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شدند و سریعاً جهت تجزیه میکروبی مورد استفاده قرار گرفتند.

در انتهای فصل رشد، آزمایش فرعی جهت ارزیابی شدت کاهش در تعداد میکرووارگانیسمها با گذشت زمان بعد از آبیاری با فاضلاب تصفیه شده انجام گردید، بدین منظور نمونه‌های خاک در تیمار آبیاری با پساب و تیمار پساب و آب معمولی به صورت یکی در میان در ۴ تکرار پس از گذشت ۰، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت از کاربرد فاضلاب تصفیه شده، از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک جمع آوری شدند. سپس باکتری‌های کلی فرم کل و مدفوعی در نمونه‌های خاک با روش بیشترین تعداد احتمالی (MPN)<sup>۱</sup> شمارش گردید.

### ۳-۶-۸ تجزیه باکتریولوژی نمونه‌های گیاه

برای تجزیه باکتریایی گیاه، در انتهای فصل رشد و ۲۴ ساعت پس از اتمام آبیاری نهایی گلدان‌ها، به صورت تصادفی بوتهایی انتخاب گردید و سطح برگ‌های قدیمی (پایین بوته و نزدیک به سطح زمین)، برگ‌های جدید (بالای بوته و دورتر از سطح زمین) با آب استریل شسته و محلول حاصل از

<sup>1</sup>. Most Probable Number

شستشو در ظروف استریل جمع‌آوری گردید و باکتری‌های آن با روش بیشترین تعداد احتمالی (MPN) شمارش شدند.

### ۷-۳ روش MPN

یکی از روش‌های مرسوم و مورد اعتماد برای شمارش باکتری‌های کلی‌فرم، استفاده از روش تخمیر چند لوله‌ای یا اصطلاحاً شمارش میکروارگانیسم‌ها به روش بیشترین تعداد احتمالی (MPN) است. در این آزمون برای شمارش کلی‌فرم‌ها از محیط کشتی استفاده می‌شود که محتوی قند لاکتوز باشد (گرینبرگ و همکاران، ۱۹۸۵). هدف از انجام این آزمون تعیین تعداد توتال کلی‌فرم و فکال کلی‌فرم و تعیین میزان آلودگی مدفوعی در نمونه‌ها می‌باشد. این آزمون به شیوه تخمیر چند‌لوله‌ای انجام می‌شود و شامل سه مرحله احتمالی، تأییدی و تكمیلی است.

### ۷-۴ آزمایش احتمالی

در این آزمایش ابتدا ۵ گرم از نمونه (خاک، برگ، دانه و ساقه) به ۴۵ میلی‌لیتر مایع رقیق کننده فسفات بافر اضافه کرده و به مدت ۳۰ دقیقه روی شیکر قرار داده شد. سپس برای انجام آزمون احتمالی، تلقیح نمونه‌های فوق به محیط کشت لاکتوز براث همراه لوله درهایم با روش ۹ لوله‌ای به صورت دهدۀ (۱۰ میلی‌لیتر به لاکتوز براث دو غلظتی، ۱ میلی‌لیتر و ۰/۱ میلی‌لیتر به لاکتوز براث یک غلظتی) انجام گرفت. کلیه این عملیات باید در شرایط آسپتیک و با دقت انجام شود که از آلودگی‌های ثانویه مبرا باشد. پس از تلقیح نمونه، لوله‌ها در دمای  $35 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور قرار داده شدند. بعد از گذشت مدت مذکور، لوله‌ها از نظر تولید گاز مورد آزمایش قرار گرفتند. لوله‌هایی که در آنها گاز تولید شد به عنوان مثبت یادداشت گردید. برای جلوگیری از اشتباه و اینکه آیا گازها در لوله‌های درهایم تولید شده و یا اینکه حباب‌های ریز هوا در آن بوجود آمده، می‌توان با ضربه زدن به دیواره لوله از نتیجه آزمایش اطمینان حاصل کرد. در صورتی که همه لوله‌ها و یا بعضی از آنها منفی و بدون گاز باشند، باید دوباره آنها را به مدت ۲۴ ساعت دیگر در انکوباتور قرار داده و پس از سپری شدن مدت مذکور لوله‌های با گاز را به عنوان مثبت یادداشت نمود. بنابراین، در این آزمایش، پیدایش گاز در زیر لوله‌های درهایم دلیل بر وجود کلی‌فرم و عدم تولید گاز در هیچ کدام از لوله‌ها، دلیل بر منفی بودن آزمایش احتمالی یعنی نبودن کلی‌فرم‌ها در نمونه مورد آزمایش است. نتایج این مرحله بر حسب رقت و تعداد لوله‌های مثبت بصورت کد سه رقمی یادداشت گردید. برای تخمین کلی‌فرم‌ها در ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه و یا به عبارت دیگر برای تعیین بیشترین تعداد احتمالی (M.P.N) کلی‌فرم‌ها در ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه از جداول شمارش احتمالی استفاده شد.

در صورتیکه جدول در اختیار نباشد و یا شمارش بدست آمده با جدول قابل تطبیق نباشد، می‌توان برای بدست آوردن MPN در ۱۰۰ میلی لیتر از فرمول زیر استفاده کرد:

$$MPN \text{ در } 100 \text{ میلی لیتر} = \frac{\text{تعداد لوله های مثبت} * 100}{\sqrt{\text{میلی لیتر نمونه در لوله های منفی} * \text{میلی لیتر نمونه در تمام لوله ها}}}$$

## ۲-۷-۳ آزمایش تأییدی

از آنجا که باکتری‌های دیگری غیر از کلیفرم‌ها نیز قادر به تخمیر لاکتوز و تولید گاز هستند، نمی‌توان گفت که گاز تولید شده در لوله‌های درهام در آزمایش احتمالی فقط مربوط به آنودگی کلیفرم‌هاست، بنابراین برای بدست آوردن اطمینان بیشتر از نتیجه آزمایش، باید آزمایش تأییدی انجام شود. از آنجایی که در این مرحله علاوه بر کلیفرم‌ها باکتری‌های دیگری هم هستند که می‌توانند نتیجه‌های مشابه کلیفرم‌ها بدهند در مرحله بعد لازم است حضور کلیفرم‌ها در هر یک از این لوله‌های مثبت تأیید شود. برای این منظور، از هر یک از لوله‌هایی که از نظر حضور کلیفرم مثبت بودند (احتمالاً در آن‌ها کلیفرم رشد کرده) تلقیح از لاکتوز براث به محیط کشت برلیان گرین لاکتوز بایل براث (BGLB) انجام شد. این محیط طبق دستور کارخانه سازنده آماده و در لوله‌های آزمایش حاوی لوله دورهام توزیع و استریل گردید. تمام لوله‌های آزمایش مرحله احتمالی که پس از ۲۴ یا ۴۸ ساعت گرم‌گذاری، رشد زیاد و تشکیل هر میزان گاز و یا رشد اسیدی در آنها مشاهده شده است، برای مرحله تأییدی آزمایش می‌شوند. چنانچه فعالیت تخمیری یا رشد اسیدی زیاد، در لوله‌های اولیه زودتر از ۲۴ ساعت ظاهر گردید، می‌توان آنها را پیش از اتمام زمان ۲۴ ساعت به مرحله تأییدی منتقل نمود. لوله‌های مرحله اول را که تولید گاز و اسید در آنها مشاهده شد به آرامی چرخانده یا تکان داده شدند تا میکروارگانیزم‌ها در آن به صورت شناور درآیند. ۱ میلی لیتر از محلول داخل لوله به لوله تخمیر دوم حاوی محیط BGL broth منتقل گردید. لوله‌های حاوی محیط کشت و نمونه آماده شده در این مرحله به مدت ۴۸ ساعت در  $42 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد در بن‌ماری قرار داده شدند. در این مرحله فقط تولید گاز ملاک مثبت بودن آزمایش است. سپس کد سه رقمی بر اساس تعداد لوله‌های مثبت هر رقت یادداشت گردید.

## ۸-۳ تجزیه و تحلیل آماری

پس از جمع آوری کلیه داده ها، تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.4 انجام شد و جداول و نمودارها با استفاده از نرم افزارهای Word و Excel ترسیم گردید. مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح آماری ۵ درصد صورت گرفت.



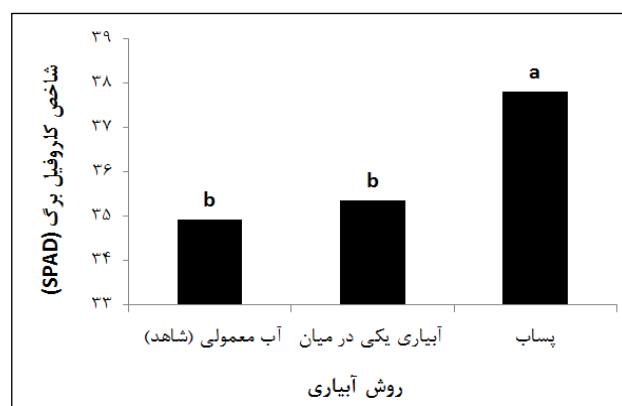
# فصل چهارم

## نتیجه و بحث

#### ۴-۱-۱ شاخص کلروفیل برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر رقم و میکوریزا بر شاخص کلروفیل برگ معنی‌دار نبود در حالی که روش آبیاری تأثیر معنی‌داری بر این صفت در سطح آماری ۵ درصد داشت (جدول ۱ پیوست).

آبیاری با پساب تصفیه شده فاضلاب در تمام دوره رشد باعث افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ نسبت به تیمار شاهد شد. تفاوت آماری معنی‌داری بین تیمار آبیاری با پساب و آب معمولی به صورت یکی در میان با تیمار شاهد مشاهده نشد. بیشترین شاخص کلروفیل در تیمار آبیاری با پساب تصفیه شده فاضلاب مشاهده شد (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱. اثر روش آبیاری بر شاخص کلروفیل سورگوم

پساب فاضلاب شهری منبعی سرشار از عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و دیگر عناصر ضروری برای رشد گیاهان است (ماله و همکاران، ۲۰۰۲). نیتروژن عنصری است که عرضه آن به وسیله انسان قابل تنظیم است. این عنصر نقش اساسی در باروری گیاهان ایفا می‌کند، زیرا یک ترکیب اصلی در اسیدهای آمینه، پروتئینها، اسیدهای نوکلئیک و کلروفیل می‌باشد و از یک سو نقش اساسی در ساختمان کلروفیل داشته. به علاوه نیتروژن نقش ویژه‌ای در استقرار گیاه و کسب توانایی‌های فتوسنترزی و فیزیولوژیکی متعدد دارد، و از سوی دیگر مهمترین عنصر در سنتز پروتئین می‌باشد و افزایش آن در شرایط مطلوب تا حد مشخصی موجب افزایش میزان پروتئین می‌گردد، لذا با افزایش میزان پروتئین در گیاه سطح برگ بیشتر می‌شود و در نتیجه میزان کلروفیل و به طبع آن مواد فتوسنترزی افزایش می‌یابد (رحمانی و همکاران، ۲۰۰۸). بنابراین به نظر می‌رسد بهبود شرایط تغذیه‌ای خاک برای رشد گیاه در نتیجه آبیاری با پساب می‌تواند یکی از عوامل افزایش شاخص کلروفیل برگ گیاه سورگوم باشد.

صالحی (۱۳۸۰) بیان کرد وظیفه اصلی نیتروژن تکثیر سلولی، افزایش طول سلول و تمایز سلول است. با تأمین نیتروژن کافی، گیاه بلندتر شده شاخه‌ها و برگ‌های با کلروفیل بیشتری تولید نموده و سطح فتوسنتر کننده افزایش می‌باید. فتوسنتر یکی از مهمترین شاخص‌های فعالیت فیزیولوژیک گیاه است که وابسته به محتوای کلروفیل در گیاه می‌باشد. محققان ملاحظه کردند که محصول آبیاری شده با فاضلاب از رشد بیشتر و رنگ سبز تیره‌تری برخوردار بود (آسانو، ۱۹۸۷). در پژوهشی که توسط اسماعیلیان و همکاران (۱۳۸۸)، بر روی گیاه ذرت انجام شد، مشخص گردید که آبیاری با پساب تاثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل برگ‌ها دارد و سبب افزایش کلروفیل به میزان ۲۲/۵۴ درصد در مقایسه با کاربرد آب آبیاری معمولی در برگ‌های ذرت گردید.

آسانو (۱۹۸۷) نیز گزارش کرد که محصول آبیاری شده با فاضلاب از رشد بیشتر و رنگ سبز تیره‌تری برخوردار بود. تحقیقات نشان داده محتوی کلروفیل برگ‌ها تحت تأثیر عناصر غذایی موجود در پساب افزایش می‌باید. فیبو و همکاران (۱۹۹۸)، عنوان کردند بین شاخص کلروفیل برگ و میزان نیتروژن قابل جذب گیاه در خاک، رابطه خطی مثبت و معنی دار وجود دارد. معدنی شدن نیتروژن در خاک-های اصلاح شده با پسماندهای آلی یک فرآیند پیچیده بوده و به ویژگی‌های خاک از قبیل نوع خاک، pH، دما، تهویه، رطوبت، نوع و مقدار پسماند آلی افزوده شده بستگی دارد. لذا شاخص کلروفیل برگ‌های گیاه می‌تواند تحت تأثیر این عوامل قرار گیرد. در همین رابطه، محمودی و همکاران (۱۳۹۳)، گزارش کردند افزایش شاخص کلروفیل برگ‌های گیاه یونجه با مصرف کمپوست لجن فاضلاب می‌تواند به علت افزایش غلظت عناصر غذایی در خاک (به ویژه نیتروژن)، بر اثر مصرف کمپوست باشد. در یک بررسی عباسی و همکاران (۱۳۹۲)، نشان دادند که با افزایش سطح لجن فاضلاب، شاخص کلروفیل برگ‌ها افزایش یافت.

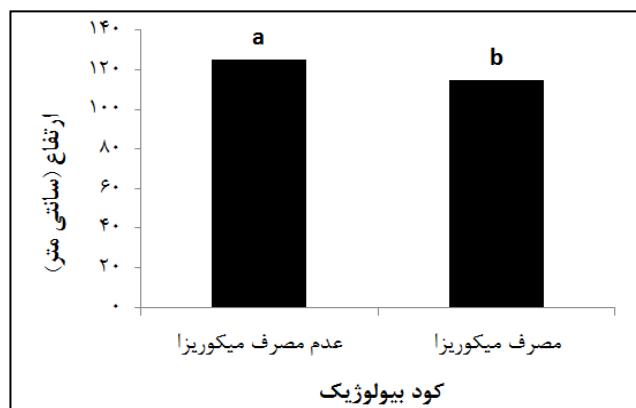
شبانیان و بروجنی (۱۳۸۴)، گزارش کردند که غلظت کلروفیل در گیاهان چمن و قرنفل تحت تأثیر آبیاری با پساب کارخانه پلی‌اکریل قرار داشتند به صورت معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. در پژوهشی مشخص شد که افزایش مواد غذایی در محیط کشت آبی باعث افزایش کلروفیل در گیاه مرزنجوش می‌شود (چولووک، ۲۰۰۱).

## ۴-۱-۲ ارتفاع بوته

ارتفاع نهایی گیاه معمولاً تحت تأثیر عوامل ژنتیکی می‌باشد ولی محیط نیز ارتفاع بوته را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ارتفاع بوته جزء مهمی در تعیین عملکرد نمی‌باشد، ولی احتمالاً ارقام با ارتفاع بلندتر عملکرد ماده خشک بیشتری دارند (سلیمی، ۱۳۸۹).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که همزیستی میکوریزا تأثیر معنی‌داری بر میانگین ارتفاع گیاه سورگوم داشت (جدول ۱ پیوست)، بطوری که در شرایط عدم استفاده از کود بیولوژیک گیاهان از ارتفاع بیشتری برخودار بودند (شکل ۲-۴). سایر منابع تغییر بر ارتفاع بوته تأثیر معنی‌داری نشان ندادند.

این کاهش ارتفاع احتمالاً به دلیل رقابت میکوریزا با گیاه برای دسترسی به مواد فتوسنترزی می‌باشد. همزیستی با میکوریزا همواره سبب بهبود رشد گیاه نمی‌گردد و در برخی موارد می‌تواند دارای اثرات منفی بر خصوصیات رشدی داشته باشد.



شکل ۲-۴. اثر کود بیولوژیک بر ارتفاع سورگوم

اردکانی و همکاران (۱۳۹۱)، گزارش کردند که صفت ارتفاع گیاه برنج در شرایط همزیستی میکوریزا کاهش یافت. در همین راستا ابوطالبیان و خلیلی (۱۳۹۳)، کاهش ارتفاع گیاه سویا را در اثر تلقیح با میکوریزا گزارش کردند. نتایج آزمایشات مختلف درباره تأثیر قارچ میکوریزا بر ارتفاع گیاهان ضد و نقیض می‌باشد. بطوری که گزارش شده است، تلقیح گیاه برنج با قارچ AM، منجر به افزایش ارتفاع گیاه نسبت به شاهد می‌شود (یاسمین و زمانی، ۲۰۰۷). همچنین در یک آزمایش همزیستی گیاه برنج با میکوریزا هیچ تأثیری بر ارتفاع گیاه نداشت. نتایج پژوهش حاضر که با نتایج سسیلیا و بگی آراج (۱۹۹۲) مطابقت دارد، نشان داد که قارچ میکوریزا منجر به کاهش ارتفاع گیاه می‌گردد.

### ۳-۱-۴ وزن خشک اندام هوایی

جدول تجزیه واریانس نشان داد، روش آبیاری بر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱ پیوست). استفاده از پساب فاضلاب در کل دوره رشد و همچنین آبیاری به صورت یک در میان با پساب، باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با شاهد (آب معمولی) گردید. بیشترین وزن خشک اندام هوایی در شرایط آبیاری با پساب تولید شد که تفاوت معنی‌داری با آبیاری به صورت یک در میان با پساب نداشت و در یک گروه آماری قرار داشتند. کمترین میزان مربوط به شاهد (آب معمولی) بود که با توجه به نقش پساب در تأمین سریع و کافی عناصر غذایی خصوصاً نیتروژن، منطقی است (شکل ۳-۴). عنوان شده است که در شرایط کمبود نیتروژن بدلیل کاهش مقدار کلروفیل و فعالیت روبیسکو، رشد و نمو بازداشته شده و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (گلشن، ۱۳۹۳).



شکل ۳-۴. اثر روش آبیاری بر وزن خشک اندام هوایی سورگوم

افزایش عملکرد علوفه خشک گیاهان در واکنش به مصرف پساب فاضلاب را می‌توان با وجود مقادیر مناسب عناصر غذایی از جمله نیتروژن و فسفر در پساب مرتبط دانست، که باعث رشد بهتر گیاه گردیده است. از آنجایی که برگ‌ها محل فتوسنترز می‌باشند این روند افزایشی را می‌توان به شرایط فیزیولوژیکی بهتر گیاه در اثر جذب عناصر غذایی و متابولیسم بیشتر و نیز شرایط مطلوب‌تر محیطی که در اثر دستررسی کافی به عناصر غذایی به وجود آمده، همچنین افزایش شاخص کلروفیل و در نتیجه افزایش وزن برگ‌ها مرتبط دانست.

استفاده از پساب در آبیاری موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش تأمین عناصر غذایی و در نتیجه افزایش وزن خشک گیاه می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۰۹). در پژوهشی، میزان عملکرد علوفه سورگوم علوفه‌ای تحت تأثیر شیوه‌های مختلف آبیاری با فاضلاب تصفیه شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه از تیمار فاضلاب و آب معمولی به صورت یک در میان و آبیاری با فاضلاب در کل دوره رشد به دست آمد و آبیاری با فاضلاب به

دلیل وجود عناصر غذایی همراه، سبب افزایش حجم و آماس بیشتر سلول‌ها و در نتیجه منجر به افزایش وزن تر و وزن خشک برگ در مقایسه با شاهد گردید (جلالی و همکاران، ۲۰۱۰). النگار و القامری بیان داشتند که افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان پس از مصرف فاضلاب ناشی از زیادی غلظت نیتروژن و عناصر کم مصرف در فاضلاب نسبت به خاک می‌باشد (منصوری، ۱۳۹۲).

دانش (۱۳۷۰) نیز در تحقیقات خود بر روی چوندرقند استفاده از پساب را عامل افزایش ماده خشک ذکر کرد. طه و همکاران (۲۰۰۲)، گزارش کردند که آبیاری سورگوم با فاضلاب در مقایسه با آب معمولی به صورت معنی‌داری سبب افزایش عملکرد ماده خشک و ارتفاع بالای گیاه می‌شود. فتح‌العلومی و همکاران (۱۳۹۴)، گزارش کردند که با افزایش میزان لجن فاضلاب، وزن خشک اندام هوایی گندم افزایش یافت. در تحقیقی مشابه که بر روی گیاه آفتتابگردان روغنی انجام گرفت مشخص شد که شرایط تیمار با پساب، بیشترین وزن خشک برگ و ساقه را نسبت به سایر تیمارها تولید نمود (۲۰۱۴). بر اساس تحقیق ترابیان و همکاران (۱۳۹۴) تیمار‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد پساب، به ترتیب سبب ۱۴، ۲۰، ۳۶ و ۳۷ درصد افزایش در وزن خشک اندام هوایی گیاه بامیه می‌شود. عرفانی و همکاران (۱۳۸۱)، نیز نشان دادند که وزن اندام هوایی، اندام زیرزمینی، کل ماده تر و خشک گیاهی کاهو در تیمار آبیاری با فاضلاب تصفیه شده افزایش معنی‌داری داشت.

#### ۴-۱-۴ وزن خشک ریشه

ریشه گیاه به عنوان اندام جذب آب و عناصر غذایی از خاک و اندام تولید کننده ترکیبات مختلف از جمله هورمون‌های رشد، برای رشد و نمو گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (پدرنا و همکاران، ۲۰۰۷). بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱ پیوست)، اثرات اصلی رقم، کود بیولوژیک و روش آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل رقم × کود بیولوژیک در سطح احتمال ۵ درصد بر وزن خشک ریشه معنی‌دار شدند.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، آبیاری با پساب بیشترین و تیمار شاهد (آب معمولی) کمترین وزن خشک ریشه را به خود اختصاص دادند. بین تیمار آبیاری با پساب تصفیه شده فاضلاب در تمام دوره رشد و آبیاری با پساب و آب معمولی به صورت یکی در میان تفارت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴-۴). افزایش وزن خشک ریشه با کاربرد فاضلاب می‌تواند به علت افزایش جذب عناصر و آب و در نتیجه افزایش سرعت فتوسنتر خالص و به دنبال آن افزایش سنتز مواد فتوسنتری و انتقال آنها به ریشه‌ها باشد (محمودی و همکاران، ۱۳۹۳).



