بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

رساله دکتری بوم شناسی زراعی - اگرواکولوژی

تأثیر بیوپرایمینگ بر عملکرد کمی و کیفی در کشت مخلوط نیشکر- بقولات

نگارنده: علی احسانی پور

اساتید راهنما

دکتر حمید عباس دخت

دکتر منوچهر قلی پور

استاد مشاور

دکتر علیرضا ابدالی مشهدی

شهریور ۱۳۹۸

شماره: ۱۷۹ ک
تاریخ: ۱۳۹۸/۷/۲۰
ویرایش:

باسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۱۲: صورت جلسه نهایی دفاع از رساله دکتری (Ph.D)

(ویژه دانشجویان ورودی های ۹۴ و ما قبل)

بدینوسیله گواهی می شود علی احسانی پور دانشجوی دکتری رشته بوم شناسی زراعی- اگرواکولوژی به شماره دانشجویی ۹۳۰۰۰۴۵ ورودی مهرماه سال ۱۳۹۳ در تاریخ ۱۳۹۸/۰۶/۲۵ از رساله **نظری**☐ / **عملی**■ خود با عنوان رساله: تأثیر بیوپرایمینگ بر عملکرد کمی و کیفی در کشت مخلوط نیشکر- لگوم با اخذ نمره ۱۹/۴۲۶ به درجه : عالی نائل گردید.

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹ ☑	ب) درجه بسیار خوب: نمره ۱۸/۹۹ – ۱۷ ☐
ج) درجه خوب: نمره۱۶/۹۹– ۱۵ ☐	د) غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐
ه) رساله نیاز به اصلاحات دارد ☐	

ردیف	هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱-	دکتر حمید عباسدخت	استاد راهنما	دانشیار	
۲-	دکتر منوچهر قلی پور	استاد راهنما	دانشیار	
۳-	دکتر علیرضا ابدالی مشهدی	استاد مشاور	دانشیار	
۴-	دکتر احمد غلامی	استاد مدعو داخلی	دانشیار	
۵-	دکتر حسن مکاریان	استاد مدعو داخلی	دانشیار	
۶-	دکتر بهنام کامکار	استاد مدعو خارجی	استاد	
۷-	دکتر حمیدرضا اصغری	سرپرست (نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده)	دانشیار	

مدیر محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

ضمن تأیید مراتب فوق مقرر فرمائید اقدامات لازم در خصوص انجام مراحل دانش آموختگی آقای علی احسانی پور بعمل آید.

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمدرضا عامریان

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

۹۸/۷/۲۰

تقدیم به بهترین‌های زندگیم

پدر و مادر عزیزم که وجودشان برایم همه مهر بود. موهایشان سپیدی گرفت تا رویمان سپید بماند، آنان که فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و روشنی رویشان سرمایه‌های جاودانی زندگیمان هستند. در برابر وجود گرامی‌شان زانوی ادب بر زمین می‌نهم و با دلی مملوء از عشق و محبت بر دستانشان بوسه می‌زنم.

تشکر و قدردانی

ستایش پروردگار بی‌همتا را که ذات بی‌کرانش آکنده از علم و دانش است و صفت ذاتش علام العلوم.
از پدر و مادر عزیزم به خاطر آفرینش زیباترین دنیاها در دنیای من تشکر می‌کنم. از جناب آقای دکتر حمید عباس دخت که دلسوزانه و برادرگونه از ابتدا تا انتها در اجرای این پژوهش مرا یاری نمودند تشکر می‌کنم که اگر راهنمایی‌های شبانه روزی ایشان نبود این پژوهش به سرانجام نمی‌رسید. از جناب آقای دکتر علیرضا ابدالی مشهدی که از دوران کارشناسی تا مقطع دکتری همانند برادری مهربان و دلسوز در تمام ساعات شبانه روز مرا یاری و مشاوره داد بی نهایت سپاسگزارم. از جناب آقای دکتر منوچهر قلی‌پور به خاطر راهنمایی ایشان سپاسگزارم. از آقایان دکتر احمد غلامی، دکتر بهنام کامکار و دکتر حسن مکاریان که زحمت بازخوانی و داوری این رساله را متقبل شدند تشکر می‌کنم. در پایان ضروری می‌دانم از دلگرمی‌ها و کمک‌های معنوی سر کار خانم دکتر شاهده امیدی تقدیر و تشکر نمایم.

علی احسانی پور

شهریور ۱۳۹۸

تعهدنامه

اینجانب علی احسانی پور دانشجوی دوره دکتری رشته بوم شناسی زراعی گرایش اگرواکولوژی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده رساله تأثیر بیوپرایمینگ بر عملکرد کمی و کیفی در کشت مخلوط نیشکر- بقولات تحت راهنمائی دکتر حمید عباس دخت متعهد می‌شوم،

- تحقیقات در این رساله 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 شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

به منظور بررسی اثر بیوپرایمینگ قلمه نیشکر و بذور بقولات به ترتیب با قارچ میکوریزا و باکتری رایزوبیوم روی عملکرد نیشکر، لوبیا چشم بلبلی و سویا، وزن خشک ریشه نیشکر، ارتفاع و قطر ساقه نیشکر، انواع شاخص برداشت نیشکر، لوبیا چشم بلبلی و سویا، نسبت برابری زمین، ارزیابی شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی نور، کنترل علف‌های هرز، کارایی مصرف نور، بهره‌وری آب، درصد بریکس، درصد پیوریتی در شربت نیشکر، و میزان کلروفیل در برگ، در کشت مخلوط نیشکر با لوبیا چشم بلبلی و سویا، آزمایشی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در دو مکان (شرکت‌های کشت و صنعت نیشکر دهخدا و امام خمینی) در استان خوزستان به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۴ تیمار و چهار تکرار به اجرا در آمد. تیمارها عبارت بودند از: کشت خالص نیشکر (*Saccharum officinarum* L.)، خالص سویا (*Glycine max* L.)، خالص لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)، سویا + تلقیح با باکتری رایزوبیوم، لوبیا چشم بلبلی + تلقیح با رایزوبیوم، نیشکر + تلقیح با قارچ میکوریزا، مخلوط نیشکر و لوبیا چشم بلبلی به‌صورت افزایشی، مخلوط نیشکر و سویا به‌صورت افزایشی، مخلوط نیشکر و لوبیا چشم بلبلی + تلقیح با رایزوبیوم، مخلوط نیشکر و سویا + تلقیح با رایزوبیوم، مخلوط نیشکر + تلقیح با میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی، مخلوط نیشکر + تلقیح با میکوریزا و سویا، مخلوط نیشکر + تلقیح با میکوریزا و سویا + تلقیح با رایزوبیوم، مخلوط نیشکر + تلقیح با میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی + تلقیح با رایزوبیوم. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان دادند تیمارهای گوناگون روی عملکرد و انواع شاخص برداشت نیشکر، نسبت برابری زمین (LER)، عملکرد لوبیا چشم بلبلی، تعداد غلاف در لوبیا چشم بلبلی و سویا، وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی، تعداد و وزن خشک گره‌های ریشه لوبیا چشم بلبلی تأثیر معنی‌داری داشتند. محل‌های مختلف نیز روی عملکرد و شاخص برداشت نیشکر، عملکرد لوبیا چشم بلبلی، تعداد غلاف در لوبیا چشم بلبلی، وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی، تعداد و وزن خشک گره‌های ریشه لوبیا چشم بلبلی، شاخص برداشت سویا تأثیر معنی‌داری داشتند. ضریب خاموشی نور در لوبیا چشم بلبلی و سویا در محل‌های مختلف تفاوت معنی‌داری داشت ولی در نیشکر تفاوت معنی‌داری نداشت. در کل کارایی مصرف نور در تیمارهای کشت مخلوط بهتر از کشت خالص بود و بیش‌ترین مقدار کارایی مصرف نور در نیشکر (۲/۲۱ گرم بر مگاژول) و بیش‌ترین عملکرد اقتصادی نیشکر (۱۱۱/۶ تن در هکتار) و بیش‌ترین عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی (۲/۲۷ تن در هکتار) در تیمار کشت مخلوط نیشکر تلقیح شده با میکوریزا + لوبیا چشم بلبلی تلقیح شده رایزوبیوم به‌دست آمد. در لوبیا چشم بلبلی بیش‌ترین شاخص سطح برگ (۴/۶۱۲) و بیش‌ترین ضریب خاموشی نور (۰/۵۹۵) در کشت خالص لوبیا چشم بلبلی تلقیح شده با رایزوبیوم مشاهده شد. بیش‌ترین شاخص سطح برگ در نیشکر (۶/۷۱۳) و بیش‌ترین ضریب خاموشی نور برای نیشکر (۰/۴۷۳) در تیمار کشت مخلوط نیشکر (تلقیح شده با میکوریزا) به‌همراه لوبیا چشم بلبلی