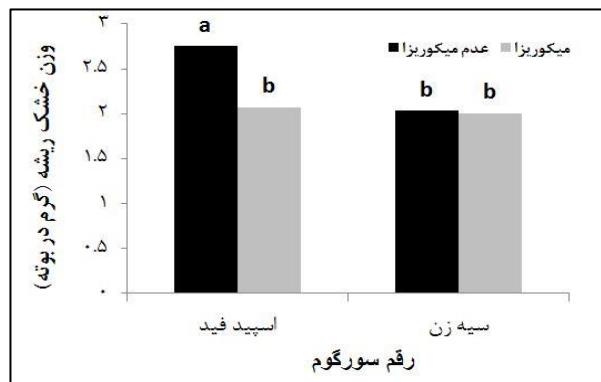
شکل ۴-۴. اثر روش آبیاری بر وزن خشک ریشه سورگوم

در آزمایشی که در مورد اثرات فاضلاب خانگی بر پارامترهای رشد گیاه سورگوم انجام گرفت، افزایش زیادی در طول ساقه و تعداد برگ‌های گیاه و نسبت کل سطح برگ به گیاه و وزن خشک ریشه و ساقه گیاه *Sorghum dura* که با پساب آبیاری شده بود نسبت به کنترل مشاهده گردید (زادیا، ۲۰۰۵). امین و همکاران (۲۰۰۹)، نیز نتایج مشابهی گزارش کردند. آن‌ها علت افزایش وزن خشک ریشه گیاه باقلاً را با کاربرد لجن فاضلاب، به علت افزایش تقسیم سلولی مربوط دانسته‌اند. پال و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش کردند، عملکرد وزن خشک ریشه رابطه مستقیمی با بهبود وضعیت عناصر غذایی خاک و بهبود ساختمان خاک دارد. همچنین افزایش عملکرد ماده خشک ممکن است به دلیل افزایش نیتروژن و کربن آلی خاک باشد که به دنبال آن رشد ریشه گیاه و در نتیجه تولید افزایش می‌یابد (میرزایی و همکاران، ۱۳۸۸). در گیاه بامیه، تیمارهای آبیاری با ۵۷ و ۱۰۰ درصد پساب، باعث افزایش ۱۶ درصدی وزن خشک ریشه گردید (تراویان و همکاران، ۱۳۹۴). محققان در بررسی اثر پساب تصفیه شده شهرکرد بر ویژگی‌های رشدی گیاه بادرنجبویه نشان دادند که بیشترین مقدار وزن خشک ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد پساب بدست آمد (علی‌نژاد‌جهرمی و همکاران، ۱۳۹۱).

همانگونه که عکس‌العمل گیاهان نسبت به گونه‌های میکوریزا می‌تواند متفاوت باشد عکس‌العمل ارقام مختلف سورگوم در تلقیح با میکوریزا قابل تأمل است. با توجه به نتایج مقایسات میانگین اثر متقابل رقم و میکوریزا معنی‌دار شد. بیشترین وزن خشک ریشه در رقم اسپیدفید و در شرایط عدم تلقیح با قارچ میکوریزا مشاهده گردید. در حالی که در رقم سیه‌زن وزن خشک ریشه در شرایط تلقیح و عدم تلقیح اختلاف معنی داری نداشت (شکل ۴-۵).

گو و همکاران (۱۹۹۷) نشان دادند که کلنی‌زایی میکوریزا وزیکولار آربوسکولار در گندم به طور معنی‌داری وزن ماده خشک اندام هوایی، ریشه‌ها و کاه را در هنگام رسیدگی کاهش داد. طی پژوهشی عظیمی و همکاران (۱۳۹۱) اعلام کردند که همزیستی آویشن باغی با *G. intraradices* سبب کاهش

برخی صفات مورفولوژیکی شد یا اینکه اثری نداشت. علت این که بعضی از گیاهان نمی‌توانند با میکوریزا ارتباط برقرار کنند به طور کامل شناخته نشده است ممکن است به خاطر ترکیبات ضد قارچی باشد که از ریشه گیاه ترشح می‌شود (تاینکر، ۱۹۸۰). در تحقیقی، استفاده از باکتری آزوسپیریلوم برای هر گیاه باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی و کاهش سطح ویژه ریشه گردیده است.



شکل ۴-۵. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر وزن خشک ریشه گیاه سورگوم

#### ۴-۱-۴ مجموع سطح ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی کود بیولوژیک و روش آبیاری همچنین اثر متقابل رقم × کود بیولوژیک، رقم × روش آبیاری و کود بیولوژیک × روش آبیاری بر مجموع سطح ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند (جدول ۱ پیوست).

همانطور که شکل (۴-۶) نشان می‌دهد، تلقیح میکوریزا باعث کاهش معنی‌دار سطح ریشه در گیاه سورگوم شد. لازم به ذکر است که بین رشد اندام‌های هوایی و ریشه رابطه تنگاتنگی وجود دارد و رشد و گسترش هر یک لازمه رشد مطلوب دیگری می‌باشد. با توجه به حداکثر بودن ارتفاع بوته در شرایط عدم تلقیح مایکوریزا در بوته‌های سورگوم، دارا بودن بیشترین سطح ریشه در این شرایط منطقی به نظر می‌رسد.

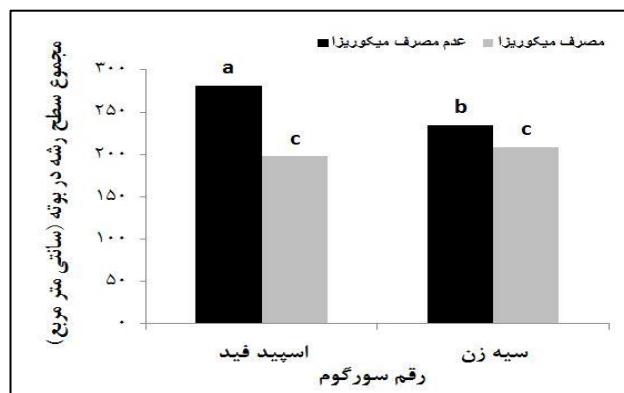
بر اساس تحقیقات فالیک و اوکن (۱۹۸۸)، استفاده کود بیولوژیک در گیاه ذرت، باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی و کاهش سطح ویژه ریشه گردید. این محققان علت احتمالی کاهش سطح ویژه ریشه در گیاه‌چهای ذرت را به تولید مقدار زیاد هورمون‌های اکسین، سیتوکینین و جیبرلین توسط کود زیستی نسبت داده‌اند، زیرا مقدار زیاد این هورمونها باعث توقف رشد ریشه می‌گردد. اما اسمیت و

همکاران (۲۰۰۴) دریافتند که قارچ برای رشد خود به فسفر نیاز دارد و ممکن است فسفر جذب شده را جهت مصرف خود اختصاص داده و به گیاه منتقل نکند.



شکل ۴-۶. اثر کود بیولوژیک بر مجموع سطح ریشه سورگوم

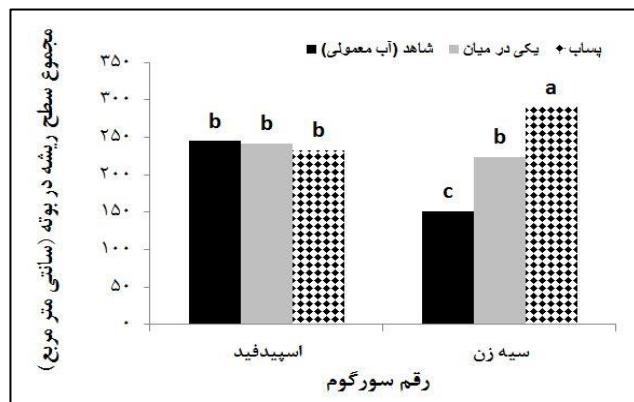
عدم تلقیح مایکوریزا در هر دو رقم سورگوم باعث افزایش معنی‌دار مجموع سطح ریشه در مقایسه با شرایط تلقیح مایکوریزا گردید. بیشترین مجموع سطح ریشه در شرایط عدم تلقیح مایکوریزا و در رقم اسپیدفید مشاهده شد که از افزایش معنی‌دار نسبت به مجموع سطح ریشه رقم سیه‌زن در شرایط مشابه برخوردار بود. تفاوت آماری معنی‌داری بین مجموع سطح ریشه ارقام سیه‌زن و اسپیدفید در شرایط تلقیح مایکوریزا مشاهده نشد (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۷. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر مجموع سطح ریشه سورگوم

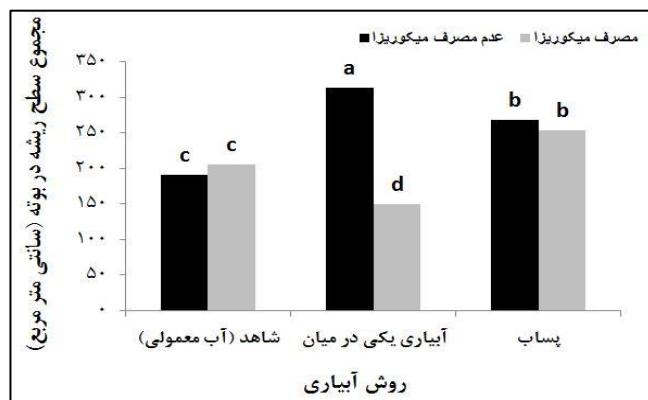
شکل (۴-۸) نشان می‌دهد، کاربرد پساب مجموع سطح ریشه در رقم سیه‌زن را تحت تأثیر قرار داد به طوری که رقم سیه‌زن در شرایط استفاده از پساب (کل دوره رشد و یا آبیاری به صورت یکی در میان) از مجموع سطح بالاتری نسبت به شاهد برخوردار شد. بیشترین میزان سطح ریشه با افزایش غلظت پساب و در شرایط کاربرد پساب در کل دوره رشد بدست آمد. مسلماً تغذیه کامل‌تر بوته‌ها، توسط

عناصر موجود در پساب موجب رشد ریشه و در نتیجه افزایش سطح ریشه گردیده است. در رقم اسپیدفید بین روش‌های آبیاری تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد.



شکل ۴-۸. اثر متقابل رقم و روش آبیاری بر مجموع سطح ریشه سورگوم

نتایج مقایسات میانگین نشان داد که در شرایط عدم تلقیح میکوریزا استفاده از پساب (کل دوره رشد و یا آبیاری به صورت یکی در میان)، منجر به افزایش مجموع سطح ریشه نسبت به شاهد (آب معمولی) شد، در شرایط تلقیح میکوریزا کاربرد پساب و آب معمولی به صورت متناوب مجموع سطح ریشه را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری کاهش داد. بیشترین مجموع سطح ریشه در تیمار آبیاری به صورت یکی در میان و شرایط عدم تلقیح میکوریزا مشاهده گردید (شکل ۹-۴).



شکل ۴-۹. اثر متقابل کود بیولوژیک و روش آبیاری بر مجموع سطح ریشه سورگوم

فاضلاب می‌تواند بخش بزرگی از نیتروژن مورد نیاز محصولات را تأمین نماید. اپستین و همکاران (۱۹۷۶)، گزارش کردند که افزودن فاضلاب به خاک، فسفر قابل جذب گیاه در خاک را افزایش می‌دهد. در حالی که افزایش ماده آلی توانایی خاک را در جذب فسفر کاهش می‌دهد. زیرا اسیدهای آلی

از این مواد به صورت تبادل لیگاندی، جذب سطح شده و برای محلهایی که جذب صورت می‌گیرد، با فسفر رقابت می‌کند.

کلونیزایی میکوریزایی علاوه بر نوع گیاه و سیستم ریشه‌ای به غلظت فسفر خاک نیز بستگی دارد. سطوح بسیار بالا و بسیار پایین فسفر خاک ممکن است سبب کاهش کلونیزایی میکوریزایی شود (اسمیت و رید، ۲۰۰۸).

همچنین به نظر می‌رسد استفاده از پساب منجر به افزایش جمعیت میکروبی خاک شده و افزایش جمعیت میکروبی، عملکرد میکوریزا را تحت تاثیر قرار داده است و رقابت بر سر کسب منابع غذایی بین جمعیت میکروبی خاک و گیاه تلقیح شده با میکوریزا در شرایط آبیاری با پساب، رشد ریشه را کاهش داده است. نیز کاهش رشد ریشه در شرایط پساب و تلقیح میکوریزا ممکن است به این دلیل باشد که میکوریزا در این شرایط به صورت انگل عمل نموده است. حجتی و همکاران (۱۳۸۵) در بررسی کاربرد سطوح مختلف لجن بر شاخص بیومس میکروبی خاک نشان دادند که افزایش سطح لجن باعث افزایش بیومس میکروبی خاک شده است که دلیل آن را افزایش سطح کربن آلی ذکر کردند. با افزایش کربن آلی، میزان سوبسترای مورد نیاز جمعیتهای میکروبی هتروتروف افزوده شده و ناگزیر جمعیت میکروبی افزایش می‌یابد.

#### ۴-۱-۶ حجم ریشه

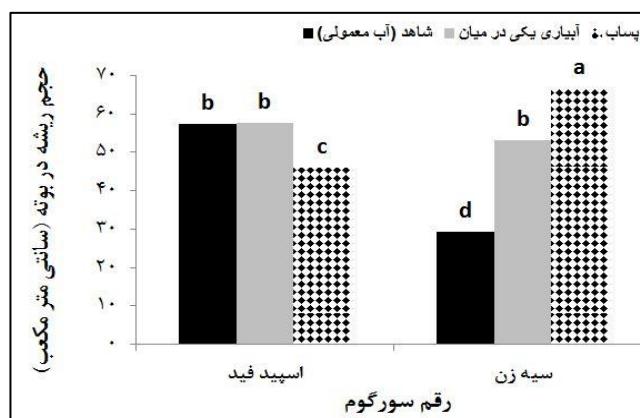
بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش اثرات اصلی کود بیولوژیک و روش آبیاری همچنین اثرات متقابل کود بیولوژیک × روش آبیاری، رقم × کود بیولوژیک و رقم × روش آبیاری بر حجم ریشه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شدند (جدول ۱ پیوست).

در شرایط کاربرد میکوریزا، تفاوت معنی‌داری بین ارقام سورگوم در رابطه با حجم ریشه مشاهده نشد، اما حجم ریشه رقم اسپیدفید در شرایط عدم تلقیح میکوریزا به طور قابل توجهی بیشتر از رقم سیهزن بود. هر دو رقم سورگوم (اسپیدفید و سیهزن) در شرایط عدم تلقیح میکوریزا حجم ریشه بیشتری را نسبت به شرایط تلقیح میکوریزا تولید کردند. (شکل ۴-۱۰). علی‌رغم یافته‌های متعدد در افزایش رشد ریشه در اثر کاربرد کودهای بیولوژیک تحقیقات دیگری به طور واضح کاهش در بیوماس و حجم ریشه را گزارش کرده‌اند. احتمالاً تنافقات اشاره شده در منابع به دلیل ژنتیک ارقام مطالعه شده بوده است (باشان و همکاران، ۲۰۰۴).



شکل ۴-۱۰. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر حجم ریشه سورگوم

با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم  $\times$  روش آبیاری، استفاده از پساب در کل دوره رشد باعث کاهش معنی‌دار حجم ریشه رقم اسپیدفید و افزایش حجم ریشه رقم سیه‌زن در مقایسه با سایر روش‌های آبیاری گردید (شکل ۱۱-۴). به نظر می‌رسد بهبود تغذیه گیاه و افزایش نیتروژن و کربن آلی خاک در شرایط استفاده از پساب باعث رشد ریشه گیاه شده است. ریشه‌زایی در ناحیه‌ای که غلظت عناصر غذایی به ویژه نیتروژن بالا است چندین برابر افزایش می‌یابد (مارشner، ۲۰۰۳).

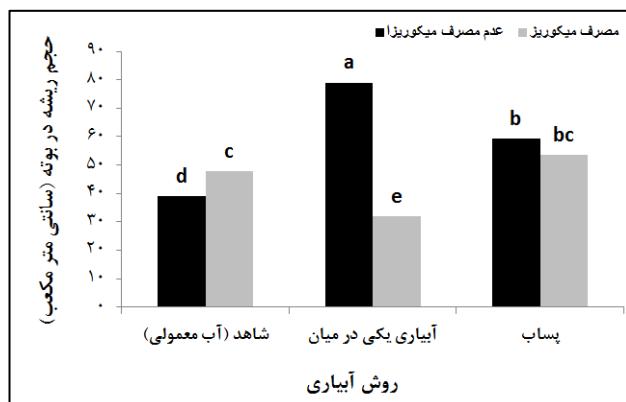


شکل ۱۱-۴. اثر متقابل رقم و روش آبیاری بر حجم ریشه سورگوم

مقایسه میانگین اثرات متقابل روش آبیاری  $\times$  کود بیولوژیک بر حجم ریشه گیاه سورگوم نشان داد که در شرایط عدم تلقیح میکوریزا و آبیاری به صورت یکی در میان گیاهان بیشترین میزان حجم ریشه را تولید کردند (شکل ۱۲-۴).

کاوندر و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهشی بر روی گیاه سورگوم دانه‌ای مشاهده نمودند که کاربرد توأم میکوریزا و لجن فاضلاب موجب افزایش عملکرد محصول گردید. آن‌ها اظهار داشتند که این افزایش

ناشی از اثر مستقیم کمپوست لجن فاضلاب بر درصد همزیستی میکوریزایی نبوده بلکه حاصل از عناصر غذایی موجود در کمپوست لجن فاضلاب بر روی توسعه و تحرک رشد گیاه میزبان بوده است. کاربرد ماده آلی به صورت کود آلی سطوح کربن آلی را در خاک افزایش می‌دهد و θاثیر مستقیم و غیر مستقیم روی خصوصیات و فرآیندهای خاک دارد (پراکش و همکاران، ۲۰۰۷).



شکل ۴-۱۲. اثر متقابل روش آبیاری و کود بیولوژیک بر حجم ریشه سورگوم

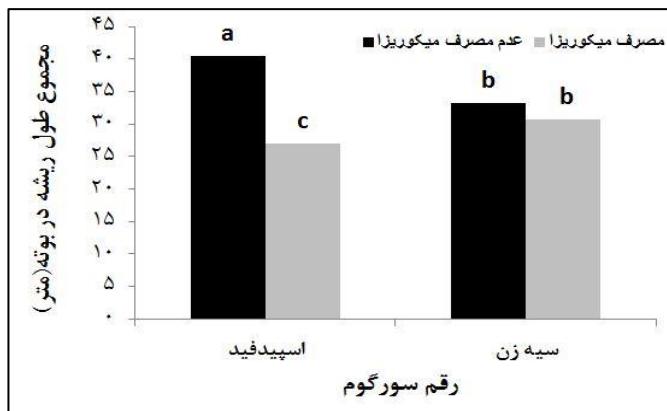
نکته قابل تأمل این است که در روش آبیاری با آب معمولی، گیاهان عکس العمل رشدی خوبی نسبت به تلقیح میکوریزا داشتند و از حجم ریشه بیشتری نسبت به شرایط عدم تلقیح، برخوردار بودند. این در حالی است که در شرایط آبیاری با پساب و همچنین آبیاری یک در میان با پساب و آب معمولی تلقیح میکوریزا باعث کاهش حجم ریشه گردید. این امر نشان می‌دهد که مواد آلی و غذایی موجود در فاضلاب منجر به تحريك میکروارگانیسم‌ها و افزایش بیوماس و فعالیت آن‌ها در شرایط کاربرد پساب شده است. که می‌تواند کاهش حجم ریشه را به دلیل ایجاد اثرات کاهنده رشد و ایجاد رقابت بین میکروارگانیسم‌ها، توجیه نماید.

#### ۷-۱-۴ مجموع طول ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی کود بیولوژیک و روش آبیاری، همچنین اثرات متقابل کود بیولوژیک × روش آبیاری، رقم × کود بیولوژیک و اثر متقابل رقم × روش آبیاری بر مجموع طول ریشه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱ پیوست).

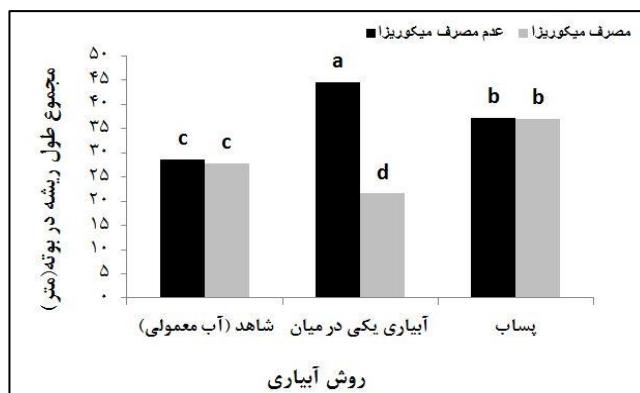
با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × کود بیولوژیک، بیشترین مجموع طول ریشه در رقم اسپیدفید و در شرایط عدم تلقیح میکوریزا مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با شراط تلقیح میکوریزا دارا بود. تفاوت آماری معنی‌داری بین مجموع طول ریشه رقم سیه‌زن در شرایط تلقیح و عدم

تلقیح میکوریزا وجود نداشت. رقم سیه‌زن در شرایط تلقیح میکوریزا نسبت به شرایط مشابه در رقم اسپیدفید از طول ریشه بیشتری برخوردار بود (شکل ۴-۱۳) که با توجه به نتایج بدست آمده از تأثیر میکوریزا بر برخی صفات رشدی ریشه (مجموع سطح ریشه و حجم ریشه)، این نتیجه قابل پیش‌بینی است.



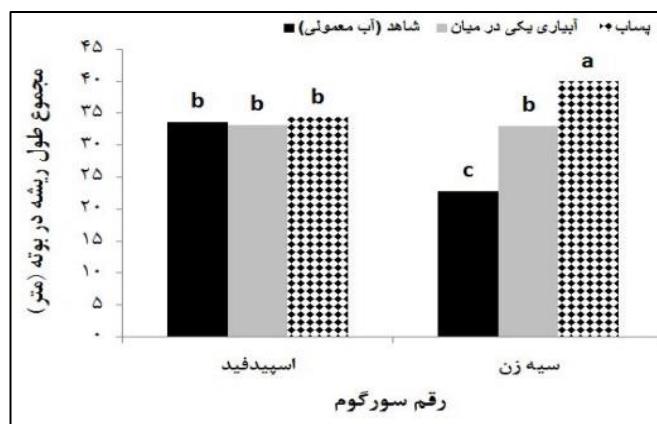
شکل ۴-۱۳. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر مجموع طول ریشه سورگوم

مقایسات میانگین اثر متقابل کود بیولوژیک و روش آبیاری نشان داد که عدم استفاده از میکوریزا و آبیاری با پساب فاصلاب به صورت یکی در میان، باعث تولید بیشترین مجموع طول ریشه نسبت به سایر تیمارها شد. به طور کلی تیمارهای آبیاری با پساب در کل دوره رشدی گیاه، مجموع طول ریشه گیاه را نسبت به شاهد (آب معمولی) در شرایط تلقیح و عدم تلقیح با میکوریزا، افزایش داد (شکل ۴-۱۴). گمان می‌رود وجود مقادیر مناسب عناصر غذایی همانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم در پساب بر افزایش مجموع طول ریشه موثر بوده است همچنین به نظر می‌رسد میکوریزا در مجاورت نیتروژن به صورت انگلی عمل می‌کند (گلشن، ۱۳۹۳).