(تلقیح شده با رایزوبیوم) به دست آمد. بیش‌ترین مقدار بهره‌وری آب (۴/۴۶ کیلوگرم در متر مکعب)، ارتفاع ساقه (۲۱۵/۶ سانتی‌متر)، قطر میانگره در وسط ساقه (۴۱ میلی‌متر) و پایین ساقه (۴۳/۸۸ میلی‌متر)، وزن خشک ریشه (۲۶۹/۸ گرم) و درصد بریکس عصاره‌ی ساقه (۲۱/۸۸ درصد) در نیشکر و همچنین بیش‌ترین شاخص برداشت برای عملکرد نی (۹۳/۸۱ درصد) و عملکرد شکر (۷/۳۴ درصد)، درصد خلوص (۸۷/۲۸ درصد)، درصد شکر سفید (۱۱/۷۳) و بیش‌ترین درصد نیتروژن (۲/۱ درصد)، فسفر (۰/۲۶ درصد)، پتاسیم (۱/۹۱ درصد) در پهنک و رطوبت غلاف برگ نیشکر (۸۳/۸۲ درصد) در تیمار کشت مخلوط نیشکر تلقیح شده با میکوریزا به‌همراه لوبیا چشم بلبلی تلقیح شده با رایزوبیوم به‌دست آمد. بیش‌ترین نسبت برابری زمین (۲/۰۶۸) در کشت مخلوط نیشکر (تلقیح با میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی به‌دست آمد. در مجموع مقدار LER در کلیه تیمارها بیش‌تر از یک شد که نشان دهنده سودمندی کشت مخلوط می‌باشد. علف‌های هرز بدون استفاده از علفکش‌های شیمیایی در تیمارهای کشت مخلوط به‌خوبی کنترل شدند. بنابراین در این پژوهش بهترین نتایج در تیمار کشت مخلوط نیشکر (تلقیح با میکوریزا) و لوبیا (تلقیح با رایزوبیوم) به‌دست آمدند. میکوریزا با نیشکر هم‌زیستی مثبت داشت و زمانی که میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی هم‌زمان در یک تیمار حضور داشتند اثر هم افزایی آن‌ها روی صفات مورد ارزیابی مثبت بود. نتایج این آزمایش نشان داد که اثرات هم افزایی حضور هم‌زمان قارچ میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی در کنار نیشکر، بر روی صفت‌های مورد ارزیابی در این پژوهش مثبت بود. بنابراین بهره‌گیری از قارچ میکوریزا و باکتری رایزوبیوم و بهره‌گیری از بقولات در کشت مخلوط با نیشکر، باعث بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک، افزایش کارایی استفاده از زمین، آب و نور شد. کشت مخلوط از طریق کنترل غیر شیمیایی علف‌های هرز باعث کاهش خطر مصرف و تراکم آلاینده‌های شیمیایی در محیط زیست شد. لذا به‌منظور بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی نیشکر، کشت مخلوط آن با بقولات همانند لوبیا چشم بلبلی و همچنین تلقیح کردن قلمه نیشکر در زمان کشت، با قارچ میکوریزا توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: کشت مخلوط، میکوریزا، رایزوبیوم، کارایی مصرف نور و آب، نسبت برابری زمین

لیست مقالات مستخرج از رساله تا تاریخ دفاع

۱- ارزیابی کارایی مصرف تابش و کنترل علف‌های هرز در کشت مخلوط نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) و بقولات. – مجله علمی پژوهشی علوم زراعی ایران. تابستان ۱۳۹۸

۲- بررسی اثر کشت مخلوط نیشکر– لگوم بر ویژگی‌های کمی، کیفی و فیزیولوژیک نیشکر. – مجله علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. بهار ۱۳۹۸