شکل ۴-۱۴. اثر متقابل کود بیولوژیک و روش آبیاری بر مجموع طول ریشه سورگوم

بر اساس نتایج مقایسات میانگین اثر متقابل رقم و روش آبیاری، در رقم سیهزن، مصرف پساب ( بصورت یکی درمیان و یا در کل دوره رشد)، منجر به افزایش معنی دار طول ریشه نسبت به تیمار شاهد (آب معمولی) شد. اما در رقم اسپیدفید اختلاف آماری معنی داری بین روش های آبیاری در رابطه با مجموع طول ریشه مشاهده نشد (شکل ۱۵-۴). اثر مطلوب کود آلی بر ویژگی های رشد ریشه ممکن است به دلیل توانایی در بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک باشد که تعادل خوبی از مواد غذایی و آب در محیط ریشه به وجود آورده و منجر به رشد بیشتر ریشه می گردد. در حقیقت خاک های اصلاح شده با لجن فاضلاب در مقایسه با خاک های اصلاح نشده، رطوبت نسبی خود را برای مدت طولانی تری حفظ کرده، لذا گیاهان در این خاک ها می توانند سیستم ریشه ای خود را بیشتر و عمیق تر توسعه دهند (تسنر و همکاران، ۱۹۸۲).

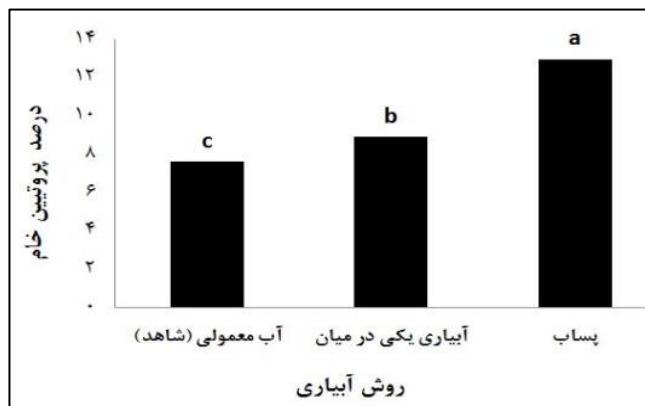


شکل ۱۵-۴. اثر متقابل رقم و روش آبیاری بر مجموع طول ریشه سورگوم

## ۲-۴ پارامترهای کیفیت علوفه

### ۱-۲-۴ درصد پروتئین خام

نتایج حاصل از تجزیه واریانس درصد پروتئین خام نشان داد که بین روش آبیاری از نظر آماری اختلاف معنی داری در سطح ۱ درصد وجود داشت (جدول ۲ پیوست). بیشترین درصد پروتئین در تیمار استفاده از پساب مشاهده گردید. در این خصوص تیمار آب معمولی کمترین درصد پروتئین را دارا بود (شکل ۱۶-۴).

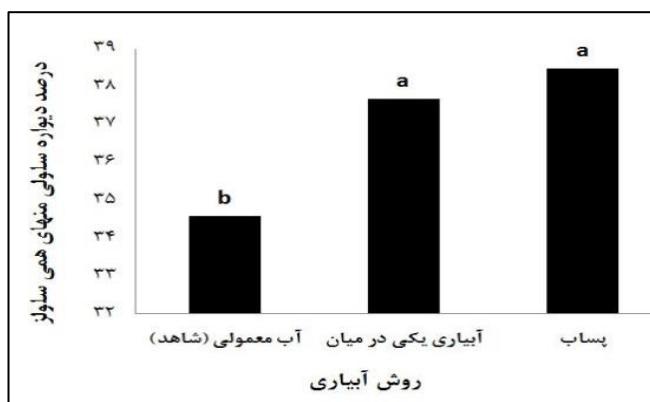


شکل ۴-۱۶. اثر روش آبیاری بر درصد پروتئین سورگوم

افزایش درصد پروتئین خام با فاضلاب ممکن است در نتیجه افزایش نیتروژن کل و نیتروژن قابل دسترس باشد که این موضوع در عمدۀ منابع علمی تأیید شده است. فارنورس و راکستون (۱۹۷۳)، گزارش کردند که کاربرد مقادیر مختلف کود ازته باعث افزایش مقدار پروتئین در سورگوم علوفه‌ای می‌شود. همچنانکه توسلی و همکاران (۲۰۰۹)، نیز همین مطلب را بیان داشته‌اند. همچنین در پژوهش دیگری درصد پروتئین خام علوفه ذرت، سورگوم و ارزن آبیاری شده با فاضلاب افزایش یافت ولی سایر شاخص‌های کیفی از جمله قابلیت هضم ماده خشک، انرژی قابل هضم و درصد دیواره سلولی تغییر چشمگیری نداشتند (امامی و همکاران، ۲۰۰۷). مفتاحی و همکاران (۱۳۹۰)، تأثیر فاضلاب تصفیه شده ایلام بر روی تجمع فلزات سنگین و ارزش غذایی گیاه سورگوم را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش میزان اختلاط فاضلاب با آب چاه، میانگین درصد پروتئین خام افزایش یافت. واژکوئز-مونتیل و همکاران (۱۹۹۵)، برای ارزیابی اثرات نیتروژن فاضلاب بر خاک و گیاه آزمایشاتی بر روی دو گیاه ذرت و سویا انجام دادند. آنها نتیجه گرفتند که کاربرد مقادیر بالای پساب در طول دوره رشد موجب افزایش غلظت نیتروژن در هر دو محصول در مقایسه با گیاهان شاهد شد. در پژوهشی که توسط ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۵) بر روی گیاه یونجه صورت گرفت آنها دریافتند که تیمار فاضلاب خصوصیات کیفی گیاه یونجه از جمله درصد پروتئین خام را افزایش داد. در پژوهشی مشابه فیضی و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی اثرات آبیاری با فاضلابهای خانگی تصفیه شده بر کمیت و کیفیت ارزن علوفه‌ای، دریافتند که تیمار فاضلاب تأثیر قابل توجهی بر درصد پروتئین علوفه داشت. در این رابطه بیشترین تأثیر را تیمار ۷۵٪ فاضلاب و کمترین تأثیر را آب چاه نشان داد.

## ۲-۲-۴ درصد دیواره سلولی منهای همی‌سلولز

نتایج بدست آمده در رابطه با اثر روش آبیاری بر درصد دیواره سلولی منهای همی‌سلولز حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار بین روش‌های مختلف آبیاری در سطح آماری ۱ درصد می‌باشد. همچنین اثر متقابل رقم × کود بیولوژیک بر درصد دیواره سلولی منهای همی‌سلولز در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲ پیوست). مقایسات میانگین بیانگر آن است که کاربرد پساب باعث افزایش درصد دیواره سلولی نسبت به تیمار شاهد (آب معمولی) گردید (شکل ۴-۱۷).



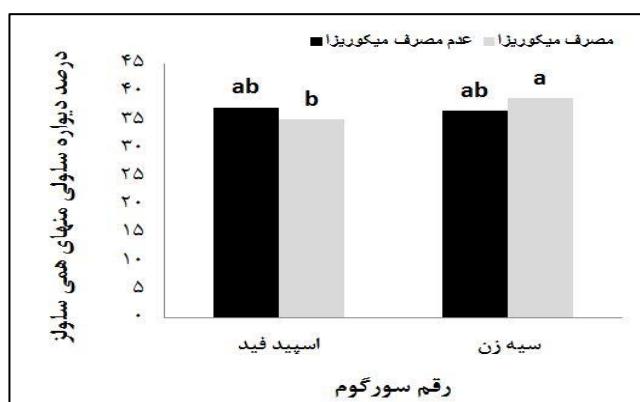
شکل ۴-۱۷. اثر روش آبیاری بر درصد دیواره سلولی منهای همی‌سلولز

این افزایش احتمالاً به دلیل میزان بیش از حد استاندارد COD در پساب مورد استفاده برای آبیاری (۲۵۶ mg/l) و به دنبال آن وجود میزان زیاد لیگنین در دیواره سلولی می‌باشد (جدول ۴-۱). لیگنین شامل واحدهای فنیلپروپان است که با پیوندهای اتری به هم متصل شده و ساختاری با وزن مولکولی متوسط بین ۸ تا ۱۱ هزار را ایجاد می‌کند. فنل تشکیل دهنده لیگنین، ماده‌ای بسیار سمی است که حضور آن در پساب موجب افزایش میزان COD و BOD و مرگ و میر جانوران آبریز می‌گردد (ادم و مونسر، ۲۰۰۴). دیوارهای سلولی گیاهان مهمترین منبع تامین کننده انرژی در جیره غذایی حیوانات می‌باشند. پلی ساکاریدهای موجود در دیواره سلولی با توجه به زمان محدود ماندگاری آنها در سیستم گوارش پستانداران توسط آنزیم‌های آنها قابل تجزیه نیستند که دلیل آن تجمع بیشتر لیگنین در آنها می‌باشد (بوکسون و راسل، ۱۹۸۸).

جدول ۴-۱. استانداردهای سازمان محیط زیست ایران برای دفع فاضلاب و استفاده مجدد از پساب (۱۳۷۴)

آلاینده	تخلیه به آبهای سطحی	تخلیه به چاه جاذب	مصارف کشاورزی	
BOD (mg/l)	۳۰	۳۰	۱۰۰	
COD(mg/l)	۶۰	۶۰	۲۰۰	
Tss(mg/l)	۴۰	***	۱۰۰	
Cu(mg/l)	۱	۱	۰/۲	
Zn(mg/l)	۲	۲	۲	
Cr(mg/l)	۰/۵	۱	۱	

مقایسات میانگین اثر متقابل رقم × کود بیولوژیک نشان داد، تلقیح میکوریزا باعث افزایش درصد دیواره سلولی در رقم سیهزن گردید درحالی که کاربرد میکوریزا این صفت را در رقم اسپیدفید کاهش داد. با توجه به شکل (۴-۱۸)، در شرایط عدم تلقیح میکوریزا بین دو رقم سورگوم اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد.



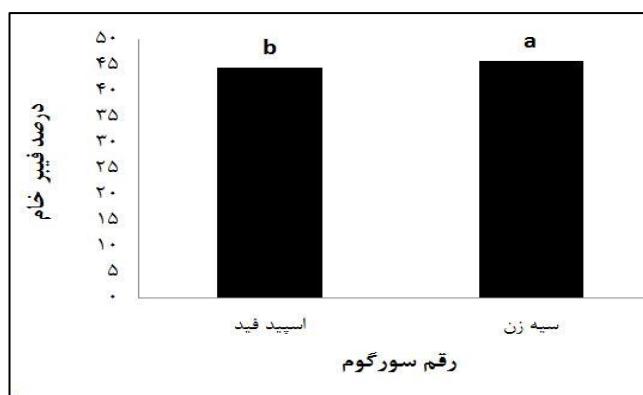
شکل ۴-۱۸. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر درصد دیواره سلولی منهای همی‌سلولز سورگوم

ریچی و همکاران (۲۰۰۶)، بیان می‌کنند که هر چه مقادیر ADF و NDF کمتر و هر چه مقادیر هضم‌پذیری و پروتئین خام بیشتر باشد ارزش غذایی گیاهان و به دنبال آن عملکرد دام مطلوب‌تر خواهد بود. مقادیر بالا از هر دو پارامتر ADF و NDF، نشانگر قابلیت هضم ضعیفتر به دلیل چوبی شدن بافت می‌باشد. ویلمن و رضوانی‌مقدم (۱۹۹۸)، در بررسی ۹ گونه گیاهی گزارش کردند که دیواره‌های سلولی گیاهان مهمترین عامل تأثیرگذار در قابلیت هضم ماده خشک می‌باشد.

### ۳-۲-۴ درصد فیبر خام

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که بین ارقام سورگوم از نظر درصد فیبر خام، اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود داشت (جدول ۲ پیوست). به صورتی که بیشترین میزان فیبر خام با ۴۵/۸۴ درصد، در رقم سیه‌زن مشاهده شد (شکل ۱۹-۴).

کاهش میزان فیبر خام در رقم اسپیدفید نسبت به رقم سیه‌زن، نشانگر خوشخوراکی رقم اسپیدفید می‌باشد. افزایش ترکیبات فیبر که از هیدروکربن‌های ساختمانی تشکیل شده است در گیاهان علوفه‌ای سبب کاهش کیفیت علوفه می‌شود زیرا الیاف خام از مواد زاید و غیرقابل هضم می‌باشند. بالا بودن فیبر خام در رقم سیه‌زن به معنی آن است که در شرایط مساوی، دام مقدار کمتری از سیلاژ رقم سیه‌زن سورگوم نسبت به اسپیدفید می‌تواند مصرف کند (غلامی و امیرصادقی، ۱۳۹۵). یونیال و همکاران (۲۰۰۵)، افزایش خاکستر، لیگنین، فیبر و سلولز را جزء فاکتورهای کاهنده و پروتئین خام و کالری بیشتر را فاکتورهای افزایش دهنده ارزش غذایی معرفی نموده‌اند.



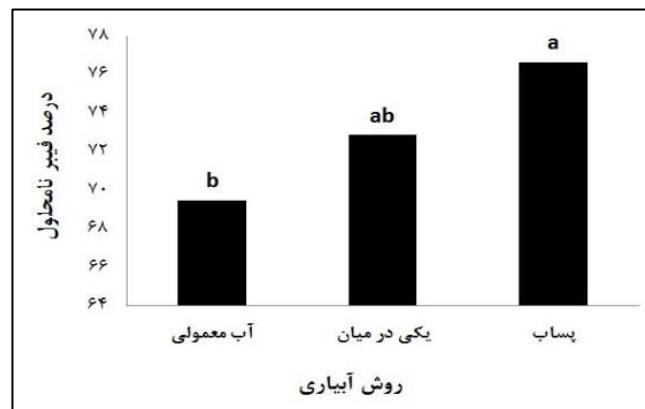
شکل ۱۹-۴. اثر رقم بر درصد فیبر خام سورگوم

### ۴-۲-۴ درصد فیبر نامحلول

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثر اصلی روش آبیاری و اثر متقابل رقم  $\times$  کود بیولوژیک بر درصد فیبر نامحلول گیاه سورگوم در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار شدند (جدول ۲ پیوست).

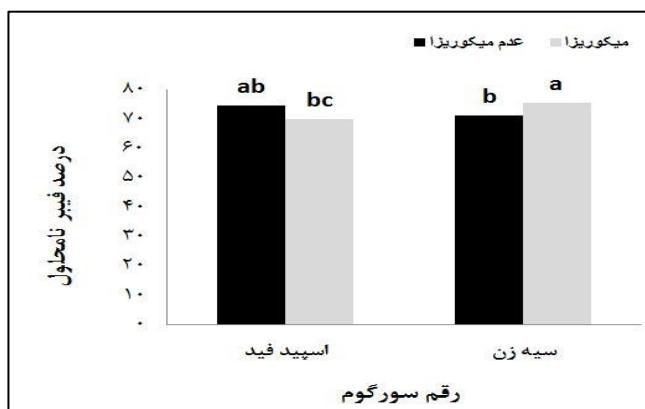
با توجه به شکل (۲۰-۴) بیشترین میزان فیبر در شرایط استفاده از پساب در کل دوره رشد و کمترین میزان در شرایط استفاده از آب معمولی مشاهده گردید، که با توجه به افزایش میزان درصد فیبر خام و درصد دیواره سلولی، همچنین کاهش درصد ماده خشک قابل هضم در این آزمایش، نتیجه قابل توجیه می‌باشد. نتایج در رابطه با تأثیر پساب بر درصد فیبر متناقض است. فیضی و همکاران (۱۳۸۹)،

گزارش کردند که درصد فیبر گیاه ارزن علوفه‌ای با افزایش درصد آب فاضلاب یک روند نزولی را نشان داد.



شکل ۴-۲۰. اثر روش آبیاری بر درصد فیبر نامحلول گیاه سورگوم

اثر واریته بر عملکرد و ارزش غذایی گیاهان علوفه‌ای توسط محققین مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته است (رضوانی‌مقدم و نصیری‌ محلاتی، ۱۳۸۲). بر طبق نتایج، مصرف میکوریزا در رقم سیه‌زن باعث افزایش درصد فیبر نامحلول گردید (شکل ۴-۲۱). افزایش ترکیبات فیبر که از هیدروکربن‌های ساختمانی تشکیل شده است در گیاهان علوفه‌ای سبب کاهش کیفیت علوفه می‌شود زیرا الیاف خام از مواد زاید و غیرقابل هضم می‌باشد (ککس و چرنی، ۲۰۰۱).



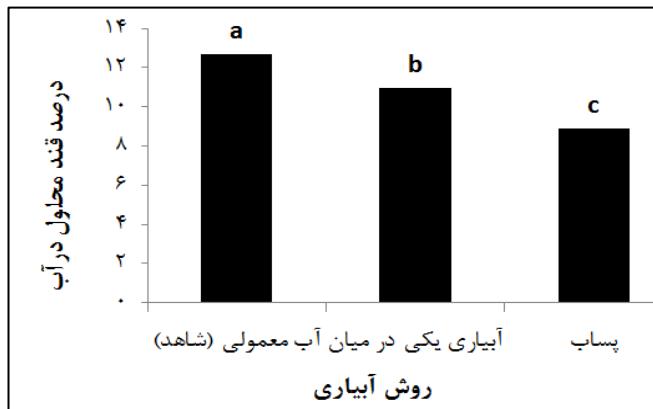
شکل ۴-۲۱. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر درصد فیبر نامحلول سورگوم

#### ۴-۵ درصد قند محلول در آب

کربوهیدرات‌ها فراوان‌ترین ترکیبات در گیاهان بوده و ۵۰ تا ۸۰ درصد ماده خشک گیاهان علوفه‌ای را تشکیل می‌دهند میزان کربوهیدرات‌های محلول علوفه در آب از ۵ درصد (وايت و بوید، ۱۹۵۳) تا ۵۰ درصد (بوگ، ۱۹۷۸) متغیر است.

همانطور که نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد، اثر اصلی روش آبیاری، تأثیر معنی‌داری بر درصد قند محلول در آب (WSC) گیاه سورگوم در سطح آماری ۱ درصد داشت (جدول ۲ پیوست).

شکل (۲۲-۴) نشانگر این مطلب است که با افزایش غلظت پساب درصد قند محلول نیز کاهش یافت بیشترین درصد قند محلول در تیمار شاهد، و کمترین آن در تیمار آبیاری با پساب در کل دوره رشد، مشاهده گردید. بسیاری از شرایط تنفس زای محیطی بر متابولیسم قندها و پخش مواد فتوسنتری در گیاهان در حال رشد اثر می‌گذارند. قندهای محلول به عنوان تنظیم کننده‌های اسمزی، ثبات دهنده غشاها و سلولی و حفظ کننده تورژسانس سلول‌ها، عمل می‌کنند. در حقیقت، در گیاهانی که قندهای محلول در پاسخ به تنفس خشکی تجمع می‌یابند، تنظیم اسمزی بهتر صورت می‌گیرد (اسلاما و همکاران، ۲۰۰۷). درصد قند محلول در آب در شرایطی افزایش می‌یابد که گیاه دچار تنفس باشد. همانطور که هامفریز گزارش نمود، شرایط تنفس می‌توانند سبب افزایش غلظت قندهای محلول در آب گردد (راعی و همکاران، ۱۳۹۲). لذا به نظر می‌رسد گیاهان آبیاری شده با پساب به دلیل وجود مواد مغذی کافی در پساب با تنفس مواجه نشده‌اند و به همین دلیل درصد قند به نسبت شاهد کاهش دارد.



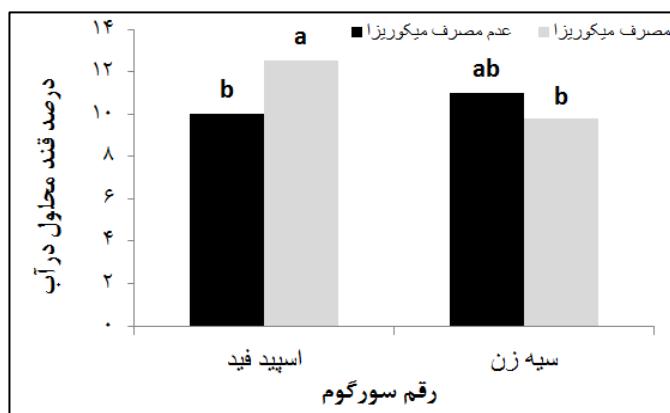
شکل ۲۲-۴. اثر روش آبیاری بر درصد قند محلول در آب سورگوم

بوکستون و همکاران (۱۹۹۶) گزارش دادند که ارزش غذایی یک مفهوم کلی است که تمامی خصوصیات غذایی یک علوفه را در رابطه با تأمین نیازهای تغذیه‌ای دام تعیین می‌کند. شش عامل زیستی و تکنیکی که بر کیفیت علوفه تأثیر می‌گذارد شامل گونه گیاهی، رقم، میزان رسیدگی، برداشت و انبار کردن، حاصلخیزی خاک و عوامل محیطی (رطوبت، دما و نور خورشید) می‌باشند.

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش، اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک، بر درصد قند محلول در آب در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲ پیوست). نتایج نشان داد که تلقیح میکوریزا در رقم اسپیدفید باعث افزایش درصد قند محلول در آب نسبت به شرایط عدم تلقیح

میکوریزا گردید. درحالی که درصد قند محلول در آب در رقم سیه زن تحت تأثیر تلچیح مایکوریزا قرار نگرفت (شکل ۲۳-۴). افزایش درصد قندهای محلول در آب می‌تواند به دلیل کاهش میزان فیبر در رقم اسپیدفید باشد.

یعقوب راعی و همکاران (۱۳۹۲)، طی آزمایشی بر روی دو رقم سورگوم علوفه‌ای در شرایط محدودیت آب، دریافتند که با افزایش تراکم به علت کاهش ماده فیبری درصد قند محلول در آب افزایش داشته است. همچنین دریافتند که رقم اسپیدفید در مقایسه با دیگر ارقام از درصد قند محلول بالاتری برخوردار بود که با نتیجه حاصل از این آزمایش مطابقت دارد.



شکل ۲۳-۴. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر درصد قند محلول در آب سورگوم

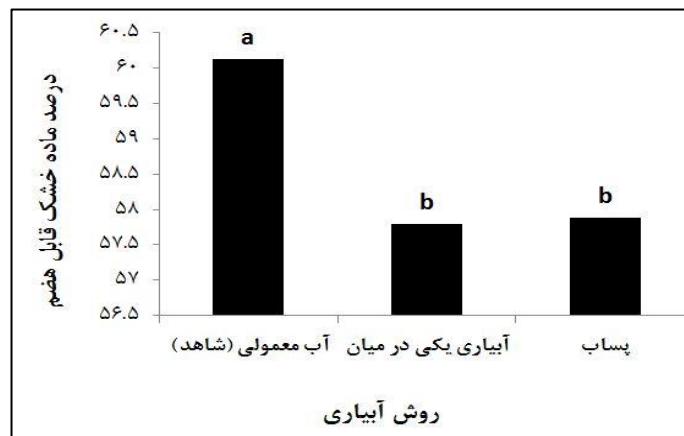
#### ۶-۲-۴ درصد ماده خشک قابل هضم

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، اثر اصلی روش آبیاری، تأثیر معنی‌داری بر درصد ماده خشک قابل هضم در گیاه سورگوم در سطح آماری ۵ درصد داشت (جدول ۲ پیوست).