۳- ارزیابی بهره وری آب، برخی صفات کمی و کیفی نیشکر درکشت مخلوط با لگوم. – مجله علمی پژوهشی به زراعی کشاورزی. پاییز ۱۳۹۸

۴- ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چشم بلبلی و سویا در کشت مخلوط با نیشکر در منطقه اهواز . - پانزدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. ۱۳ – ۱۵ شهریور ماه ۱۳۹۷

۵- ارزیابی شاخص سطح برگ و برخی صفات وابسته به نور در کشت مخلوط لوبیا چشم بلبلی و نیشکر. - پانزدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. ۱۳ – ۱۵ شهریور ماه ۱۳۹۷

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه و کلیات..... ۲

۱-۱-۱- رویکرد به عملیات پایدار..... ۲

۱-۱-۲- سطوح تبدیل..... ۲

۱-۱-۳- کمی کردن پایداری..... ۴

۱-۱-۴- تاریخچه کشت مخلوط..... ۵

۱-۱-۵- شناخت کشت مخلوط..... ۸

۱-۱-۵-۱- تقسیم بندی کشت مخلوط بر اساس روش کشت..... ۸

۱-۱-۵-۲- تقسیم بندی کشت مخلوط بر اساس زمان تداخل گیاهان..... ۹

۱-۱-۵-۳- تقسیم بندی بر اساس نوع محصول..... ۱۰

۱-۱-۵-۴- تقسیم بندی بر اساس ارزش عملکرد..... ۱۱

۱-۱-۶- اجرای کشت مخلوط..... ۱۲

۱-۲- اهداف تحقیق..... ۱۳

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱- مقدمه..... ۱۶

۲-۲- اکولوژی نیشکر..... ۱۷

۲-۲-۱- اهمیت اقتصادی گیاه نیشکر..... ۱۹

۲-۲-۲- مشخصات گیاه‌شناسی نیشکر..... ۱۹
۲-۲-۲-۱- ساقه نیشکر..... ۱۹
۲-۲-۲-۲- برگ نیشکر..... ۲۰
۲-۲-۲-۳- ریشه نیشکر..... ۲۰
۲-۳- اکولوژی لوبیا چشم بلبلی..... ۲۱
۲-۳-۱- خصوصیات مرفولوژیک لوبیا چشم بلبلی..... ۲۲
۲-۳-۲- خصوصیات اکولوژیکی لوبیا چشم بلبلی..... ۲۲
۲-۴- اکولوژی سویا..... ۲۴
۲-۴-۱- خصوصیات گیاهشناسی سویا..... ۲۵
۲-۴-۲- سازگاری سویا..... ۲۶
۲-۴-۳- تناوب زراعی سویا..... ۲۶
۲-۵- مزایای کشت مخلوط..... ۲۷
۲-۶- اهمیت زراعی کشت مخلوط..... ۳۰
۲-۷- اهمیت اقتصادی کشت مخلوط..... ۳۶
۲-۸- اهمیت سیستم کشت مخلوط در برابر علف‌های هرز..... ۳۷
۲-۹- اهمیت کشت مخلوط از نظر بهره‌وری مصرف آب..... ۴۱
۲-۱۰- اهمیت کشت مخلوط از نظر کارایی مصرف نور..... ۴۲
۲-۱۱- اهمیت کشت مخلوط از نظر حاصلخیزی خاک..... ۴۳
۲-۱۲- اهمیت قارچ میکوریزا و باکتری رایزوبیوم در کشت مخلوط..... ۴۴

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- مشخصات طرح آزمایشی..... ۵۰

۳-۲- تعیین عملکرد..... ۵۴

۳-۲-۱- عملکرد اقتصادی نیشکر و لگوم‌ها..... ۵۴

۳-۲-۲- ارتفاع و قطر ساقه نیشکر..... ۵۴

۳-۳- تعداد و وزن خشک گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در ریشه لوبیا چشم بلبلی..... ۵۵

۳-۴- شاخص برداشت برای عملکرد نی، عملکرد شکر و عملکرد باگاس در نیشکر و شاخص برداشت در لوبیا چشم بلبلی و سویا..... ۵۵

۳-۵- پروتئین در دانه لوبیا چشم بلبلی و سویا..... ۵۶

۳-۶- وزن خشک ریشه نیشکر..... ۵۶

۳-۷- تعیین درصد کلونیزاسیون قارچ میکوریزا در ریشه نیشکر..... ۵۶,

۳-۸- نسبت برابری زمین (LER)..... ۵۷

۳-۹- میزان کلروفیل در برگ نیشکر و لگوم‌ها..... ۵۷

۳-۱۰- تعیین درصد بریکس و درصد خلوص در شربت نیشکر..... ۵۸

۳-۱۱- محاسبه درصد فیبر موجود در ساقه نیشکر..... ۵۸

۳-۱۲- محاسبه عدد Yield یا مقدار شکر زرد حاصل از ۱۰۰ تن شکر..... ۵۹

۳-۱۳- محاسبه درصد شکر سفید یا تصفیه شده در شربت نیشکر (RS)..... ۵۹

۳-۱۴- درصد استخراج شربت از ساقه نیشکر..... ۵۹

۳-۱۵- اندازه‌گیری درصد رطوبت غلاف برگ نیشکر..... ۶۰

۳-۱۶- اندازه‌گیری درصد نیتروژن گیاهی..... ۶۰

۳-۱۷- تعیین فسفر موجود در میانگره ساقه نیشکر، فسفر ریشه نیشکر و فسفر موجود در خاک پای گیاه نیشکر..... ۶۰
۳-۱۸- تعیین تراکم و وزن ماده خشک علف‌های هرز..... ۶۱
۳-۱۹- محاسبه درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز..... ۶۱
۳-۲۰- تعیین شاخص سطح برگ (LAI)..... ۶۱
۳-۲۱- تعیین ضریب خاموشی نور (K)..... ۶۲
۳-۲۲- محاسبه کارایی مصرف نور..... ۶۲
۳-۲۳- تعیین بهره‌وری آب..... ۶۳
۳-۲۴- محتوای نسبی آب برگ..... ۶۳

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- نتایج و بحث در مورد تجزیه‌های آماری..... ۶۶
۴-۱-۱- عملکرد نیشکر، لوبیا چشم بلبلی و سویا..... ۶۶
۴-۱-۲- ارتفاع و قطر ساقه نیشکر..... ۷۰
۴-۱-۳- وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی و سویا..... ۷۳
۴-۱-۴- طول غلاف و تعداد غلاف در بوته لوبیا چشم بلبلی و سویا..... ۷۴
۴-۱-۵- تعداد دانه در غلاف لوبیا چشم بلبلی و سویا..... ۷۵
۴-۱-۶- تعداد و وزن خشک گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در ریشه لوبیا چشم بلبلی..... ۷۵
۴-۱-۷- شاخص برداشت برای عملکرد نی، عملکرد شکر و عملکرد باگاس در نیشکر و شاخص برداشت در لوبیا چشم بلبلی و سویا..... ۸۷
۴-۱-۸- پروتئین در دانه لوبیا چشم بلبلی و سویا..... ۹۴

۴-۱-۹- وزن خشک ریشه نیشکر..... ۹۵
۴-۱-۱۰- کلونیزاسیون قارچ میکوریزا در ریشه نیشکر..... ۹۷
۴-۱-۱۱- نسبت برابری زمین (LER)..... ۱۰۰
۴-۱-۱۲- میزان کلروفیل در برگ نیشکر و لگوم‌ها..... ۱۰۲
۴-۱-۱۳- درصد بریکس در شربت نیشکر..... ۱۰۸
۴-۱-۱۴- درجه خلوص، درصد فیبر ساقه، درصد شکر سفید یا تصفیه شده (RS) در شربت نیشکر..... ۱۰۹
۴-۱-۱۵- نیتروژن، فسفر، پتاسیم موجود در پهنک برگ و رطوبت غلاف برگ نیشکر..... ۱۱۵
۴-۱-۱۶- فسفر موجود در میانگره پنجم ساقه و فسفر خاک در محیط ریشه نیشکر..... ۱۱۸
۴-۱-۱۷- نیتروژن، فسفر، پتاسیم موجود در ریشه‌های جوان تر و پیرتر..... ۱۱۹
۴-۱-۱۸- تراکم و وزن ماده خشک علف‌های هرز..... ۱۲۲
۴-۱-۱۹- درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز..... ۱۲۴
۴-۱-۲۰- شاخص سطح برگ (LAI) و ضریب خاموشی نور (K)..... ۱۲۸
۴-۱-۲۱- بهره‌وری آب..... ۱۳۲
۴- ۱- ۲۲- محتوای نسبی آب برگ (RWC)..... ۱۳۶
۴-۱-۲۳- کارایی مصرف نور..... ۱۳۸
۴-۲- نتیجه گیری..... ۱۴۹
۴-۳- پیشنهادات..... ۱۵۲
۴-۴- منابع..... ۱۵۳
چکیده انگلیسی..... ۱۷۴