کاربرد پساب (در کل دوره یا به صورت یکی در میان)، درصد ماده خشک قابل هضم (DMD) گیاه سورگوم را در مقایسه با تیمار شاهد (آب معمولی) بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. بین تیمارهای کاربرد پساب در کل دوره و کاربرد آن به صورت یکی در میان تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد و بیشترین ماده خشک قابل هضم در تیمار شاهد (آب معمولی)، مشاهده گردید (شکل ۲۴-۴).

احتمالاً افزایش میزان درصد دیواره سلولی (دیواره‌های سلولی گیاهان مهمترین عامل تأثیرگذار در قابلیت هضم ماده خشک می‌باشند)، مهمترین دلیل کاهش قابلیت هضم در شیوه آبیاری با پساب می‌باشد. هر چه وضعیت آبی گیاه بهتر باشد. ظرفیت لیگنین افزایش و قابلیت هضم سورگوم کاهش می‌یابد و این مسئله در مورد سایر گیاهان علوفه‌ای نیز صادق است (گودچایلد، ۱۹۹۷ و آمادوسی و

همکاران، ۲۰۰۰). ادجی و ریچسچل (۲۰۰۲) نیز گزارش کردند که آبیاری با پساب تأثیری بر قابلیت هضم نداشت.

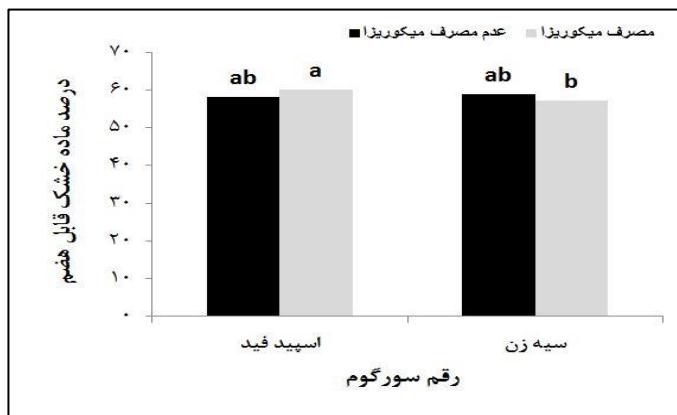


شکل ۴-۲۴. اثر روش آبیاری بر درصد ماده خشک قابل هضم گیاه سورگوم

اثر متقابل رقم و درصد ماده خشک قابل هضم در سطح آماری ۵ درصد معنی دار شد (جدول ۲ پیوست). بر این اساس تلقیح مایکوریزا باعث افزایش DMD در رقم اسپیدفید شد در صورتی که در رقم سیهزن، تلقیح مایکوریزا این میزان را کاهش داد (شکل ۴-۲۵). این نتیجه با توجه به کاهش میزان فیبر نامحلول در رقم اسپیدفید در شرایط تلقیح میکوریزا قابل توجیه می باشد. همچنین با توجه این که منطقه مورد مطالعه (سبزوار)، در منطقه خشک قرار گرفته است، به همین دلیل گیاهان فیبر بسیار زیادی دارند و بالا بودن درصد فیبر نشان از قابلیت هضم کمتر دارد.

علیرضا امامی و همکاران (۱۳۸۶)، طی آزمایشی اعلام نمودند که درصد قابلیت هضم ماده خشک سورگوم در رقم اسپیدفید پایین تر از سایر ارقام مورد استفاده در آزمایش بود.

وارد و همکاران (۲۰۰۱)، با تحقیقی که بر روی گیاهان علوفه‌ای یک ساله تابستانه انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که ماده خشک قابل هضم، همبستگی منفی با درصد پروتئین خام، درصد فیبرهای نامحلول در شوینده اسیدی و خاکستر دارد. همچنین نشان دادند که عوامل محیطی مانند دما، تنفس رطوبتی، سایه، بافت خاک و غیره بر قابلیت هضم تاثیر دارند. عنوان شده است که در سورگوم علوفه‌ای، قابلیت هضم علوفه خشک تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (ارتگا، ۲۰۰۵). قابلیت هضم ماده خشک در حیوانات زنده (*in vivo*) و یا در آزمایشگاه (*in vitro*) با افزایش سن و یا با افزایش لیگنین گیاه کاهش می‌یابد هر چند برخی از معادلات تجربی بر اساس مقدار فیبر در گیاه، ممکن است که مقدار قابلیت هضم بالاتر را پیش‌بینی کنند (غلامی و امیرصادقی، ۱۳۹۵).



شکل ۴-۲۵. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر درصد ماده خشک قابل هضم سورگوم

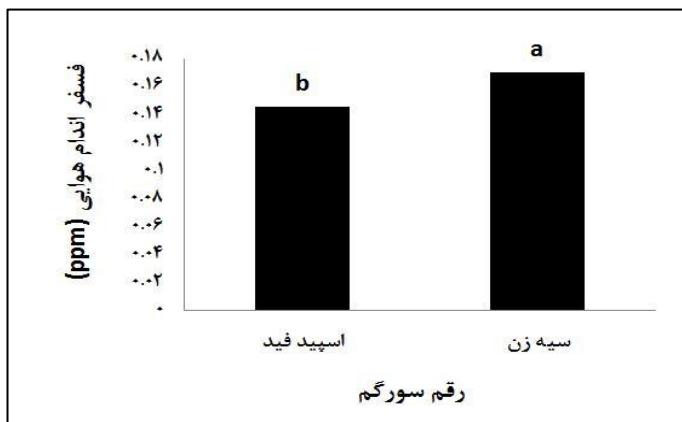
#### ۷-۲-۴ درصد خاکستر کل

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که درصد خاکستر کل علوفه تحت تأثیر رقم، کود زیستی و روش آبیاری قرار نگرفت (جدول ۲ پیوست). به نظر می‌رسد که درصد خاکستر در سورگوم علوفه‌ای تحت تأثیر میزان فراهمی عناصر غذایی قرار نمی‌گیرد (سعیدنژاد و همکاران، ۱۳۸۹). فیضی و همکاران (۱۳۸۹)، در بررسی اثرات آبیاری با فاضلاب‌های خانگی تصفیه شده بر کمیت و کیفیت ارزن علوفه‌ای نتیجه گرفتند که فاضلاب تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر درصد چربی و درصد خاکستر علوفه نداشت. نتایج آزمایشی دیگر نشان داد که مواد آلی، کودهای زیستی و کود شیمیایی تأثیر چندانی بر درصد خاکستر ندارند ( حاجی‌بلند و همکاران، ۱۳۸۳).

#### ۴-۳ فسفر اندام هوایی

همانطور که جدول ۳ پیوست نشان می‌دهد، اثرات اصلی رقم و روش آبیاری بر میزان فسفر اندام هوایی گیاه در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شدند.

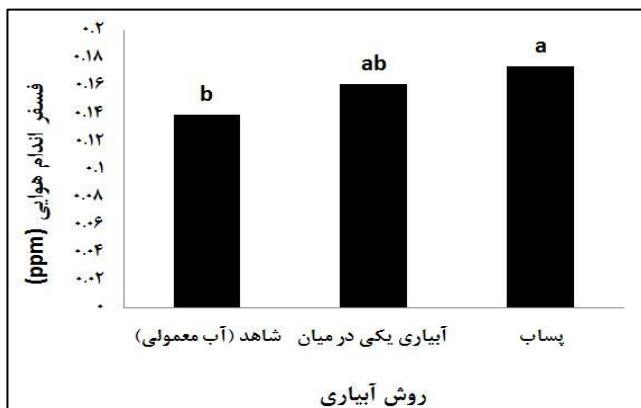
غلظت فسفر اندام هوایی در رقم سیمه‌زن به طور معنی‌داری بیشتر از رقم اسپیدفید بود (شکل ۴-۲۶). به نظر می‌رسد تفاوت ناشی از طول تارهای کشنده و ترشحات ریشه‌ای در دو رقم سورگوم دلیل اصلی این اختلاف باشد.



شکل ۴-۲۶. اثر رقم بر میزان فسفر اندام هوایی سورگوم

فسفر یکی از عناصر ضروری برای رشد و تکثیر گیاهان می‌باشد و برای ذخیره سازی و انتقال انرژی، حفاظت و انتقال کدهای ژنتیکی به کار می‌رود و جزء ترکیبات ساختمانی سلول‌ها و بسیاری از ترکیبات شیمیایی می‌باشد (هاپکینز و السورث، ۲۰۰۳).

کاربرد پساب باعث افزایش معنی‌دار غلظت فسفر اندام هوایی گیاه، نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل ۴-۲۷). علت احتمالی این افزایش را می‌توان به وجود فسفر بالا و اسیدهای آلی موجود در پساب نسبت داد. میزان حلالت فسفات با حضور اسیدهای آلی مثل مالات، سیترات و اگزالات بسته به نوع خاک و غلظت اسید آلی می‌تواند بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ واحد افزایش یابد (ملکوتی و همکاران، ۲۰۰۴). والن و چانگ (۲۰۰۲)، در آزمایش‌های خود دریافتند که کاربرد دراز مدت مواد آلی باعث می‌شود که فسفر با پیوندهای کم انرژی‌تر نگهداری شده و قابلیت استفاده آن افزایش پیدا کند. فتح العلومی و همکاران (۱۳۹۴)، طی آزمایشی اثرات لجن فاضلاب را بر گیاه گندم مورد بررسی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که لجن فاضلاب باعث افزایش غلظت فسفر در بخش‌های مختلف گندم شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از فاضلاب می‌توان استفاده از کودهای شیمیایی فسفره را کاهش داد.



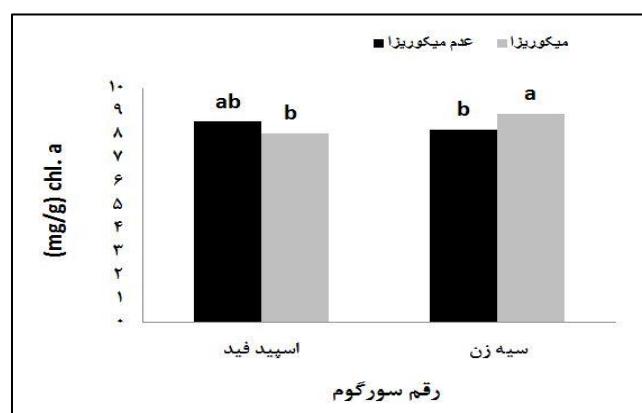
شکل ۴-۲۷. اثر روش آبیاری بر میزان فسفر اندام هوایی سورگوم

#### ۴-۴ رنگیزه های فتوسنتزی

##### ۱-۴-۴ کلروفیل a

اثر متقابل رقم × کود بیولوژیک تأثیر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل a برگ گیاه سورگوم در سطح آماری ۵ درصد داشت (جدول ۳ پیوست). بیشترین میزان کلروفیل در رقم سیه‌زن و در شرایط تلقیح میکوریزا مشاهده شد که از افزایش  $10/33$  درصدی نسبت به میزان کلروفیل a در رقم اسپیدفید در شرایط مشابه برخوردار بود (شکل ۴-۲۸).

به طور کلی هر چه شرایط تغذیه‌ای و محیطی، از جمله عناصر غذایی، نور، رطوبت، آفات و بیماری‌ها برای رشد گیاه مناسب‌تر باشد توان گیاه در تولید کلروفیل در برگ‌ها و تولید انرژی بیشتر می‌شود. از این رو عواملی که سبب بهبود این شرایط می‌شوند احتمالاً بر میزان کلروفیل نیز اثر دارند. شایان ذکر است که میزان کلروفیل برگ گیاهان به ویژگی‌های ژنتیکی و ذاتی هر گیاه نیز بستگی دارد و بسته به خصوصیات ژنتیکی هر واریته، غلظت کلروفیل در برگ‌ها تغییر می‌نماید (دمیر، ۲۰۰۴).

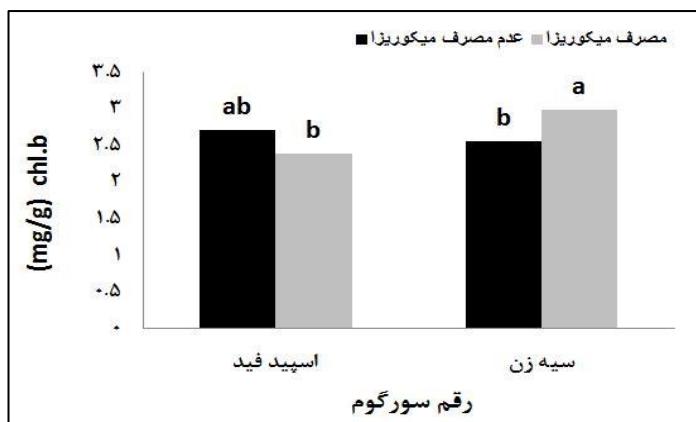


شکل ۴-۲۸. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر غلظت کلروفیل

## ۴-۲-۴ کلروفیل b

اثر اصلی روش آبیاری همچنین اثر متقابل دو جانبه رقم × کود بیولوژیک و کود بیولوژیک × روش آبیاری و اثر متقابل سه جانبه رقم × کود بیولوژیک × روش آبیاری، بر غلظت کلروفیل b معنی دار بودند (جدول ۳ پیوست).

نتایج نشان داد برگ های رقم سیه زن در اثر تلقیح میکوریزا پاسخ مثبتی در جهت افزایش غلظت کلروفیل b داشته اند. بیشترین میزان کلروفیل b در رقم سیه زن و در حضور میکوریزا بدست آمد. در رقم اسپیدفید بین تلقیح و عدم تلقیح میکوریزا اختلاف آماری مشاهده نشد (شکل ۴-۲۹). از آنجا که رقم سیه زن، رقم محلی و سازگار با شرایط آب و هوایی منطقه سبزوار است، این نتیجه می تواند مهم باشد.



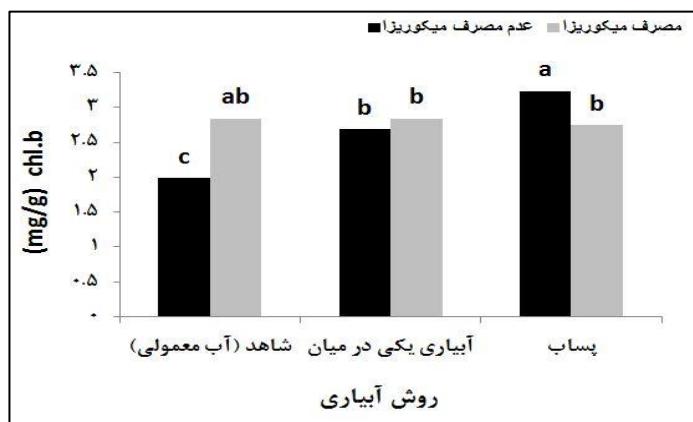
شکل ۴-۲۹. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر غلظت کلروفیل b

بر اساس مقایسات میانگین اثر متقابل روش آبیاری × کود بیولوژیک، بیشترین میزان غلظت کلروفیل b در تیمار استفاده از پساب در شرایط عدم تلقیح میکوریزا و کمترین میزان آن در تیمار کاربرد آب معمولی در شرایط عدم تلقیح میکوریزا مشاهده شد (شکل ۴-۳۰).

پساب فاضلاب حاوی مقادیر بالایی نیتروژن است. نیتروژن عنصری است که عرضه آن به وسیله انسان قابل تنظیم است. این عنصر نقش اساسی در باروری گیاهان ایفا می کند، زیرا یک ترکیب اصلی در اسیدهای آمینه، پروتئینها، اسیدهای نوکلئیک و کلروفیل می باشد و از یک سو نقش اساسی در ساختمن کلروفیل داشته به علاوه نیتروژن نقش ویژه ای در استقرار گیاه و کسب توانایی های فتوسنترزی و فیزیولوژیکی متعدد دارد، و از سوی دیگر مهمترین عنصر در سنتز پروتئین می باشد و افزایش آن در شرایط مطلوب تا حد مشخصی موجب افزایش میزان پروتئین می گردد، لذا با افزایش

میزان پروتئین در گیاه سطح برگ بیشتر می‌شود و در نتیجه میزان کلروفیل و به طبع آن مواد فتوسنتری افزایش می‌یابد (رحمانی و همکاران، ۲۰۰۸). در پژوهشی که توسط نظری و همکاران (۲۰۰۶) انجام گرفت، افزایش میزان نیتروژن کل در دو گیاه گندم و جو توسط پساب گزارش شد. همچنین اکدنیز و همکاران (۲۰۰۶) اثرات کاربرد لجن فاضلاب را بر رشد سورگوم دانه‌ای بررسی و گزارش کردند که لجن فاضلاب باعث افزایش میزان نیتروژن برگ و کل گیاه و کل نیتروژن جذب شده گردید.

صالحی (۱۳۸۰) بیان کرد وظیفه اصلی نیتروژن تکثیر سلولی، افزایش طول سلول و تمایز سلول است. با تأمین نیتروژن کافی گیاه بلندتر شده شاخه‌ها و برگهای با کلروفیل بیشتری تولید نموده و سطح فتوسنتری کننده افزایش می‌یابد. فتوسنتری کی از مهمترین شاخص‌های فعالیت فیزیولوژیک گیاه است که وابسته به محتوای کلروفیل در گیاه می‌باشد.



شکل ۴-۳۰. اثر متقابل روش آبیاری و کود بیولوژیک بر غلظت کلروفیل b

یکی از مهمترین اثر قارچ‌های میکوریزا، افزایش عملکرد گیاهان خصوصاً در خاک‌های با حاصلخیزی پائین است (اوراتاس، ۱۹۹۶). به نظر می‌رسد گیاهان تحت تیمار آبیاری با پساب به دلیل تغذیه مناسب تحت تاثیر تنفس قرار نگرفته‌اند. مورت و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند فتوسنتری خالص در گیاهان هلیانتوم، دارای رابطه همزیستی میکوریزی در شرایط تنفس رطوبتی سرعت فتوسنتری خالص در گیاهان تلقیح شده حدود دو برابر نسبت به انواع شاهد بود. همچنین استفاده از پساب منجر به افزایش جمعیت میکروبی خاک شده و افزایش جمعیت میکروبی، عملکرد میکوریزا را تحت تاثیر قرار داده است.

مقایسات میانگین حاصل از اثر متقابل سه جانبی رقم × کود بیولوژیک × روش آبیاری نشان داد که استفاده از رقم اسپیدفید در شرایط عدم تلقیح میکوریزا و کاربرد پساب (آبیاری یکی در میان و آبیاری

با پساب در کل دوره)، غلظت کلروفیل b را نسبت به دیگر شرایط در همین رقم افزایش داد. اما عکس العمل رقم سیه زن متفاوت بود. هر چند استفاده از سیه زن و عدم تلقیح میکوریزا در شرایط آبیاری با پساب توانست غلظت کلروفیل b را افزایش دهد، لیکن در این رقم، تلقیح میکوریزا همراه کاربرد آب معمولی یا آبیاری متناوب نیز افزایش غلظت کلروفیل b را سبب شد.

#### ۴-۳ کارتنتوئید

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که میزان کارتنتوئید تحت تأثیر هیچ کدام از تیمارها قرار نگرفت (جدول ۳ پیوست)، که نتیجه بدست آمده با آزمایشاتی که توسط دیگر محققان انجام پذیرفت متفاوت است. محمودی و همکاران (۱۳۹۰)، گزارش کردند تلقیح میکوریزا، ۵/۵ درصد میزان کارتنتوئیدهای برگ لوپیا را نسبت به شاهد غیر میکوریزایی افزایش داد. لوچه تساندییر و همکاران (۱۹۹۹)، گزارش کردند که گیاه سیبزمینی میکوریزایی شده، محتوی کارتنتوئید بیشتری نسبت به گیاه غیر میکوریزایی داشت.

#### ۴-۴ پارامترهای آلودگی خاک و گیاه

##### ۴-۱ کلی فرم کل و کلی فرم مدفوعی خاک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر اصلی رقم، کود بیولوژیک و روش آبیاری همچنین اثر متقابل دو جانبی و سه جانبی آنها بر میزان کلی فرم کل و مدفوعی خاک معنی دار بودند (جدول ۳ پیوست). نتایج آزمایشات باکتریایی خاک و مقایسه میانگین ها نشان داد که تلقیح میکوریزا در رقم اسپیدفید باعث کاهش کلی فرم کل و مدفوعی خاک نسبت به رقم سیه زن گردید. بیشترین کلی فرم کل و کلی فرم مدفوعی در رقم سیه زن در شرایط تلقیح میکوریزا مشاهده شد (جدول ۴-۲).

جدول ۴-۲. اثر متقابل رقم و کود بیولوژیک بر کیفیت باکتریایی خاک و گیاه سورگوم

رقم	کود بیولوژیک	کلی فرم کل	کلی فرم مدفوعی خاک	کلی فرم مدفوعی گیاه	کلی فرم کل گیاه
MPN/100cc					
اسپیدفید	عدم مصرف	۱۳/۶۶ b	۳/۶۶ b	۴ b	۳ b
صرف	عدم مصرف	۹ c	۳/۶۶ b	۳/۶۶ b	۳ b
سیه زن	عدم مصرف	۷/۶۶ c	۴/۳۳ b	۱۲ a	۹/۰۸ a
صرف	عدم مصرف	۵۴/۳۳ a	۵/۶۶ a	۳/۴۱ b	۳ b

\* در هر ستون، تیمارهای دارای حروف مشترک دارای اختلاف معنی دار نمی باشند

همچنین مقایسات میانگین داده‌های آزمایش نشان داد، استفاده از رقم سیهزن در روش تناوب پساب و آب معمولی، کلیفرم کل و مدفعوی خاک را به میزان قابل توجهی کاهش داد. این درحالی است که در رقم اسپیدفید بین روش‌های مختلف آبیاری اختلاف آماری قابل توجهی در میزان کلیفرم مدفعوی خاک مشاهده نشد (جدول ۴-۳).

جدول ۴-۳. اثر متقابل رقم و روش آبیاری بر کیفیت باکتریایی خاک و گیاه سورگوم

رقم	روش آبیاری	کلیفرم کل گیاه	کلیفرم مدفعوی	کلیفرم کل خاک	کلیفرم
	آب معمولی	آب معمولی یکی در میان	آب معمولی سیهزن	آب معمولی یکی در میان	آب معمولی گیاه
MPN/100cc					
۳ b	۳/۵ d	۳ b	۹ c	۹ c	اسپیدفید
۳ b	۵ c	۴ b	۱۶ b	آبیاری یکی در میان	
۳ b	۳ d	۴ b	۹ c	پساب	
۳ b	۳/۵ d	۳ b	۹ c	آب معمولی	سیهزن
۱۲ a	۱۲/۱۲a	۳ b	۳/۵ d	آبیاری یکی در میان	
۳/۱۲b	۷/۵ b	۹ a	۸۰/۵ a	پساب	

\* در هر ستون، تیمارهای دارای حروف مشترک دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند

صرف میکوریزا در روش آبیاری یکی در میان، باعث کاهش کلیفرم کل و کلیفرم مدفعوی خاک نسبت به شرایط استفاده از پساب در کل دوره رشد گردید (جدول ۴-۴). این موضوع نشان دهنده محدودیت خاک از نظر رشد میکرووارگانیسم‌ها و رقابت بین آن‌ها در منابع موجود در خاک است.

جدول ۴-۴. اثر متقابل کود بیولوژیک و روش آبیاری بر کیفیت باکتریایی خاک و گیاه سورگوم

کودبیولوژیک	روش آبیاری	کلی فرم کل گیاه	کلی فرم کل	کلی فرم مدفععی خاک	کلی فرم مدفععی گیاه	کلی فرم مدفععی	کلی فرم کل گیاه	کلی فرم مدفععی	کلی فرم کل	کلی فرم کل گیاه	کلی فرم مدفععی	کلی فرم کل گیاه
MPN/100cc												
۳ b	۳/۵ c	۳ c	۹ cd	آب معمولی	عدم مصرف							
۱۲ a	۱۳/۵ a	۳/۵ c	۱۲ b	آبیاری یکی در میان								
۳/۱۲ b	۷ b	۵/۵ b	۱۱ bc	پساب								
۳ b	۳/۵ c	۵/۵ b	۹ cd	آب معمولی	صرف							
۳ b	۳/۶۲ c	۳/۵ c	۷/۵ d	آبیاری یکی در میان								
۳ b	۳/۵ c	۷/۵ a	۷۸/۵ a	پساب								

\* در هر ستون، تیمارهای دارای حروف مشترک دارای اختلاف معنی دار نمی باشند

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه جانبی رقم × کود بیولوژیک × روش آبیاری بر میزان کلی فرم‌های خاک، نشان داد که استفاده از رقم سیهزن و تلقیح میکوریزا در شرایط آبیاری با پساب در کل دوره رشد، باعث افزایش قابل توجه باکتری کلی فرم کل و مدفععی در خاک گردید (جدول ۴-۵).

عفرنژادی و موسوی‌فضل (۱۳۹۳) طی پژوهشی اثر فاضلاب تصفیه شده را بر آلودگی میکروبی و شیمیایی خاک و گندم مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که جمعیت میکروبی در تیمار ۵۰ درصد پساب، نسبت به شاهد افزایش قابل توجهی داشته است، درحالی که این افزایش جمعیت در تیمار ۱۰۰ درصد پساب مشاهده نگردید. تیته (۱۹۸۷)، نیز در پژوهش خود نشان داد که بقایای باکتری‌های کلی فرم مدفععی معمولاً در خاک‌های آلی نسبت به خاک‌های معدنی بالا می‌رود که دلیل آن می‌تواند به علت حضور مواد آلی در خاک‌های آلی باشد. عرفانی و همکاران (۲۰۰۲)، در تحقیق خود دریافتند که تعداد کلی ریزجانداران و باکتری‌های نوع کلی فرم در تیمارهایی که با پساب فاضلاب و تناوب پساب و آب معمولی آبیاری شده بودند در لایه ۰-۵ سانتی‌متری خاک افزایش معنی داری داشتند.

جدول ۴-۵. اثرات متقابل سه جانبی رقم، کود بیولوژیک و روش آبیاری بر میزان کلی فرم کل و مدفعوعی خاک و گیاه سورگوم

رقم	کود بیولوژیک	شیوه آبیاری	کلی فرم مدفعوعی گیاه	کلی فرم گل گیاه	کلی فرم کل خاک	کلی فرم MPN/100cc
اسپید فید	عدم مصرف میکوریزا	شاهد (آب معمولی)	۳ b	۳ d	۳ c	۹ cd
آبیاری یکی در میان			۳ b	۶ c	۴ c	۲۱ b
پساب			۳ b	۳ d	۴ c	۱۱ c
صرف میکوریزا	شاهد (آب معمولی)		۳ b	۴ d	۳ c	۹ cd
آبیاری یکی در میان			۳ b	۴ d	۴ c	۱۱ c
پساب			۳ b	۴ d	۴ c	۷ de
سیه زن	عدم مصرف میکوریزا	شاهد (آب معمولی)	۳ b	۴ d	۳ c	۹ cd
آبیاری یکی در میان			۲۱ a	۲۱ a	۳ c	۳ f
پساب			۳/۲۵ b	۱۱ b	۷ b	۱۱ c
صرف میکوریزا	شاهد (آب معمولی)		۳ b	۱ d	۳ c	۹ cd
آبیاری یکی در میان			۳ b	۳/۲۵ d	۳ c	۴ ef
پساب			۳ b	۴ d	۱۱ a	۱۵۰ a

\* در هر ستون، تیمارهای دارای حروف مشترک دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند

#### ۴-۵ کلی فرم کل و کلی فرم مدفعوعی اندام هوایی سورگوم

اثرات اصلی رقم، کود بیولوژیک و روش آبیاری همچنین اثرات دو و سه جانبی این فاکتورها بر تعداد باکتری‌های کلی فرم کل و کل فرم مدفعوعی اندام هوایی سورگوم در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳ پیوست).

عدم تلقیح میکوریزا در رقم سیه زن باعث افزایش قابل توجه کلی فرم کل و کلی فرم مدفعوعی در اندام هوایی گیاه گردید. در رقم اسپیدفید بین مصرف و عدم مصرف میکوریزا اختلاف آماری معنی‌داری در رابطه با کلی فرم کل گیاه مشاهده نشد (جدول ۴-۴).

رقم سیه زن در شرایط تناوب پساب و آب معمولی، بیشترین میزان باکتری کلی فرم کل و مدفعوعی گیاه را دارا بود (جدول ۴-۳).

مقایسات میانگین نشان داد که تناوب پساب و آب معمولی و تلقیح کود زیستی میزان کلی فرم مدفعوعی گیاه را به نسبت به شرایط عدم تلقیح به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش داد (جدول ۴-۴).

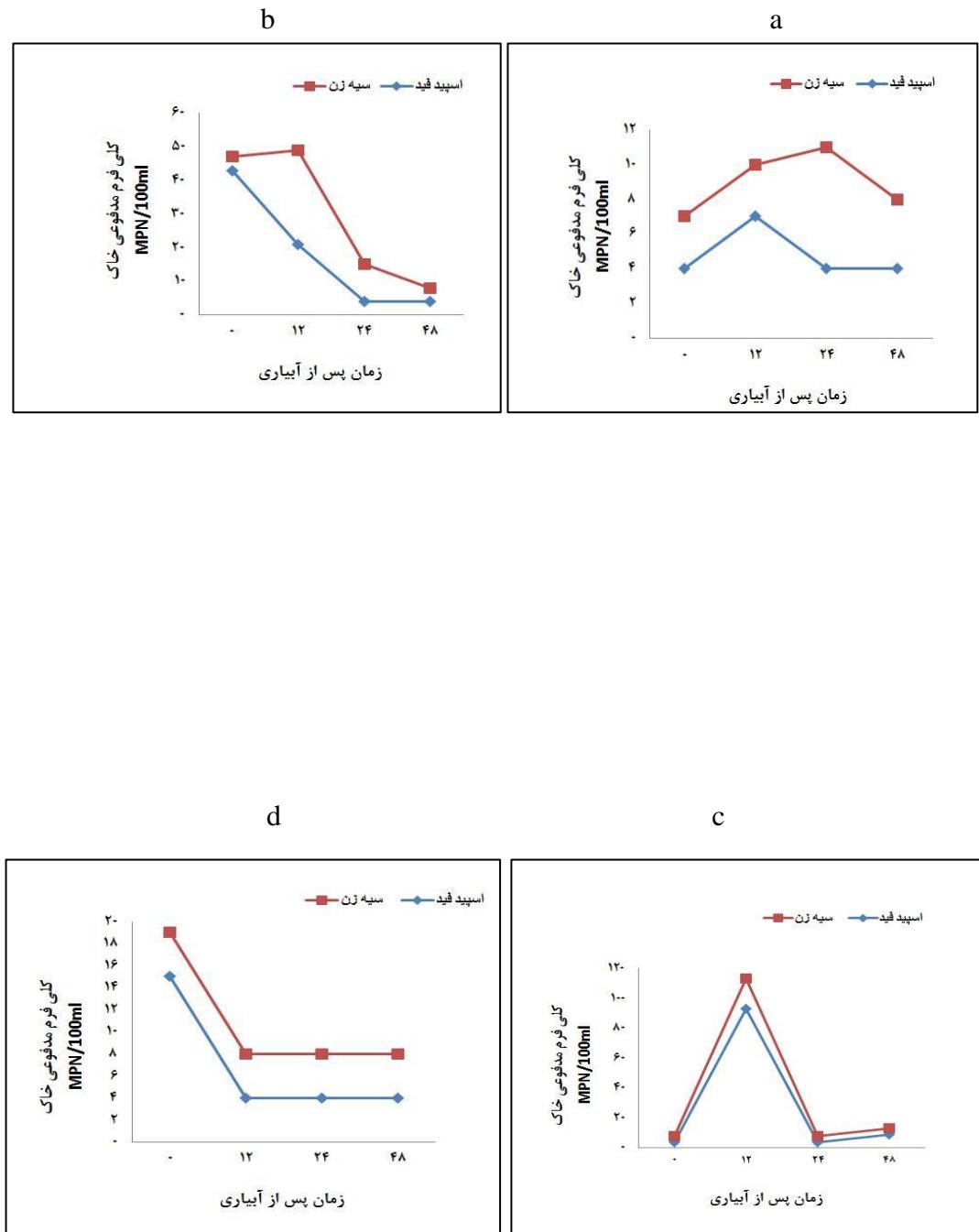
بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه جانبی رقم × کود بیولوژیک × روش آبیاری بر میزان کلی فرم‌های گیاه سورگوم، بیشترین میزان کلی فرم کل و مدفوعی در رقم سیهزن و تحت شرایط عدم تلقیح میکوریزا و کاربرد پساب و آب معمولی به صورت یکی در میان، مشاهده گردید (جدول ۴-۵). با توجه به جداول مشاهده می‌شود که در اکثر موارد میزان کلی فرم کل در گیاه سورگوم آبیاری شده با پساب تصفیه شده کمتر از میزان کلی فرم کل در خاک و آب مورد استفاده در آبیاری بود که علت آن می‌تواند اندازه گیاه سورگوم که حدود ۲ متر است باشد چرا که باکتری‌ها در گیاهان کوتاه راحت‌تر از گیاهان بلند توزیع می‌شوند (ارکولانی، ۱۹۷۶). البته لازم به ذکر است که باکتری‌ها قادر به جذب از طریق ریشه گیاه نمی‌باشند و مقادیر اندک حاکی از حضور آنها می‌تواند به علت روش آبیاری بوده باشد.

طی پژوهش‌های محققان، حداقل مقدار کلی فرم مدفوعی و کلی فرم کل در گیاهان کاهو و اسفناج مشاهده شد که این مقدار بالا (کاهو ۳۷۰۰۰ کلی فرم کل و ۳۶۰۰ کلی فرم مدفوعی و اسفناج ۸۷۰۰ کلی فرم کل و ۲۴۰۰ کلی فرم مدفوعی) می‌تواند به دلیل اندازه این محصولات باشد (ارکولانی، ۱۹۷۶). میانگین اندازه کاهو حدود ۲۰ سانتی‌متر و اسفناج حدود ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد. به همین دلیل باکتری‌ها به راحتی می‌توانند از خاک توسط مکانیسم rain splash در گیاه توزیع و منتشر شوند. همچنین کاهو و اسفناج دارای سطح تاخورده و پیچ در پیچی می‌باشند که ایجاد حفاظ و محیطی مناسب برای رشد باکتری‌ها می‌باشد (کوال و همکاران، ۱۹۸۰). همچنین برگ‌های این گیاهان ترد و شکننده است و به همین دلیل به باکتری‌ها اجازه نفوذ به بافت‌های داخلی و تولید مثل را خواهند داد (پریپکی و همکاران، ۱۹۷۶). گیاه سورگوم قادر سطح پیچ در پیچ و یا هر گونه تاخورده‌گی در سطح برگ است و به نظر می‌رسد به همین دلیل میزان باکتری کلی فرم کل و مدفوعی در گیاه سورگوم نسبت به گیاهان کاهو و اسفناج پایین است.

#### ۴-۵ آزمایشات فرعی

نتایج آزمایشات فرعی در زمان‌های مختلف (۰، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ h) در نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده در گلدان‌های آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده، کاهش باکتری‌های کلی فرم مدفوعی را با گذشت زمان نشان می‌دهد (شکل ۴-۳۱). کاهش باکتری‌ها می‌تواند به علت به جذب باکتری‌ها به ذرات کلوئیدی خاک و یا مرگ سلول‌ها باشد. این کاهش نشان داد که با گذشت زمان خطرات باکتریایی استفاده از پساب در خاک کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که استفاده از قارچ میکوریزا می‌تواند سرعت کاهش میزان کلی فرم مدفوعی را در خاک افزایش بخشد (شکل ۴-۳۰). این قارچ‌ها با تثبیت

عناصر و مواد آلاینده در شبکه ریسه‌ای خارج ریشه‌ای خود باعث غیر فعال شدن آنها می‌شود (صدری و قرچه، ۱۳۹۲). نتایج این آزمایش با نتایج آزمایشات عالی نژادیان و همکاران (۱۳۹۱)، مطابقت دارد. آن‌ها اعلام کردند که با گذشت زمان روزانه تعداد باکتری‌های شاخص آلودگی در خاک به مقدار ۵۳٪ کاهش می‌یابد.



شکل ۴-۳۱. کاهش در تعداد باکتری‌های کلی فرم مدفوعی در خاک با گذشت زمان پس از کاربرد پساب در خاک

- (b) در شرایط آبیاری با پساب بدون حضور میکوریزا  
 (c) در شرایط آبیاری یکی در میان بدون حضور میکوریزا  
 (d) در شرایط آبیاری یکی در میان در حضور میکوریزا

### نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به منظور بررسی امکان استفاده از آب‌های نامتعارف و کود بیولوژیک میکوریزا در تولید گیاهان علوفه‌ای انجام شد. بر اساس یافته‌های این پژوهش، وزن خشک ریشه و مجموع طول ریشه در رقم سیه‌زن تحت تأثیر مصرف میکوریزا قرار نگرفت، در حالی که در رقم اسپیدفید تلقیح میکوریزا وزن خشک ریشه و مجموع طول ریشه را نسبت به شرایط عدم تلقیح کاهش داد. استفاده از پساب (کل دوره رشد یا یکی در میان)، سبب افزایش مجموع سطح ریشه، حجم ریشه و مجموع طول ریشه در رقم سیه‌زن گردید. بیشترین میزان سطح ریشه، حجم ریشه و طول ریشه در شرایط عدم تلقیح میکوریزا و آبیاری با پساب به صورت یکی در میان، بdst آمد.

آبیاری با پساب به واسطه وجود عناصر غذایی، موجب رشد و بهبود ویژگی‌های اندام هوایی و ریشه گیاه نسبت به شرایط تیمار آب معمولی گردید. آبیاری با پساب به واسطه وجود عناصر غذایی، باعث افزایش میزان فسفر اندام هوایی، شاخص کلروفیل برگ و غلظت کلروفیل b نسبت به شرایط تیمار شاهد شد. وجود بیشترین میزان صفات رشدی ریشه در رقم سیه‌زن سبزواری، بیانگر این موضوع می‌باشد که رقم محلی سیه‌زن سبزواری نسبت به رقم اسپیدفید واکنش مناسب‌تری به کاربرد پساب در آبیاری نشان داد. آبیاری با پساب به لحاظ کیفی باعث افزایش درصد پروتئین گیاه سورگوم گردید. همچنین استفاده از پساب در آبیاری، درصد دیواره سلولی و درصد فیبر نامحلول گیاه سورگوم را افزایش داد در نتیجه درصد ماده خشک قابل هضم گیاه کاهش یافت. تلقیح میکوریزا در رقم اسپیدفید باعث کاهش درصد دیواره سلولی و فیبر نامحلول و در نتیجه، افزایش ماده خشک قابل هضم و میزان قند محلول در آب گردید. در حالی که در رقم سیه‌زن استفاده از میکوریزا افزایش درصد دیواره سلولی و درصد فیبر را به همراه داشت.

حفظ سلامتی خاک برای کشاورزی پایدار از اهمیت فراوانی برخوردار است. به طوری که کاربرد پساب در کشاورزی نباید سلامت خاک و محصول را به خطر اندازد. نتایج این پژوهش نشان داد، تلقیح میکوریزا در شرایط تناوب آبیاری پساب و آب معمولی، باعث کاهش کلی فرم کل و کلی فرم مدفووعی خاک گردید. با توجه به این که میزان باکتری‌های کلی فرمی در پساب مورد استفاده در این پژوهش کمتر از حد مجاز برای کشاورزی بود و با گذشت زمان نیز باکتری‌های موجود در خاک کاهش یافت، کاربرد پساب و آب معمولی به صورت متناوب جهت آبیاری رقم محلی سیه‌زن سبزواری، توصیه می‌گردد. همچنین با توجه بهبود صفات رشدی گیاه سورگوم در شرایط عدم مصرف میکوریزا و آبیاری با پساب، جهت حصول نتیجه مطلوب، کاربرد همزمان کود بیولوژیک و پساب توصیه نمی‌گردد.

### پیشنهادها

۱. انجام این آزمایش در شرایط مزرعه‌ای جهت بررسی اثر عوامل محیطی
۲. ارزیابی واکنش ارقام مختلف سورگوم به کاربرد پساب فاضلاب شهری در شرایط استفاده از سایر کودهای بیولوژیک
۳. مقایسه واکنش گیاهان علوفه‌ای مختلف به آبیاری با پساب و مصرف کودهای بیولوژیک
۴. بررسی امکان کاهش مصرف کودهای شیمیایی در صورت استفاده از پساب فاضلاب شهری در گیاهان علوفه‌ای
۵. بررسی اثر کاربرد پساب فاضلاب بر حاصلخیزی و ویژگی‌های فیزیکی و زیستی خاک
۶. بررسی اثر باقیمانده فاضلاب تصفیه شده در خاک و اندام‌های مورد مصرف گیاهان زراعی

# منابع

منابع

- ابراهیمی، م.، کریمیان، ع.، ا.، باگستانی میبدی، ن.، عظیم‌زاده، ح. م. و رشتیان، ا. ۱۳۹۵. بررسی اثر فاضلاب شهری یزد بر یونجه و سلمکی دانه عدسی. نشریه مرتع داری، شماره ۱، جلد ۳. صفحه ۷۹-۶۳.
- ابراهیمی‌زاده، م.، ع.، حسن‌لی، ع.، م. و احمدی‌راد، ش. حداقل اثرات زیست محیطی پساب فاضلاب شهری بر خاک در کشت ذرت. مجموعه مقالات اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران. ۱۳۸۵.
- ابوطالبیان، م. و م. خلیلی. ۱۳۹۳. اثر میکوریزا آرباسکولار و برادی رایزوبیوم بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا تحت تنفس کم آبی. نشریه علوم گیاهان زراعی، شماره ۲، جلد ۴۵، صفحه ۱۸۱-۱۶۹.
- احمدزاده قویدل، ر. ۱۳۹۱. نقش کودهای زیستی در تولید محصول سالم و حفظ کشاورزی پایدار. اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار در بخش‌های کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست. تهران، وزارت کشور.
- احمدی‌نژاد، ر.، نجفی، ن.، علی‌اصغرزاد، ن. و اوستان، ش. ۱۳۹۲. اثر کودهای آلی و نیتروژن بر کارایی مصرف آب، عملکرد و ویژگی‌های رشد گندم (رقم الوند). نشریه دانش آب و خاک، شماره ۲، جلد ۲۳، صفحه ۱۹۴-۱۷۷.
- اردکانی، م.، ف. رجایی و ش. حیدری. ۱۳۹۱. اثر کود بیولوژیک حاوی میکوریزا آرباسکولار بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف برنج. مجله اکوفیزیولوژیکی گیاهی، شماره ۲، جلد ۴، صفحه ۱-۱۳.
- اردکانی، م.، مظاہری، ر. د.، مجد، ف. و نورمحمدی، ق. ۱۳۷۹. بررسی کارایی میکوریزا و استرپتومایسین در سطوح مختلف فسفر و تأثیر کاربرد آنها بر عملکرد و بر عملکرد و برخی صفات گندم. مجله علوم زراعی ایران، جلد ۲. شماره ۲.
- اروندي، س. و کامیاب مقدس، ر. ۱۳۷۹. یکی از راه کارهای مهم مقابله با کم آبی استفاده بهینه از فاضلاب شهری. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی، شماره ۱، صفحه ۵۵-۶۴.
- اسماعیلیان، ی.، حیدری، م. و قنبری، ا. ۱۳۸۸. بررسی کاربرد پساب تصفیه شده فاضلاب شهر زابل به همراه کودهای دامی و شیمیایی بر عملکرد و اجزاء عملکرد دانه و تنظیم کننده‌های اسمزی ذرت. *KoSc704*. مجله تحقیقات زراعت آب و خاک ایران، شماره ۴۰، جلد ۲، صفحه ۱۱۷-۱۱۱.
- امام، ی. و نیک نژاد، م. ۱۳۷۳. مقدمه‌ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی. انتشارات دانشگاه شیراز.
- امامی، ع.، رضوانی مقدم، پ.، قدرت‌نما، ا. و حافظیان، س. ج. ۱۳۸۶. بررسی نسبت‌های مختلف فاضلاب تصفیه شده شهری بر برخی خصوصیات کیفی سه گیاه علوفه‌ای سورگوم، ذرت و ارزن. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، شماره ۲، جلد ۵، صفحه ۲۱۹-۲۱۱.
- آستانایی، ع. و کوچکی، ع. ۱۳۷۵. کاربرد کودهای بیولوژیکی در کشاورزی پایدار. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- آغ‌تپه، ا.، ا. قنبری، ع. سیروس مهر، ب. سیاهسر و م. ر. اصغری پور. ۱۳۹۲. اثر آبیاری با پساب و محلول پاشی کود کامل بر عملکرد و اجزای عملکرد علوفه ارزن دمروباها. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، شماره ۱، جلد ۱۱، صفحه ۲۰۷-۲۰۰.