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱- پارامترهای اکولوژیکی قابل کمی شدن و مقدار تقریبی آن‌ها برای این‌که کارکرد اکوسیستم‌های کشاورزی خاص پایدار شوند..... ۵

جدول ۲-۱- میزان تثبیت زیستی نیتروژن توسط برخی بقولات (لگوم‌ها)..... ۳۲

جدول ۳-۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)..... ۵۲

ادامه جدول ۳-۱- برخی ویژگی‌های آب و هوایی مناطق مورد آزمایش در طول اجرای تحقیق..... ۵۳

ادامه جدول ۳-۱- سطح آب زیر زمینی (میانگین از اندازه گیری دو چاهک با فاصله زمانی ۳ روز در میان)..... ۵۳

جدول ۴-۱- تجزیه واریانس مرکب عملکرد و برخی اجزای عملکرد در لوبیا چشم بلبلی و سویا و وزن خشک گره در ریشه لوبیا چشم بلبلی، تحت تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف..... ۸۱

ادامه جدول ۴-۱- تجزیه واریانس مرکب عملکرد و برخی اجزای عملکرد نیشکر تحت تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف..... ۸۲

جدول ۴-۲- مقایسه میانگین عملکرد و برخی اجزای عملکرد نیشکر و لگوم ها تحت تأثیر تیمارهای مختلف..... ۸۳

جدول ۴-۳- مقایسه میانگین عملکرد لوبیا چشم بلبلی و تعداد گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در ریشه لوبیا چشم بلبلی تحت تأثیر تیمارهای مختلف..... ۸۴

جدول ۴-۴- مقایسه میانگین عملکرد و برخی صفات دیگر نیشکر، لوبیا چشم بلبلی، و وزن هزار دانه سویا تحت تأثیر مکان‌های مختلف..... ۸۵
جدول ۴-۵- مقایسه میانگین عملکرد و برخی اجزای عملکرد و وزن خشک ریشه نیشکر تحت اثرات متقابل تیمارها و مکان‌های مختلف..... ۸۶
ادامه جدول ۴-۵- مقایسه میانگین تعداد و وزن خشک گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در ریشه لوبیا چشم بلبلی تحت اثرات متقابل تیمارها و مکان‌های مختلف..... ۸۷
جدول ۴-۶- تجزیه واریانس مرکب انواع شاخص برداشت در نیشکر و لگوم‌ها تحت تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف..... ۹۱
جدول ۴-۷- مقایسه میانگین انواع شاخص برداشت، وزن خشک ریشه و شاخص کلروفیل در نیشکر تحت تأثیر تیمارهای مختلف..... ۹۲
جدول ۴-۸- مقایسه میانگین انواع شاخص برداشت در نیشکر و لوبیا چشم بلبلی تحت اثرات متقابل تیمارها و مکان‌های مختلف..... ۹۳
جدول ۴-۹- مقایسه میانگین انواع شاخص برداشت در نیشکر و سویا، وزن خشک ریشه و کلونیزاسیون ریشه تحت تأثیر مکان‌های مختلف..... ۹۴
جدول ۴-۱۰- تجزیه واریانس مرکب درصد پروتئین در دانه لوبیا چشم بلبلی و سویا، وزن خشک ریشه نیشکر و درصد کلونیزاسیون قارچ میکوریزا در ریشه نیشکر تحت تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف..... ۹۹
جدول ۴-۱۱- مقایسه میانگین پروتئین دانه لوبیا و سویا تحت تأثیر تیمارهای مختلف..... ۱۰۰
جدول ۴-۱۲- تجزیه واریانس مرکب میزان کلروفیل در برگ نیشکر تحت تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف..... ۱۰۵