- سستامی، ا. ۱۳۹۴. استفاده از قارچ میکوریزا به عنوان کود زیستی در کشاورزی پایدار، همایش بینالمللی پژوهش‌های کاربردی در کشاورزی.
- بصیری، ع. ۱۳۹۴. طرح‌های آماری در علوم کشاورزی، انتشارات دانشگاه شیراز، ۳۶۸ صفحه.
- بهره‌مند، م. ر، افیونی، م. حاج عباسی، م. ع. و رضایی نژاد، ای. ۱۳۸۱. اثر لجن فاضلاب بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴، صفحه ۱۰-۱.
- بهشتیان، ز. و المدرس، ع. ۱۳۹۱. بررسی اثر آبیاری با پساب فاضلاب بر روی رشد و کربوهیدرات‌های سورگوم شیرین، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان.
- پروان، م. اثرات آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بر روی خصوصیات خاک، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۳.
- پروان، م. اثرات آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بر روی خصوصیات خاک، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۳.
- ترابیان، ع. ر، صفاری، ح. م. و مقصودی مود، ع. ا. ۱۳۹۴. تأثیر آبیاری با پساب بر عملکرد و کیفیت بامیه، نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، سال ۵، شماره ۱۵، صفحه ۴۵-۳۷.
- توسلی، ا. قنبری، ا. حیدری، م. پایه‌گذار، ای. و اسماعیلیان، ای. ۱۳۸۹. اثر فاضلاب تصفیه شده همراه با مقادیر مختلف کودهای دامی و شیمیایی بر غلظت عناصر و عملکرد ذرت، نشریه آب و فاضلاب، شماره ۷۵، جلد ۲۱، صفحه ۴۴-۳۷.
- جعفرنژادی، ع. ر. و موسوی‌فضل، س. م. ح. ۱۳۹۳. بررسی اثر فاضلاب تصفیه شده را بر آلودگی میکروبی و شیمیایی خاک و گندم، نشریه پژوهش آب در کشاورزی، شماره ۳. جلد ۲۸. صفحه ۵۲۵-۵۱۷.
- جلالی، ع. گلویی، م. قنبری، ا. رمودی، م. و یوسف‌الهی، م. ۱۳۸۹. اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری بر عملکرد و جذب فلزات سنگین در سورگوم علوفه‌ای، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره ۵۲، جلد ۴، صفحه ۲۴-۱۵.
- چاره‌ساز، ن. اشرف‌جعفری، ع. ارزانی، ح. و آذرنیوند، ح. ۱۳۹۰. مجله پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، شماره ۹۴، صفحه ۵۲-۴۵.
- چیتسازان، آ. مجدم، ع. صالحی، ن. و کوشافر، ا. ۱۳۹۱. استفاده و کاربرد کودهای بیولوژیک در کشاورزی پایدار، سومین همایش ملی مقابله با بیابان زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران، اراک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک.
- حاتمی، ح. رضوی، م. و افتخار، ح. ۱۳۹۴. کتاب جامع بهداشت عمومی، انتشارات ارجمند.
- حاجی بلند، ر. علی اصغرزاده، ن. و مهرفر، ز. ۱۳۸۳. بررسی اکولوژیک ازتوباکتر در دو منطقه مرتعی آذربایجان و اثر تلقیح آن روی رشد و تغذیه معدنی گیاه گندم، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۲، جلد ۸، صفحه ۷۵-۹۰.
- حجتی، س. ف. نوربخش و ک. خوازی. ۱۳۸۵. تأثیر لجن فاضلاب بر شاخص بیومس میکروبی خاک، فعالیت آنزیمی و عملکرد ذرت، مجله علوم خاک و آب، شماره ۱، جلد ۲۰، صفحه ۹۳-۸۴.

- حسن‌اقلی، ع.، میرآبزاده، م. و لیاقت، ع. ۱۳۸۳. بررسی اثرات آبیاری با فاضلاب‌های خانگی بر عملکرد برخی سبزیجات و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز آن‌ها (ازت، فسفر، پتاسیم). سومین همایش ملی توسعه کاربرد مواد بیولوژیک و استفاده بهینه از کود و سم در کشاورزی، کرج.
- خوازی، ک و ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۰، ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور " مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ۶۰۴ صفحه.
- خدابنده، ن. ۱۳۶۶. زراعت گیاهان صنعتی. انتشارات دانشگاه صنعتی.
- خرم‌دل، س.، کوچکی، ع. ر.، نصیری محلاتی، م. و قربانی، ر. ۱۳۸۷. اثر کودهای بیولوژیک بر شاخص‌های رشدی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). مجله پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۶ شماره ۲. صفحه ۲۸۵-۲۹۴.
- خلیقی‌جمال‌آباد، و.، خارا، ج. ۱۳۸۷. تاثیر قارچ میکوریزای آربوسکولار *Glomus intraradices* بر روی تنش اکسیداتیو و برخی پارامترهای رشدی و فیزیولوژی در گیاه گندم رقم آذر ۲ تحت سمتی کادمیوم. مجله زیست‌شناسی ایران، جلد ۲۱، شماره ۲. صفحه ۲۱۶-۲۳۰.
- دانش، ش. ۱۳۷۰. اثر فاضلاب‌های تصفیه شده خانگی بر عملکرد و کیفیت محصول چغندرقند و چغندر علوفه‌ای. معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۶۸.
- دانش، ش. علیزاده، ا. ۱۳۸۷. کاربرد پساب در کشاورزی، فرصت‌ها و چالش‌ها. اولین سمینار ملی جایگاه آبهای بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب. مشهد، مهندسی مشاور سروآب.
- دانشور، ن. ۱۳۷۱. شیمی آب عمیدی.
- راشدمحصل، م. ح.، حسینی، م.، عبدالی، م. و ملافیلابی، ع. ۱۳۷۶. زراعت غلات (ترجمه و تدوین). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۴۰۶ صفحه.
- راعی، ی.، جورئت، م.، مقدم، ح.، چایی‌چی، م. ر. و ویسانی، و. ۱۳۹۲. تاثیر تراکم بر عملکرد کمی و کیفی و کیفی دو رقم سورگوم علوفه‌ای در شرایط محدودیت آب. ویژه‌نامه نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، صفحه ۵۱-۶۵.
- رجالی، ف. ۱۳۸۴. مروری اجمالی بر همزیستی میکوریزی مبانی و کاربردها در: ضرورت تولید صنعت کوددهی بیولوژیک در کشور. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. مجموعه مقالات، چاپ دوم، تهران، ایران.
- رحمت‌زاده، س.، خارا، ج. و کاظمی‌تبار، س. ک. ۱۳۹۲. ارزیابی اثر قارچ میکوریزای *Glomus etunicatum* بر نگیزه‌های فتوسنترزی و خصوصیات آنتی‌اکسیدانی گیاهچه‌های پراونش بازیابی شده طی شرایط سازگاری. نشریه پژوهش‌های اکوفیزیولوژی گیاهی ایران، شماره ۳۲، سال ۸، صفحه ۲۰-۱۲.
- رستگار، م. ع. ۱۳۸۴. زراعت گیاهان صنعتی. انتشارات برهمند، تهران.
- رضوانی مقدم، پ و م. میرزایی نجم آبادی. ۱۳۸۸. تاثیر نسبت‌های مختلف آب چاه و فاضلاب تصفیه شده بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت، سورگوم و ارزن علوفه‌ای. مجله پژوهش‌های ایران، شماره ۱، جلد ۷، صفحه ۷۴-۶۳.
- رضوانی مقدم، پ و نصیری محلاتی، م. ۱۳۸۳. بررسی قابلیت هضم ماده خشک و درصد پروتئین سه رقم سورگوم علوفه‌ای در زمان‌های مختلف برداشت. مجله علوم کشاورزی ایران، شماره ۴، جلد ۳۵، صفحه ۷۹۶-۷۸۷.

- سعیدنژاد، ا. م، رضوانی مقدم، پ، خزاعی، ح. م، و نصیری محلاتی، م. ۱۳۸۹. بررسی اثر کاربرد مواد آلی، کودهای بیولوژیک و کود شیمیایی بر قابلیت هضم و میزان پروتئین سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، شماره ۴، جلد ۹، صفحه ۶۲۰-۶۲۳.
- سلیمانی، ع، پ. نجفی و ح. ر. لارابی. ۱۳۸۵. بررسی اثرات استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده شهری بر شاخص‌های فیزیولوژیکی موثر بر رشد گیاه ذرت. نشریه پژوهش در علوم کشاورزی، شماره ۱، جلد ۲، صفحه ۱۱-۲۴.
- سلیمانی ح، ۱۳۸۹، پایان نامه کارشناسی ارشد. بررسی اثرات پرایمینگ، باکتری ریزوبیوم و کود آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود. دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهروд.
- سمیرمی، ج. ۱۳۸۴. بررسی اثر پساب تصفیه شده زابل بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم و خصوصیات هاک. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه زابل.
- سیاهی، م. و جبلی، ح. ۱۳۸۰. استفاده از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۴۷.
- شادکام، س، دانش. ش، علیزاده، الف، پروان، م. ۱۳۸۵. بررسی استفاده مجدد از فاضلاب خام و پساب تصفیه شده بر هدایت هیدرولیکی بافت‌های مختلف خاک. مجموعه مقالات اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.
- شبانیان بروجنی، ح، م. ع. حاج عباسی، م. مبلی و م. افیونی. ۱۳۸۴. اثر پساب و لجن فاضلاب کارخانه پلی اکریل ایران بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و غلظت عناصر در چمن، میمون و قرنفل. مجله علوم و فنون باگبانی ایران، شماره ۳، جلد ۶، صفحه ۱۳۵-۱۴۸.
- شریعتی، م. ۱۳۷۳. ارزیابی کیفیت شیمیایی فاضلاب و استفاده از آن در آبیاری. مجله آب و محیط زیست. صفحه ۵۵-۵۱.
- شریفی، م. ۱۳۷۸. بررسی نقش و اهمیت "میکوریزا" در جذب و تثبیت "فسفات" و امکان بیوتکنولوژی "میکوریزا" در جذب "فسفات" توسط گیاهان. طرح پژوهشی، دانشگاه تهران، جهاد دانشگاهی.
- شریفی، م، محتشمیان، م، ریاحی، ح، آقایی، ا، علوی، م. ۱۳۸۹. اثر قارچ اندومیکوریزایی *Glomus etunicatum* بر برخی شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه ریحان. فصلنامه گیاهان دارویی، شماره ۳۸، سال ۲، دوره ۲.
- شیدایی، خ. ۱۳۹۲. پایان نامه کارشناسی ارشد. بررسی اثرات کاربرد طولانی مدت پساب تصفیه شده فاضلاب بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه شمال اصفهان. دانشگاه یاسوج، گروه علوم خاک.
- صالح راستین، ن. ۱۳۸۰. کودهای بیولوژیک و نقش آنها در در راستای نیل به کشاورزی پایدار. ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور (مجموعه مقالات)، مرکز نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران، صفحه ۵۴-۱.
- صالحی، گ. ۱۳۸۰. پایان نامه کارشناسی ارشد. تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن و فسفر بر عملکرد و اجزاء عملکرد سیاهدانه در باجگاه. دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

- عابدی کوپایی، ج؛ افیونی، م، مصطفی زاده، ب؛ موسوی، س ف؛ باقری، م. ر. ۱۳۸۲. تاثیر آبیاری بارانی و سطحی با پساب تصفیه شده بر شوری خاک. مجله آب و فاضلاب، شماره ۴۵، صفحه ۲ - ۱۱.
- عالی نژادیان، ا، کریمی، ا، محمدی، ج، نیکخواه، ف. و نیومن اندرسن، م. ۱۳۹۱. بررسی کیفیت باکتریایی خاک و محصول کشاورزی آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده شهری. مجله سلامت و محیط. فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، شماره ۳. دوره ۶، صفحه ۳۷۷-۳۷۷.
- عباس زاده، م. ۱۳۸۸. بررسی تاثیر باکتری‌های سودوموناسه با توانایی حلایت فسفات بر خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه برنج رقم طارم. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی گرگان، ۱۶۶ صفحه.
- عباسی، م، ن. نجفی، ن. علی‌اصغرزاده و ش. اوستان. ۱۳۹۲. اثر شرایط آب و خاک، لجن فاضلاب، کودمرغی و کودهای شیمیایی بر ویژگی‌های رشد و کارایی مصرف آب گیاه برنج در یک خاک آهکی. نشریه دانش آب و خاک. شماره ۱، جلد ۲۳، صفحه ۲۰۸-۱۸۹.
- عبدالهی، ح، صابری، م. و برادران، ر. ۱۳۸۶. تاثیر نسبت‌های مختلف فاضلاب، آب تصفیه شده شهری، کود شیمیایی و کود حیوانی بر خصوصیات زراعی عملکرد و اجزاء عملکرد گندم. مجله پژوهش در علوم کشاورزی، سال ۳، شماره ۱، صفحه ۱۰۰-۸۹.
- عرفانی، ع، غ. م. حق نیا و ا. علیزاده. ۱۳۸۱. تاثیر آبیاری با فاضلاب بر عملکرد و کیفیت کاهو و برخی ویژگی‌های خاک. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۱، جلد ۶، صفحه ۹۲-۷۱.
- عظیمی، ر، جنگنحو، م. و اصغری، ح. م. ۱۳۹۲. تاثیر تلقیح میکوریزا بر استقرار اولیه و خصوصیات مورفولوژیک گیاه دارویی آویشن باگی در شرایط عرصه طبیعی. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، شماره ۴، جلد ۱۱، صفحه ۶۷۶-۶۶۶.
- علیزاده، ا. ۱۳۷۶. استفاده از پساب تصفیه شده خانگی در آبیاری چغندرقند. شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، گزارش نهایی طرح پژوهشی.
- علیزاده، ا. و آریانا، ل. ۱۳۸۹. بهینه سازی مصرف نیتروژن و فسفر در زراعت پایدار ذرت با استفاده از میکوریزا و ورمی کمپوست. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فیروز آباد.
- علی‌نژاد جهرمی، ۵، ع. محمد خانی و م. ح. صالحی. ۱۳۹۱. تاثیر استفاده از پساب فاضلاب شهری شهرکرد بر رشد، عملکرد و تجمع سرب و کادمیوم در گیاه دارویی بادرنجبویه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره ۶۰، جلد ۱۶، صفحه ۱۸۵-۱۷۳.
- غلامی، ا، کوچکی، ع. ۱۳۸۰. میکوریزا در کشاورزی پایدار. ترجمه. انتشارات دانشگاه شاهروود، ۲۱۲ صفحه.
- غلامی، ح و امیر صادقی، م. ۱۳۹۵. چرا سورگوم؟ نشریه مروج، شماره ۱۵۴، صفحه ۷۵-۷۰.
- غلامی، ا، کوچکی، ع. مظاہری، د. و قلاوند، ا. ۱۳۷۸. ارزیابی اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریز از نوع ویسکولار - آریاسکولار (VAM) بر خصوصیات رشد ذرت. مجله علوم زراعی ایران، شماره ۳، جلد ۱، صفحه ۵۴-۴۷.

- فتح العلومی، س، ش. اصغری و ا. گلی کلانپا. ۱۳۹۴. اثرات لجن فاضلاب شهری بر غلظت عناصر پر مصرف در خاک و گیاه و برخی صفات زراعی گندم. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، شماره ۲، جلد ۵، صفحه ۷۰-۴۹.
- فقهوانی شجری، م، رضوانی مقدم، پ، قربانی، ر. و نصیری محلانی، م. ۱۳۹۰. تأثیر کاربرد منفرد و تلفیقی کود زیستی میکوریزا بر عملکرد بذر و اسانس گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum*)، همایش ملی دستاوردهای نوین در زراعت، شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرقدس.
- فیضی، ح، رضوانی مقدم، پ. و برکی، ح. ۱۳۸۹، بررسی اثرات آبیاری با فاضلابهای خانگی تصفیه شده بر کمیت و کیفیت ارزن علوفه‌ای، دومین سمینار ملی جایگاه آبهای بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، مشهد، مهندسی مشاور سروآب.
- قاسمی، ز، عظیم‌زاده، ح. ر، کریمیان، ع. ا. و سودابی‌زاده، ح. ۱۳۹۳. بررسی اثر آبیاری با پساب تصفیه شده و تصفیه نشده شهری بر شاخص‌های رشد و تجمع عناصر سنگین در گونه‌های رزماری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه یزد. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی.
- قربانی جاوید، م. و بینش، س. ۱۳۹۵، ضرورت تولید و استفاده از کودهای زیستی. سومین همایش یافته‌های نوین در محیط زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی، تهران، پژوهشکده انرژی‌های نو و محیط زیست دانشگاه تهران،
- کافی، م، ا. بروزی، م، صالحی، ع. معصومی و ج. نباتی. ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنفس‌های محیطی در گیاهان، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد. صفحه ۵۰۲.
- کرمانی‌زاده، ب، غلامعلی‌زاده آهنگر، ا، صباح، س. ک. و سیروس‌مهر، ع. ۱۳۹۵. تأثیر کاربرد قارچ میکوریزا آرباسکولار و کودهای آلی بر عملکرد و میزان جذب عناصر غذایی دو رقم گندم، علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. سال ۷. شماره ۲۶. صفحه ۵۹-۶۸.
- کشاورز، ع. و صادق‌زاده، ک. ۱۳۷۹. کم آبیاری بهینه و تجزیه و تحلیل تحلیل ریاضی و اقتصادی آن، مجله تحقیقات فنی مهندسی و کشاورزی، جلد ۵، شماره ۱۷، صفحه ۱۵-۱.
- کوچکی، ع. ۱۳۸۶. زراعت در مناطق خشک (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- گلشن، م. ۱۳۹۳. تأثیر میکوریزا و اسید هیومیک بر روی برخی خصوصیات گیاه دارویی مرزه در سطوح مختلف کود اوره. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت.
- گندمکار، ا. رحمانی، ح. ر. و جعفری، پ. ۱۳۸۹. نقش همزیستی میکوریزا در تغذیه و جذب آب، جذب کربن، افزایش فتوسنترز، فیتوهورمون‌ها، مقاومت به بیماری، فلزات سنگین و خشکی در گیاهان. اولین همایش ملی کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم، اصفهان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان.
- مبصر، ح. م، مهربان، ا، کوهکن، ش. ع. و مرادقلی، ا. ۱۳۹۰. بررسی اثر میکوریزا بر صفت‌های زراعی و ردصد پروتئین چهار رقم ذرت دانه‌ای در منطقه سیستان. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی). شماره ۱۰۳، صفحه ۱۰۵-۱۱۴.

- محمودی، س.، پارسا مطلق، ب.، زهان، م. و نقی زاده، م. ۱۸۴۰. تأثیر قارچ میکوریزا و کود فسفر بر غلظت رنگیزهای فتوسنتزی و عناصر غذایی لوبیا (*Phaseolus vulgaris L.*) در شرایط شوری. مجله بوم شناسی کشاورزی (۳ و ۲). صفحه ۲۴۲-۲۳۳.
- محمودی، ش.، ن. نجفی و ع. ریحانی تبار. ۱۳۹۳. تأثیر رطوبت خاک و کمپوست لجن فاضلاب بر شاخص کلروفیل برگ و برخی ویژگی‌های رشد گیاه یونجه در شرایط گلخانه‌ای. سال ۵. شماره ۲۰. صفحه ۲۱۸-۲۰۵.
- محمودی، م. ۱۳۹۱. اثر کودهای زیستی بر عملکرد کمی و کیفی آویشن باغی در شرایط گلخانه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان.
- محمودی، ب. و م. سرلک. ۱۳۸۷. برآورد عوامل موثر بر عرضه و تقاضای آب و جایگاه ایران در منطقه از نظر توسعه پایدار. مجمع تشخیص مصلحت نظام. مرکز تحقیقات استراتژیک، معاونت پژوهش‌های اقتصادی، کد گزارش: ۵۰-۸۷-۲-۴.
- المدرس، ع.، طاهری. ر. و صفوی، ص. ۱۳۸۷. سورگوم (گیاهشناسی، زراعت و بیوتکنولوژی). انتشارات جهاد دانشگاهی واحد اصفهان. صفحه ۲۶۳.
- مرادی‌نژاد، ا. و ابراهیمی، ن. ق. ۱۳۹۵. کاربرد فاضلاب شهر اراک در اراضی زراعی. نشریه مدیریت اراضی، شماره ۲، جلد ۴.
- معاضد، حنیفه لو، الف. ۱۳۸۵. ارزیابی کیفیت فاضلابهای ورودی و خروجی تصفیه خانه فاضلاب غرب شهر اهواز برای استفاده مجدد در کشاورزی. مجموعه مقالات اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز.
- معلم، اح. و ح. ر. عشقی زاده. ۱۳۸۶. کاربرد کودهای بیولوژیک: مزیتها و محدودیتها. خلاصه مقالات دومین همایش ملی بوم شناسی ایران، گرگان، ۴۷ صفحه.
- مفتاحی، م. ۱۳۹۰. بررسی اثر فاضلاب تصفیه شده ایلام بر روی تجمع فلزات سنگین و ارزش غذایی گیاه سورگوم. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه رازی، دانشکده علوم کشاورزی.
- منزوی م. ۱۳۶۷. فاضلاب شهری. جلد دوم: تصفیه فاضلاب. ، انتشارات دانشگاه تهران ۲۲۶ صفحه.
- منصوری، م. ۱۳۹۲. اثر کود نیتروژن و فاضلاب خام و تصفیه شده روی بیوماس و مقدار کربوهیدرات سورگوم شیرین *Sorghum bicolor L. Moench*. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم، گروه زیست‌شناسی.
- موحدیان، ف.، افیونی، م. اثر پساب و لجن صنعتی روی برخی خصوصیات شیمیایی و تجمع عناصر سنگین خاک در اصفهان. مجموعه مقالات دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، اصفهان. ۱۳۸۵.
- میرزایی، ت. ر.، ج. کامبوزیا، ح. صباحی و ع. ا. مهدوی دامغانی. ۱۳۸۸. اثر مصرف کودهای آلی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و تولید محصول و ماده خشک گوجه فرنگی. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، شماره ۱، جلد ۷، صفحه ۲۶۸-۲۵۷.
- نور محمدی، ق.، سیادت، ع. ا. و کاشانی، ع. ۱۳۸۹. زراعت، جلد اول (غلات). انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ۴۴۶ صفحه.

- نوربخش، ف، و حاجی باسی، م.، ۱۳۷۸. بیولوژی خاک. انتشارات غزل، ۱۹۸ صفحه.
- هیأت تحریریه. ۱۳۷۰. ضرورت جمع آوری و تصفیه فاضلاب در ایران. فصلنامه آب و فاضلاب کشور.
- یارقلی، ب. ۱۳۸۹. ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب‌های برگشتی. معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور دفتر نظام فنی اجرایی. نشریه شماره ۵۳۵

- Adeli, A., Varco, J. J., Sistani, K. R. and Rowe, D. E. 2005. Effects of swine lagoon effluent relative to commercial fertilizer applications on warm-season forage nutritive value. *Agronomy Journal*. 97: 408– 417.
- Adhoum, N., and Monser, L. (2004). “Decolourization and removal of phenolic compounds from olive mill wastewater by electrocoagulation.” *J. Chemical Engineering Process*. 43: 1281-1287.
- Adjei, M.B. and Jack E. Rechcigl. 2002. Bahiagrass production and nutritive value as affected by domestic wastewater residuals. *Agronomy Journal* 94:1400–1410.
- Ahmadi, Abbas. 2003. Investigation quality forage several range species in different stage of phonological growth by two methods of lab and NIR. Ms.c. thesis of range management. Faculty of natural resources. Tehran University.
- Akdeniz, H., Yilmaz, I., Bozkurt, M.A., and Keskin, B. 2006. The effect of sewage sludge and nitrogen applications on grain sorghum grown (*Sorghum vulgare L.*) in Van-Turkey. *J. Environ. Stud.* 15: 19-26.
- Alizadeh, A. 2001. Using Reclaimed Municipal Wastewater for Irrigation of Corn. International Workshop on Wastewater Reuse Management. ICID-CIID. Seoul. Korea. Pp:147-154.
- Alizadeh, A., M.E. Bazari, S. Velayati, M. Hasheminia and A. Yaghmaie. 2001. Irrigation of corn with wastewater. PP: 147-154.
- Allen M, Moore JTS, Christensen M., 1982. Phytohormone changes in *Bouteloua gracilis* infected by vesicular-arbuscular mycorrhizae: II. Altered levels of gibberellin like substances and abscisic acid in the host plant. *Can. J. Bot.* 60: 468 – 71.
- Allen MF, Smith WK, Moore TS, Christensen M., 1981. Comparative water relations and photosynthesis of mycorrhizal and non-mycorrhizal *Bouteloua gracilis* H.B.K. Lag ex Steud. *New Phytol.* 88: 683 - 93.

- Altieri, M. A., 1994. Sustainable agriculture, Encyclopedia of agriculture Science. 4: 239-247.
- Amaducci, S., Amaducci, MT., Enati, R. and Venture, G., 2000. Crop yield and quality parameters of four annual fiber crops (*Hemp*, *Kenaf*, *Maize* and *Sorghum*) in the north of Italy. Indian Crops Production. 11: 179–186.
- Amerian, M. R., Stewart, W. S. and Griffiths, H., 2001. Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, assimilation and leaf water relations in maize (*Zea mays*). Asp. Appl. Biol. 63: 71-76.
- Amin, A.W., F.K. Sherif, H. El-Atar and Ez-Eldin, H., 2009. Effect of residual and accumulative sewage sludge on heavy metals bioaccumulation: Gene action and some yield parameters of Vicia faba. Res. J. Environ. 60-75.
- Arnon, D.I., 1967. Photosynthesis by isolated chloroplast I.T. central concept and comparison of three prochemical reaction Biochemical et Biophysica Acta. 20: 440-446.
- Arriagada, C.A., M.A. Herrera and J.A. Ocampo., 2007. Beneficial effect of saprobe and arbuscular mycorrhizal fungi on growth of Eucalyptus globules co-cultured with Glycine max in soil contaminated with heavy metals. Journal of Environmental Management. 84: 93-99.
- Asano, T., & G.s. Pettygrove., 1987. Using reclaimed municipalwastewatter for irrigation ,California Agric .Vol.41 No .3 and 4.
- Asano, T., and Pettygrove, G. S., 1987. Using reclaimed municipal wastewater for irrigation. California Agric. 41.
- Astaraei A. R., Ivani R., 2008. Effect of organic sources as foliar spray and root media on nutrition of cowpea plant. American-Eurasian J. Agri. Environ. Sci. 3: 352-356.
- Auge, R. M., 2001. Water relations, drought and vesicular- arbuscular mycorrhiza symbiosis. Mycorrhiza.11:3-42.
- Available on the site: <http://www.asreelm.com/what-are-coliforms>
- Avio L., Pellegrino E., Bonari E. and Giovannetti M., 2006. Functional diversity of arbuscular mycorrhizal fungal isolates in relation to extraradical mycelia networks” New Plhytol, 172. pp 347.
- Ayers, R. S. and Wastcot, D.W. 1985. Water quality for agriculture Rev. 1. FAO Rome.

- Barber, G.D., D.I. Givens, M.S.Kridis, N.W. offer and I. Murrag., 1990. Prediction of the organic matter digestibility of grass silage, Anim. Feed Sci. and technol. 28:115-128.
- Barea J. M., Ferrol N., Azcon-Aguilar C. and Azcon R., 2008. Mycorrhizal symbioses. pp 143-163.
- Barea, J. M., Werner, D., Azcon-Guilar, C. and Azcon, R., 2005. Interaction of arbuscular mycorrhizal and nitrogen fixing symbiosis in sustainable agriculture. In: D. Werner and W. E. Newton. (Eds). Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology and the environment. Springer.
- Bashan, Y., Holguin, G., and L.E. de-Bashan., 2004. *Azospirillum*-plant relationships: Physiological, molecular, agricultural and environmental advances (1997-2003). Can. J. Microbiol. 50: 521-577
- Bathlenfalvay, G. J., M. S. Brown, R. N. Ames and R. S. Thomas., 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.
- Bethlenfalvay, G.J., 1992. Mycorrhizae and crop productivity.In: G.J. Bethlenfalvay and R.G. Linder man (eds.) Mycorrhizae in sustainable agriculture . ASA Spacial Publication, Madison. pp 1-28.
- Bradley, K., Drijber, R. A. and Knops, J., 2006. Increased N availability in grassland soils modifies their microbial communities and decreases the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi. Soil Biol. Biochem. 38, pp 1583.
- Buxton, DR., Mertens, DR. and Fisher, DS., 1996. Forage quality and ruminant utilization. P. 229-226. In the book: LE Moser DR Buxton and Casler MD (eds) Cool-season forage grasses. American Society of Agronomy Monograph Series, 34. Madison, Wisconsin.
- Buxton, D. R and J. R Russell., 1988. Lignin constituents and cell-wall digestibility of grass and legume stems. Crop Sci. 28: 553–558.
- Cameron, D. R., 1996. Sustainable Effluent Irrigation Phase 1: Literature Review, International Perspective and Standards. Tech. Rept. Prepared for Irrigation Sustainability Committee, Canada-Saskatchewan, Agriculture Green Plan.
- Cavender, N.D., Atiyeh, R.M. and Knee, M., 2003. Sewage sludge stimulates mycorrhizal colonization of roots of sorghum bicolor at the expense of plant growth. Pedobiologia. 47: 85-89.

- Chandra, Sh. and Ateequr, R., 2010. Environmental Escherichia coli occur as natural plant growth-promoting soil bacterium. Journal of applied and environmental microbiology. 32(5): 423-427.
- Cheng, A. C., Warknek, J. E., Page, A. L., Land, A. J., 1984. Accumulation of Heavy Metal in Sewage Sludge Treated Soils. J. Environ. Qual. Vol.13. pp.87-90.
- Cheolwook, N., L. Moonjeong and P. Kuenwoo., 2001. Effect of magnesium ion content in nutrient solution on the growth and quality of marjoram. Acta Hort. 548: 485-490.
- Clapp, C.E., A.J. Palazzo, W.E. Larson, G.C. Marten and D.R. Lindem., 1987. Uptake of nutrients by plants irrigated with municipal wastewater effluent. PP: 395-404.
- Clark R. B and Zeto S. K., 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhiza plants" J. Plant Nutr., 23, pp 867.
- Cripps, R. W., Winfree, S. K., and Reagan, J. L., 1992. Effecte of sewage sludge application method on corn production commun. Soil Sci. Plant Anal. 23, 1715-1723.
- Day. A.D., T.C. Tucker., 1977. Effects of treated wastewater on growth, fiber, protein and amino acid content of sorghum grain. J. Environ. Qual. 6 (3): 325-327.
- Demir, S., 2004. Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. Turk J Biol. 28: 85-90.
- Dodd, J., 2000. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in agro-natural ecosystems. Outlook on Agriculture. 29(1):63-70.
- Doggett, H., 1988. Sorghum. 2nd edn. Trop. Agric. Series: Longman. 512 pp.
- Dudhane, M.P., Borde, M.Y. and Jite., P.K., 2011. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth and Antioxidant Activity in *Gmelina arborea* Roxb. under Salt Stress Condition. Not Sci Biol. 3(4) : 71-78.
- Ebhin Masto, R., Chhonkar, PK., Singh, D. and Patra, AK., 2006. Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a sub-tropical inceptisoil. Soil biology and Biochemistry. 38: 1577-1582.
- Egerton-Warburton L. M. and allen E. B., 2000. shifts in arbuscular mycorrhizal communities along an anthropogenic nitrogen deposition gradient" Ecol. Appl. 10, pp 484.

- Epstein, E., Tylor, J.M. and Chaney, R.L., 1976. "Effect of Sewage Sludge Compost Applied to Soil on Some Soil Physical Properties." *J. Environ. Qual.* (55): 422-426.
- Ercolani, G. L., 1976. Bacteriological quality assessment offresh marketed lettuce and fennel. *Appl. Environ. Microbiol.* 31, 847-852.
- Erfani, A., Haghni,a GhH., Alizadeh, A., 2002. Yield and chemical composition of lettuce and some soil characteristics as affected by irrigation with wastewater. *Journal of Science and Technology Agriculture and Natural Resource, Water and Soil Science.* 6(1):71-92 (in Persian).
- Estrada-Luna, A. A. and F.T. and F.T. Davies, Jr., 2003. Arbuscular Mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchanges, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*cappicum annuum L.CV. San Luis*) plantlets during acclimatization and post- acclimatization. *J. plant physical.* 160(9):1073-1083.
- Fallah, A.R., Besharati, H., and Khosravi, H., 2009. *Soil Microbiology*, Ayizh Press, Tehran, Iran, 255p. (In Persian).
- Fallik . E. and Ok on. y., 1988. Growth response of maize roots to azospirillum inoculation : Effect of soil organic matter content, Number of rhizosphere bacteria and and timing of inoculation . *Soil Biol. Biochem* , 20 , 24 , 49.
- Farhood, M. R., Amin, S., 2001. Groundwater Contamination by Heavy Metals in Agricultural Water Resources of Shiraz Area. International Workshop in Wastewater Reuse Management. ICID-CIID. Seoul, Korea. pp.95-103.
- Farnworth, J. and Ruxton, I. B., 1973. The response of forage sorghum to applications of nitrogen and iron chelate. University College of North Wales Publication No. 17 63-70.
- Fatta, D. and Kythreotou, N., 2005. Wastewater as Valuable Water Resource- Concerns, Constraints and Requirements Related to Reclamation, Recycling and Reuse. IWA International Conference on Water Economics, Statistics, and Finance, Greece.
- Feibo, W., W. Lianghuan and X. Fuhua. 1998. Chlorophyll meter to predict nitrogen side dress requirements for short-season cotton (*Gossypium hirsutum L.*). *Field Crop. Res.* 56: 309-314.
- Feizi, M., 2001. Effect of Treated Wastewater on Accumulation of Heavy Metals in Plants and Soil. International Workshop on Wastewater Reuse Management. ICID-CIID. Seoul, Korea. pp.137-146.

- Feng G., Zhang F. S., Li x. L., Tian C. Y., Tang C. and Rengel Z., 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza*. 12, 185.
- Franken, P., 2012. The plant strengthening root endophyte *Piriformospora indica*: potential application and the biology behind. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 96:1455–1464.
- Freitas, M.S.M., Martins, M.A. and Vieira, E.I.J.C., 2004. Yield and quality of essential oils of *Mentha arvensis* in response to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 39(9): 887-894.
- 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, pp 167.
- Gaur, A., Adholeya, A., and Mukherji, K.G., 2000. On farm production of VAM inoculums and vegetable crops in marginal soil amended with organic matter. *Tropical Agriculture*. 77: 1. 21-26.
- George, E., Haussler, K. and Kothari, S. k., 1994. Role of arbuscular mycorrhiza fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil” *Crit Rev Biotechnol.*, 15, pp 257.
- Ghazi, A.K. and B. M. Zak., 2003. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza*. 14:263-269.
- Giovannetti M. and Mosse B., 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in infection in roots. *New Phytol.*, 84, pp 489.
- Goh, TK., Ho, WH., Hyde, KD. and Tsui, KM., 1997. Four new species of Xylomyces (Hyphomycetes) from submerged wood and a key to the genus. *Mycol Res* 101:1323-1328.
- Goodchild, AV., 1997. Effects of rainfall and temperature on the feeding value of barley straw in semi-arid mediterranean environment. *Journal of Agricultural Science Cambridge*, 129: 353–366.
- 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, pp 819.

- Greenberg, A. E., Trussell, R. H. and Clesceri, L. S., 1985. Standard Method For tha Examinetion of Water and Waste Water. 1Gth Editio. APHA. AWWA. WPCF, New York, Parts 400 and 900.
- Hopkins, B. and J. Ellsworth. 2003. Phosphorus nutrition in potato production. Idaho Potato Conf, pp. 22-23.
- Hussain, G. Al-Saati, J.A. Wastewater Quality and its Reuse in Agriculture in Saudi Arabia. Desalination. Vol.123. pp. 241-251. 1999.
- Hussain, I., L. Raschid, M.A. Hanjra, F. Marikar and W. Vander Hoek., 2002. Waste water use in agriculture: Review of impacts and methodological issues in valuing impacts. (With an extended list of bibliographical references). pp 37.
- Ibewe, A. M., J. S. R. Luchanej and P. Van Burkum., 1995. Sewage sludge and heavy metal effects on nodulation and nitrogen fixation of legumes. J. Environ. Qual. 24: 1199 -1204.
- Jafari, AV., Frolich, AC. and Walsh, EK., 2003. A note on estimation of quality in perennial rye grass by near in frared spectroscopy. Irish Journal of agriculture and Food Research, 42: 293-299.
- Jalali, A., Galavi, M., Ghanbari, A., Ramroudi, M., and Yousefolahi, M. 2010. The effect of irrigation with treated wastewater and urban and performance of heavy metals in forage sorghum (*Sorghum bicolor L.*). Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Sciences. 52(5): 15-24.
- Jones, C.A., Jacobsen, J.S., Mugaas, A., 2004. Effect of humic acid phosphorus availability and spring wheat yield. Fact. Fertilizer. 32.
- Joshee, N., S.R. Mentreddy and K. Yadav., 2007. Mycorrhizal fungi and growth and development of micropropagated *Scutellaria integrifolia* plants. Industrial Crops and Products. 25: 169–177.
- Kahiluoto H., Ketoja E., Vestberg M. and Saarela I., 2001. Promotion of AM utilization through reduced P fertilization 2.Field studies. Plant Soil., 231, pp 65.
- Kaushik, P. and Garg, V. K., 2007. Influence of textile mill waste water irrigation on the growth of sorghum cultivars. Applied Ecology And Environmental Research. 6(2), 1-12.
- Kelly, R. M., Edwards D. G., Thompson J. P. and Magarey R. C., 2005. Growth responses of sugarcane to mycorrhizal spore density and phosphorus rate" Aust. J. Agr. Res., 56, pp 9.

- Khai, N. M., 2007. Effects of Using Wastewater and Biosolids as Nutrient Sources on Accumulation and Behaviour of Trace Metals in Vietnamese Soils. Ph.D. Thesis, Depart.of Soil Sci. University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sewden.
- Khaosaad, T., Vierheilig, H., Nell, M., Zitterl-Eglseer, K., and Novak, J., 2006. Arbuscular mycorrhiza alters the concentration of essential oils in oregano (*Origanum sp.*, *Lamiaceae*). *Mycorrhiza* 16: 443-446.
- Kirchner, M., 1993. Soil microbial population and activities in reduced chemical input agroecosystems. *SSSAJ*. 57:1289-1295
- Klay, S., A. Charef, A. Ayed, B. Houman and F. Rezgu., 2010. Effect of irrigation with treated wastewater on geochemical properties (saltiness, C, N and heavy metals) of isohumic soils (Zaouit Sousse perimeter, Oriental Tunisia). *Desalination*. 253:180-187.
- Koomen, I., S.P. McGrath and K.E. Giller., 1990. Mycorrhizal infection of clover is delayed in soils contaminated with heavy metals from past sewage sludge applications. *Soil. Biol. Biochem.* 22: 871-873.
- Kothamasi, D., R. and Chander kuhad., C.R.babu. 2001. Arbuscular mycorrhizae in plant survival strategies. *Tropical Ecology* 42(1):113.
- Kothari, S. K., Marschner, H. and E. George., 1990. Effect of VA mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms on root and shoot morphology, growth, and water relations of maize. *New Phytol.* 116: 303-311.
- Kowal, N. E., Pahren, H. R. and Akin, E. W., 1980. Microbiological health effects associated with tha use of municipal waste water for irrigation. In International Conference on Cooperative Research Needs for the Renovation and Reuse of Municipal waste water for Agriculture. Secretaria de Agriculturay Recursos Hidraulicos, Mexico City. Mexico, D. F. 1-50.
- Kraft, G. and W. Stites., 2003. Nitrate impacts on groundwater from irrigated- vegetable systems in a humid north- central US sand plain. *Agricultural Ecosystems and Enviroment*. 63- 74.
- Krishna KR, Bagyaraj DJ., 1984 Phenois in mycorrhizal roots of *Arachis hypogea*. *Experientia*. 40: 85 - 6.
- Kuo, S., Ortiz Escobar, ME., Hue, NV. and Hummel RL., 2004. Composting and compost utilization for agronomic and container crops. In: Pandalai (Ed.). Recent Research Development and environmental biology. Research Signpost, pp. 451-513.

- Ladjal, M., R. Huc and M. Ducrey. 2005. Drought effects on hydraulic conductivity and xylem vulnerability to embolism in diverse species and provenances of Mediterranean cedars. *Tree Physiol.* 25: 1109 –1117.
- Lekberg, Y. and Koid, R. T., 2005. Arbuscular mycorrhizal fungi, rhizobia, available soil P and nodulation of groundnut (*Arachis hypogaea*) in Zimbabwe. *Agr. Ecosyst. Environ.* 110, 143.
- Lerat S., Lapointe L., Gutjahr S., Piche Y. and Vierheilig H., 2003. Carbon partitioning in a split-root system of arbuscular mycorrhizal plant is fungal and plant species dependent. *New Phytol.*, 157, pp 589.
- Li. B., M. Wei., A. Shen., J. Xu., H. Zhang, and F. Hao., 2009. Changes of yields, soil properties and micronutrients as affected by 17-yr fertilization treatments. *International Journal of Food, Agriculture and Environment.* 7: 408-413.
- Linderman, R.G., 1988. Mycorrhizae interaction with the rhizosphere microflora: The mycorrhizosphere effect. *Phytopathol.* 78:366-371.
- Louche-Tessandier, D., Samson, G., Hernandez-Sebastia, C., Chagvar diff, P., & Desjardins, Y., 1999. Importance of light and CO<sub>2</sub> on the effects of endomycorrhizal colonization on growth and photosynthesis of potato plantlets (*Solanum tuberosum*) in an invitro tripartite system. *New Phytol.* 142: 239-550.
- Lucho-Constantino, CA., M. Alvarez-suarez., R. I. Beltran-Hernandez., F. Prieto-Garcia and H. M. Poggi-varaldo., 2005. A multivariate analysis of the and Cd by amine-modified zeolite. *Water Res.* 39, pp: 3287-3297.
- Mahida, U. N., 1981. *Water Pollution and Disposal of Wastewater on Land.* McGrow-Hill pub., New Delhi. 323 pp.
- Malakouti, M.J., Khougar, Z., and Khademi, Z., 2004. Innovative approach to balanced nutrition of wheat, (A compilation of papers). Ministry of Jihad-e-Agriculture, Wheat Department, 851p. (In Persian).
- Marschner, H., 2003. *Mineral Nutrition of Higher Plants.* Academic Press, USA.
- Martin, F. W., 1986. Sorghum. In. *CRC Handbook of Tropical Food Crops:* CRC Press, Inc., Ohio, USA. 47, 663-678.
- Mehrvarz, S., and M.R. Chaichi. 2008. Effect of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on forage and grain quality of barely (*Hordeum vulgare L.*). *American-Eurasian J. of Agri. and Envier.Sci..*, 3 (6): 855-860.

- Meli, S., M. Porto, A. Belligno. S.A. Bufo. A. Mazzatura and A. Scopa., 2002. Influence of Irrigation with Lagooned Urban Wastewater on Chemical and Microbiological Soil Parameters in a Citrus Orchard under Mediterranean Condition. *The Sci. of the Total Environ.* 285: 69-77.
- Miller, SP., 2000. *New Phytol.* 145:145–155
- Moazzam, A., Shahid, S. and Omme, H., 2010. Irrigation of sorghum crop with waste stabilization pond effluent: growth and yield response. *Journal of Pakistan botany.* 42(3), 1665-1674.
- Morte, A. Lovisolo, C. and Schubert, A., 2000. Effect of drought stress on growth and water relations of the mycorrhizal association *Helianthemum almeriense-Terfezia claveryi*. *Mycorrhiza.* 10:115–119.
- Munir, J., M. Rusan, S. Hinnawi, and L. Rusan., 2007. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination.* 215: 143-152.
- Nadia, E., 2005. Response of Sorghum spp. To Sewage Waste- water Irrigation. *Journal Of Agriculture & Biology.* 16(6), 869-874.
- Nazari, M.A., Shariatmadari, H., Afyuni, M., Mobli, M., and Rahili, Sh., 2006. Effect of industrial sewage sludge and effluents application on concentration of some elements and dry matter yield of wheat, barley and corn. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour.* 10: 3. 97-111. (In Persian).
- Neilsen, G. H., Stevenson, D. S., Fitzpatrick, J. J. and Brownlee, C. H., 1991. Soil and sweet cherry responses to irrigation with wastewater. *Con. J. Soil Sci.* 71, 31-41.
- Ortas, I., 1996. The influence of use of different rates of mycorrhizal inoculum on root infection, plant growth, and phosphorus uptake. *Commun. Soil. Sci. Plant. Anal.* 27: 2935-2946.
- Ortega-Loracea, M.P., 2001. Arbuscular Mycorrhial Fungi (AMF) spore abundance is affected by wastewater pollution in soils of Mezqital Valley in Centural Mexico. *Sustaining the Global Farm.* PP. 676-681. In: D.E. Stott, R.H. Mohtar , G.C. Steinhardt (Eds.), *Selected Papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting held at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory,West Lafayette, IN.*
- Ortega-Ochoa C., 2005. Effect of levels of irrigation on forage standing crop and quality of WW-B. Dahl (*Bothriochloa bladhii*) pasture under summer grazing. *Ph. D. Thseis.*

- Pal, N.C., M.A.R. Sarkar., M.Z. Hossain, and S.C. Barman., 2008. Root growth of four transplant Aman rice varieties as influenced by NPKS fertilizer. Journal of the Bangladesh Agricultural University. 6: 235-238.
- Paliwal, K., K.S.T.K. Karunaichamy and M.Anonthavalli., 1998. Effect of sewage water irrigation on growth, performance, biomass and nutrient accumulation in Hardwickia binata under nursery conditions. Bioresource Technology. 66:105-111.
- Papadopoulos, I. and Y. Stylianou., 1991. Trickle irrigation of sunflower with municipal wastewater. Agric. Water Manag. 19: 67-75.
- Patterson, R. A., 1996. Soil Hydraulic Conductivity and Domestic Wastewater. Wat. Scie. and Technol. Vol. 43. No. 12. pp. 103-108. 2003.
- Pedra, F., Polo, A., Ribero, A. and Domingues, H., 2007. Effect of municipal solid waste compost and sewage sludge on mineralization of soil organic matter. Journal of Soil Biology and Biochemistry, 39(6): 1375-1382.
- Philips, J.M., and Hayman, D.S. 1970. Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and *vesicular arbuscular mycorrhizal* fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society 55:158-161.
- Plenchette, C. and Duponnis, R., 2005. Growth response of the saltbush *Atriplex numularia* L. inoculation with the arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transaction of British mycological Society.
- Prakash, V, Bhattacharyya, R. and Selvakumar, G., 2007. Long-term effects fertilization on some properties under rainfed soybean-wheat cropping in the Indian Himalayas. J Plant Nutr Soil Sci .170: 224-233.
- Priepke, P. E., Wei, L. S. and Nilson, A. I., 1976. Refrigerated storage salad vagetables. J. Food Sci. 41, 379-382.
- Rahmani, N., Valadabadi, A.R., Daneshian, J., and Bigdeli, M., 2008. The effects of water deficit stress and nitrogen on oil yield of *Calendula officinalis* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 24(1): 101-108. (In Persian with English Summary).
- Rai, M., D. Acharya, A. Singh, and A. Varma., 2001. Positive growth responses of the medicinal plants *Spilanthes calva* and *Withania somnifera* to inoculation by *Piriformospora indica* in a field trial. Mycorrhiza. 11: 123-128.

- Rambelli, A., 1973. The rhizosphere of Mycorrhizae. P. 299-343. In G.L. Marks and T.T. Koslowski (ed) Ectomycorrhizae. Academic press. New York.
- Ravnskov, S. and Jakobsen, I., 1999. Effects of pseudomonas fluorescences DF 57 on growth and P uptake of two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with cucumber. Mycorrhizae, 8: 329-334.
- Richardson A. E., George T. S., Jakobsen I. and simpson R. J., 2007. Plant utilization of inositol phosphates. Pp 242-260, In: "Inositol phosphates: Linking agriculture and the environment", Turner B. L., Richardson A. E. and Mullaney E. J., CABI, Wall-ingford, UK.
- Ritchie, J.C., Reeves, J.B., Krizek, D.T., Foy, C.D. & Gitz, D.C., 2006. Fiber composition of eastern gamagrass forage grown on a degraded, acid soil. Field Crops Research 181–176 , 97.
- Rohani Shahraki, F., Mahdavi, R., and Rezaee, M., 2005. "Effect of irrigation with wastewater on certain soil physical and chemical properties." J. of Water and Wastewater, 53, 23-29. (In Persian)
- Ryan M. H. and Angus J. F. and Kirkegaard J. A., 2005. Reduced growth of autumn-sown wheat in a low P soil is associated with high colonization by arbuscular mycorrhizal fungi" Plant soil., 270, pp 275.
- Ryan, M. H., and Ash, J. E., 1999. Effects of phosphorus and nitrogen on growth of pasture plants and VAM fungi in SE Australian soil with contrasting fertilizer histories (conventional and biodynamic)" Agr. Ecosyst. Environ., 73, pp 51.
- Saber, M. S. M., 1986. Prolonged effect of land disposal of human waste on soil conditions. Wat.Sci. Tech. 18, 371-374.
- Safir, G.R., Boyer, J.S. & Gerdemann, J.W., 1972. Mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. Plant Physiology. 49 (5): 700-703.
- Sanchez-blanco, M. J., Ferrandez, T., Morales, M. A., Morte A. and JoseAlarcon, J., 2003. Variations in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plant infected with *Glomus deserticola* under drought conditions"J. Plant Physiol. 161. 675-682.
- Secilia, J. and D.J. Bagrayaj., 1992. Selection of efficient vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi for wetland rice.Biol. Fertil. Soil. 13: 108-111.
- Selvaraj, T. and Chellappan, P., 2006. Arbuscular mycorrhizae: A diverse personality. Journal of Central European Agriculture. 7: 349–358.

- Sharma, A. K. and Johri, B. N., 2002. Arbuscular mycorrhizae, interaction in plants, rhizosphere and soils. Science Publisher. INC, ENFIELD, NH, USA.
- Sharma, A.K., 2002. Biofertilizers for sustainable agriculture. Agrobios, India, 407p.
- Shuval, H. I, Yekutiel, P. and Fattal, B., 1984. Epidemiological Evidence for Helminth and Cholera Transmission by Vegetables Irrigated with Wastewater: Jerusalem - a Case Study. *Wat. Sci. Technol.*, Vol.17, pp. 433-442.
- Shuval, H. I., Adin, A., Fattal, B., Rawitz, E. and Yekutiel, P., 1986. Wastewater Irrigation in Developing Countries. Health Effects and Technical Solutions. World Bank Tech. Pap. 51, 325pp.
- Slama, I., Ghnaya, T., Hessini, K., Messedi, D., Savoure, A. and Abdelly, C., 2007. Comparative study of the effects of mannitol and PEG osmotic stress on growth and solute accumulation in Sesuvium portulacastrum. *Environmental and Experimental Botany*. 61:10–17.
- Smart, M. K., 2003. Effects of Long-Term Irrigation with Reclaimed Water on Soils of the Northern Adelaide Plains, South Australia. *Australian Journal of Soil Research*.
- Smith S. E. and Read D. J., 2008. Mycorrhizal symbiosis". 3<sup>rd</sup> Edition. Academic Press, Elsevier, Amsterdam.
- Smith S. E., Smith F. A. and Jakobsen I., 2004. Functional diversity in arbuscular mycorrhizal (AM) symbioses: the contribution of the mycorrhizal P uptake pathway is not correlated with mycorrhizal responses in growth or total P uptake" *New Phytol.*, 162, pp 511.
- Smith, S. E., E. Facelli, S. Pope, and A. F. Smith.. 2010. Plant performance in stressful environments: Interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. *Plant and Soil*, 326:3-20.
- Sudha, S. N., Jayakumar, R., and Sekar, V., 1999. Introduction and expression of the cry1Ac gene of *Bacillus thuringiensis* in a cereal-associated bacterium, *Bacillus polymyxa*. *Current Microbiology*, 38: 163–167.
- Tabatabaei, S. H., Liaghat, A., Heidarpour, M., 2001. "Use of Zeolite to Control Heavy Metal in Municipal Wastewater Applied for Irrigation. International Workshop on Wastewater Reuse Management. ICID-CIID. Seoul. Korea. Pp. 33-41.

- Taha, I. M., N. B. Hamza, and M. N. Malik., 2002. Utilization of treated sewage water forage production. Proceeding of International Symposium on Environment Pollution Control and Waste Management. Tunis. 7(10): 560-572.
- Tate, RL 3rd., 1987. Cultural and environmental factors affecting the longevity of *Escherichia coli* in Histosols. Applied and Environmental Microbiology. 35(5): 925-29.
- Tavasoli, A., Ghanbari, A., Payehgozar, U., and Ahmadi, A., 2009. Irrigation with treated wastewater as an alternative to municipal waste water and its effect on the quantity and quality of forage maize in arid areas. The Second National Conference on the Effects of Drought and its Management Practices, Esfahan. 5p.
- Tawaraya K., Naito M. and Wagatsuma T., 2006. Solubilization of insoluble inorganic phosphate by hyphal exudates of arbuscular mycorrhizal fungi” J. Plant Nutr., 29, pp 657.
- Tester, C.F., L.J. Sikora, J.M. Taylor and J.F. Parr., 1982. Nitrogen utilization by tall fescue from sewage sludge compost amended soils. Agron. J. 74: 1013-1018.
- Tinker, P.B., 1980, Role of rhizosphere microorganisms in phosphorus uptake by plants. In The Role of Phosphorus in Agriculture (Eds. Khasaweneh, F.E.et.al.) ASA-CSSA-SSSA, Madison, USA.
- Tropical Agriculture. 77: 1. 21-26.
- Uniyal, S.K., Awasthi, A. & Rawat, G.S., 2005. Biomass availability and forage quality of *Eurotia ceratoides* Mey IN The rangelands of Changthang, eastern Ladakh. Current sciencs. Vol.89, No ,1. 10 Julay.
- Valentine A. J., Mortimer P. E., Lintnaar A. and Borgo R., 2006. Drought responses of arbuscular mycorrhizal grapevines. Symbiosis, 41, 3, pp 127.
- Vamerali T. M. Saccomani. S. Mosca, N. Guarise, and A. ganis., 2003. A comparison of root charactertics in relation to nutrient and water stress in two maize hybrids. Plant and Soil 25. 157- 167.
- Vazquez- Montiel, O., Horan, N.J., and Mara, D.D., 1995. Effects of nitrogen application using treated waste waters on nitrogen uptake and crop yield based pot trials with maize and soybean. Journal of Water Research. 29: 1945-1949.

- Waite, R. and Boyed, J., 1953. The water-soluble carbohydrates of grasses. II. Grasses cut at grazing height several times during growing season. *Jour. Sci. Food, Agric.* 4: 257-261.
- Weyer, P. J., J. R. Cerham, B. C. Kross, G. R. Hallberg, J. Kantamneni, G. Breuer, M. P. Jones, W. Zheng and C. F. Lynch., 2001. Municipal drinking water nitrate level and cancer risk in older women. *The Iowa Women Health study. Epidemiology.* 327- 338.
- Whalen, J.K., and Chang, C., 2002. Phosphorus sorption capacities of calcareous soil receiving cattle manure application for 25 years. *Communication of Soil Science and Plant Analysis.* 23: 1011-1026.
- Wilman, D. and P. Rezvani Moghaddam., 1998. In vitro digestibility and neutral detergent fiber and lignin contents of plant parts of nine forage species. *J. Agric. Sci., Camb.* 131: 51-58.
- Wu SC Cao ZH Li ZG Cheung KC and Wong MH., 2005. Effects of biofertilizers containing N-fixer, P and K solubilizer and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma.*125:155-166.
- Yeasmin, T. and P. Zamani., 2007. Arbuscular mycorrhizal fungus inoculum production in rice plants. *African J. Agric. Res.* 2(9): 463-467.
- Zaman, M., Matsushima, M., Chang, S. X., Inubushi, K., Nguyen, L., Goto, S., Kaneko, F., and Yoneyama, T., 2004. "Nitrogen mineralization, N<sub>2</sub>O production and soil microbiological properties as affected by long-term applications of sewage sludge composts." *Biology and Fertility of Soils,* 40, 101-109.
- Zhang, G.Y., Zhang, L.P., Wei, M.F., Liu, Z., Fan, Q. L., Shen, Q.R. and Xu, G.H., 2011. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi, organic fertilizer and soil sterilization on maize growth. *Acta Ecologica Sinica.* 31: 192-196.



پروپرتی

جدول پیوست ۱. خلاصه نتایج تجزیه واریانس اثر میکوریزا بر مورفولوژی ریشه و اندام هوایی دو رقم سورگوم در شرایط آبیاری با پساب

میانگین مربعات											منبع تغییرات
مجموع طول ریشه در بوته	حجم ریشه در بوته	مجموع سطح ریشه در بوته	متوسط قطر ریشه	وزن خشک اندام هوایی بر حسب بوته	وزن خشک ریشه بر حسب بوته	ارتفاع ریشه بر حسب بوته	شاخص کلروفیل برگ	درجه آزادی			
۴۷/۰۷ ns	۱۶ ns	۲۰۴۱/۶۷ ns	.۰/۰۳ ns	۱۳/۸۱*	.۰/۲۸ ns	۱۲۱/۰۱ ns	۱۳/۱۱ ns	۳		بلوک	
۳۶/۹۷ ns	۱۹۳/۴۴ ns	۳۹۱۳/۹۶ ns	.۰/۰۰۸ ns	.۰/۲۷ ns	۱/۸۴**	۳۰۵/۵۲ ns	۱۷/۷۷ ns	۱		رقم	
۷۷۰/۴۸**	۲۶۰۶/۳۲**	۳۶۰۵۴/۰۱**	.۰/۰۰۳ ns	۱/۵۲ ns	۱/۵۰**	۱۳۵۱/۵۰ *	۱۱/۰۲ ns	۱		کود بیولوژیک	
۳۱۶/۳۱**	۸۳۳/۶۵**	۱۵۹۴۴/۲۹**	.۰/۰۰۵ ns	۲۴/۷۹**	۱/۴۱**	۱۵۳/۰۹ ns	۳۸/۶۴ *	۲		روش آبیاری	
۳۵۴/۷۴ **	۳۱۲/۱۲ **	۱۰۲۸۳/۷۲ **	.۰/۰۷ ns	.۰/۰۳ ns	۱/۲۶ *	۱۸۰/۵۷ ns	۱/۶۸ ns	۱		رقم × کود بیولوژیک	
۲۸۲/۵۶**	۲۳۷۷/۷۷**	۲۲۸۱۸/۸۰**	.۰/۰۷ ns	۲/۲۳ ns	.۰/۰۶ ns	۲۵۱/۲۰ ns	۱۶/۳۹ ns	۲		رقم × روش آبیاری	
۶۷۶/۶۰۰ **	۳۳۴۸/۱۰**	۳۶۴۸۶/۷۳ **	.۰/۰۶ ns	۱/۶۷ ns	.۰/۵۵ ns	۳۳۰/۵۹ ns	۱۳/۲۰ ns	۲		کود بیولوژیک × روش آبیاری	
.۰/۰۲۲ ns	۱۷۷/۴۶ ns	۴۱۷/۸۱ ns	.۰/۰۰۵ ns	۸/۲۳ ns	.۰/۰۳ ns	۱۳۹/۴۵ ns	۱۶/۰۴ ns	۲		رقم × کود بیولوژیک × روش آبیاری	
۱۸/۸۴	۴۰/۶۳	۸۵۶/۶۰	.۰/۰۱	۴/۲۸	.۰/۱۷	۱۹۲/۸۴	۸/۷۶	۳۳		خطای آزمایش	
۱۳/۲۲	۱۲/۳۲	۱۲/۶۹	۱۰/۶۶	۲۰/۹۱	۱۹/۰۹	۱۱/۵۷	۸/۲۱			ضریب تغییرات (%)	

\*\*، \* و ns به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی دار می باشد.

جدول پیوست ۲. خلاصه نتایج تجزیه واریانس اثر میکوریزا بر خصوصیات کیفی دو رقم سورگوم در شرایط آبیاری با پساب

میانگین مربعات									منبع تغییرات
درصد خاکستر کل	درصد فیبر نامحلول	درصد دیواره سلولی	درصد فیبر خام	درصد پروتئین خام	درصد قند محلول	درصد ماده خشک قابل هضم	آزادی	درجه	
.۰/۶۱ ns	۹۲/۶۷ ns	۶۲/۰۷ **	۷/۶۹	۵/۹۴ ns	۷/۸۲ ns	۷۰/۳۵ **	۳		بلوک
.۰/۱۱ ns	۱۷/۷۳ ns	۳۱/۱۵ ns	۲۰/۶۸ **	۰/۵۷ ns	۹/۵۵ ns	۱۴/۹۲ ns	۱		رقم
۱/۲۰ ns	۰/۷۲ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۶۱ ns	۱۰/۰۵ ns	۴/۸۵ ns	۰/۰۹ ns	۱		کود بیولوژیک
.۰/۲۵ ns	۲۰۰/۴۲ *	۶۷/۲۹ **	۴/۵۰ ns	۱۲۴/۳۸ **	۵۷/۸۷ **	۲۸ *	۲		روش آبیاری
.۰/۴۸ ns	۲۵۲/۸۱ *	۵۶/۱۸ *	۵/۵۵ ns	۴/۵۲ ns	۴۱/۱۰ **	۳۷/۲۲*	۱		رقم × کود بیولوژیک
.۰/۲۵ ns	۱۷/۲۷ ns	۲۵/۷۲ ns	۳/۹۲ ns	۰/۱۳ ns	۵/۶۵ ns	۲۴/۳۴ ns	۲		رقم × روش آبیاری
.۰/۲۵ ns	۱۲/۶۱ ns	۰/۱۹ ns	۱/۴۶ ns	۲/۱۹ ns	۱/۰۵ ns	۰/۵۴ ns	۲		کود بیولوژیک × روش آبیاری
۱/۰۵ ns	۵۳/۳۲ ns	۲/۶۱ ns	۱/۶۳ ns	۶/۱۳ ns	۱۱/۶۵ ns	۳/۱۹ ns	۲		رقم × کود بیولوژیک × روش آبیاری
.۰/۴۵	۴۸/۶۸	۸/۲۱	۲/۷۲	۲/۹۷	۳/۸۷	۷/۹۲	۳۳		خطای آزمایش
۹/۹۸	۹/۵۵	۷/۷۶	۳/۶۵	۱۷/۵۴	۱۸/۱۶	۴/۸۰			ضریب تغییرات (%)

\*\* و ns به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی دار و بدون اختلاف معنی دار می باشد.

جدول پیوست ۳. خلاصه نتایج تجزیه واریانس اثر میکوریزا بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، درصد فسفر و کیفیت باکتریایی خاک و گیاه دو رقم سورگوم در شرایط آبیاری با پساب

میانگین مربعات										منبع تغییرات
آزادی		درجه								
b	a	فسفر	کلروفیل	کارتنوئید	کلی فرم کل خاک	کلی فرم کل مدفعوعی خاک	کلی فرم کل گیاه	کلی فرم کل	کلی فرم کل مدفعوعی گیاه	
۱/۶۷ <sup>ns</sup>	۷ **	۰/۴۵ <sup>ns</sup>	۱/۱۰ <sup>ns</sup>	۵/۵۶ <sup>ns</sup>	۰/۴۸ <sup>ns</sup>	۱/۷۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۷ <sup>ns</sup>	۳	بلوک	
۱۳۷/۲۸ **	۱۹۱/۶۸ **	۲۴/۴۲ **	۹۴۶/۴۳ **	۰/۹۴ <sup>ns</sup>	۰/۵۳ <sup>ns</sup>	۰/۷۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۷ **	۱	رقم	
۱۳۷/۲۸ **	۲۵۳/۷۴ **	۶/۱۰ *	۱۰۷۹/۱۱ **	۰/۰۰۰۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۱۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۲ <sup>ns</sup>	۱	کود بیولوژیک	
**	۱۱۲/۵۲ **	۶۵/۶۲ **	۱۳۶۱/۳۹ **	۱/۸۶ <sup>ns</sup>	۱/۳۹ **	۰/۶۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۴ *	۲	روش آبیاری	
۱۳۱/۷۲										
۱۳۷/۲۸ **	۲۱۷/۲۱ **	۶/۱۰ *	۱۶۱۲ **	۵/۳۰ <sup>ns</sup>	۱/۷۱۷ *	۴/۱۵ *	۰/۰۰۰۳ <sup>ns</sup>	۱	رقم × کود بیولوژیک	
۱۳۱/۷۲ **	۵۵/۲۵ **	۴۷/۳۱ **	۱۶۷۵/۴۲ **	۱/۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۳۷ <sup>ns</sup>	۰/۵۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۱ <sup>ns</sup>	۲	رقم × روش آبیاری	
**	۱۰۶/۶۷ **	۶/۱۰ **	۱۳۲۶/۸۷ **	۵/۴۴ <sup>ns</sup>	۱/۹۹ **	۰/۱۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۹ <sup>ns</sup>	۲	کود بیولوژیک × روش آبیاری	
۱۳۱/۷۲										
**	۵۱/۵۳ **	۶/۱۰ **	۱۲۹۱/۲۵ **	۴/۹۲ <sup>ns</sup>	۲/۴۷ **	۱/۹۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۲ <sup>ns</sup>	۲	رقم × کود بیولوژیک × روش آبیاری	
۱۳۱/۷۲										
۰/۸۰	۰/۴۹	۰/۸۷	۴/۹۰	۲/۷۰	۰/۲۳	۰/۶۱	۰/۰۰۰۹	۳۳	خطای آزمایش	
۱۹/۸۹	۱۶/۸	۲۱/۵۷	۱۰/۴۶	۱۶/۲	۱۸/۰۱	۹/۲۳	۱۹/۵۴		ضریب تغییرات (%)	

به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی دار و بدون اختلاف معنی دار می باشد ns و \* ، \*\*

**Abstract:**

The main objective of sustainable agriculture is to reduce the inputs and improve the soil nutrients cycling by reducing soil cultivation and using biological fertilizers instead of chemical fertilizers, in order to increase the yield of agricultural products. In order to investigate the effect of mycorrhiza on root and shoot morphology of two forage sorghum cultivars and soil bacterial quality under irrigation with municipal wastewater, a factorial experiment in a randomized complete block design with four replications was conducted in 2017 in greenhouse of Islamic Azad University of Sabzevar. The experimental factors included bio-fertilizer at two levels: application and non-application of arbuscular mycorrhizal fungi, irrigation at three levels: regular water, wastewater and regular water and wastewater alternatively and two cultivars of sorghum: Speedfeed and Syahzan Sabzevari. The results showed that irrigation with wastewater significantly increased leaf chlorophyll index, chlorophyll b content, root dry weight, shoot dry weight and plant phosphorus content compared to control. The wastewater application caused a significant increase in the total root length, root area and root volume in Syahzan cultivar, but had no significant effect on the root length and root area of the Speedfeed cultivar. The use of wastewater reduced the percentage of digestible dry matter, crude protein, cell wall and insoluble fiber of forage as compared to control treatment. Inoculation of mycorrhiza increased the percentage of digestible dry matter and soluble sugar in water compared to the control. Mycorrhiza decreased the digestible dry matter and increased the percentage of cell wall and insoluble fiber percentage in Syahzan cultivar. The percentage of water-soluble sugar was not affected by mycorrhiza. The highest amount of raw fiber was observed in Syahzan cultivar. Inoculation of mycorrhiza had no effect on total root length, root are, root volume and root dry weight in Syahzan cultivar, but decreased these traits compared to non-inoculated control in Speedfeed cultivar. The concentration of phosphorus in the Syahzan cultivar was significantly higher than that of Speedfeed. The highest content of chlorophyll a was obtained in Syahzan cultivar and in the presence of mycorrhiza. The use of regular water and wastewater alternatively reduced the total coliform and fecal coliform of the soil under conditions of use of Syahzan cultivar. The total fecal coliform of the plant and total coliform and fecal coliform of the soil decreased in terms of the use of regular water and wastewater alternatively and inoculation of mycorrhiza. Non-inoculation of mycorrhiza caused a significant increase in total coliform of the plant in Syahzan cultivar. The number of infectious bacteria in the soil decreased over time. The use of mycorrhizal fungus increased the rate of reduction in the amount of fecal coliform in the soil. According to the results of this experiment, the use of regular water and wastewater alternatively is recommended in the Syahzan Sabzvari local cultivar. Also, due to the improvement of sorghum growth characteristics in irrigation with wastewater and without using mycorrhiza, the simultaneous use of biological fertilizers and wastewater is not recommended.

**Keywords:** mycorrhiza, wastewater, cultivar, chlorophyll, morphology, digestibility, coliform.



**Shahrood University of Technology  
Faculty of Agriculture**

**M.Sc. Thesis in Agroecology**

**Effect of mycorrhiza on Morphology of root and shoot in two cultivar of sorghum and soil bacterial quality with treated municipal wastewater**

**Maryam Saffar Sabzevar**

**Supervisor:**

**Mohammad Reza Amerian. Ph.D**

**Advisor(s):**

**Matin Jami Moeini. Ph.D**

**Mostafa Heidari. Ph.D**

**November 2017**