جدول ۴-۱۳- تجزیه واریانس مرکب میزان کلروفیل در برگ لگوم‌ها تحت تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف..... ۱۰۵
جدول ۴-۱۴- مقادیر نسبت برابری زمین (LER) در تیمارهای مختلف..... ۱۰۶
جدول ۴-۱۵- مقایسه میانگین میزان کلروفیل در برگ‌های لگوم‌ها تحت تأثیر تیمارهای مختلف..... ۱۰۶
جدول ۴-۱۶- مقایسه میانگین میزان کلروفیل در برگ های نیشکر تحت اثرات متقابل تیمارها و مکان‌های مختلف..... ۱۰۷
جدول ۴-۱۷- تجزیه واریانس مرکب صفات کیفی در نیشکر تحت اثر مکان‌ها و تیمارهای مختلف..... ۱۱۱
ادامه جدول ۴-۱۷- تجزیه واریانس مرکب صفات کیفی در نیشکر تحت اثر مکان ها و تیمارهای مختلف..... ۱۱۲
جدول ۴-۱۸- مقایسه میانگین صفات کیفی در نیشکر تحت تأثیر تیمارهای مختلف..... ۱۱۳
جدول ۴-۱۹- مقایسه میانگین بهره وری آب و صفات کیفی در نیشکر تحت اثر متقابل تیمارها و مکان‌های مختلف..... ۱۱۴
جدول ۴-۲۰- مقایسه میانگین صفات کیفی در نیشکر تحت تأثیر مکان‌های مختلف..... ۱۱۵
جدول ۴-۲۱- تجزیه واریانس مرکب صفات کیفی در ریشه نیشکر تحت اثر مکان‌ها و تیمارهای مختلف..... ۱۲۱
جدول ۴-۲۲- مقایسه میانگین نیتروژن، فسفر و پتاسیم در ریشه نیشکر تحت اثر تیمارهای مختلف..... ۱۲۲

جدول ۴-۲۳- تجزیه واریانس مرکب تراکم و وزن ماده خشک علف‌های هرز تحت تـأثیر مکـان‌هـا و تیمارهای مختلف.....۱۲۴
جدول ۴-۲۴- تجزیه واریانس مرکب شاخص سطح برگ (LAI)، ضـریب خاموشـی (K) و بهـره وری آب تحت تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف.....۱۳۱
جدول ۴-۲۵- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ (LAI)، ضریب خاموشی (K) در لوبیا چشم بلبلی تحت تأثیر تیمارهای مختلف.....۱۳۲
جدول ۴-۲۶- مقایسه میانگین تراکم و وزن ماده خشک علف‌های هرز، شاخص سطح بـرگ، ضـریب خاموشی نور و بهره‌وری آب در نیشکر تحت تأثیر تیمارهای مختلف.....۱۳۳
جدول ۴-۲۷- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی نور در لگوم‌ها و بهره‌وری آب در نیشکر تحت تأثیر مکان‌های مختلف.....۱۳۵
جدول ۴-۲۸- تجزیه واریانس مرکب محتوای نسبی آب برگ در نیشکر و لوبیا چشم بلبلـی و سـویا تحت تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف.....۱۳۷
جـدول ۴-۲۹- مقایسـه میـانگین محتـوای نسـبی آب بـرگ در نیشـکر تحـت اثـر تیمارهـای مختلف.....۱۳۷

فهرست اشکال و نمودارها

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۱- مقایسه میانگین درصد کاهش وزن خشک علف های هرز در تیمارهای مختلف کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در مکان‌های مختلف.....۱۲۶

شکل ۴-۲- مقایسه میانگین وزن خشک علف‌های هرز در تیمارهای مختلف در دو مرحله، بعد از برداشت گیاهان لگوم و قبل از هلینگ آپ (مکان اول).....۱۲۷

شکل ۴-۳- مقایسه میانگین وزن خشک علف های هرز در تیمارهای مختلف در دو مرحله بعد از برداشت گیاهان لگوم و قبل از هلینگ آپ (مکان دوم).....۱۲۷

شکل۴-۴- رابطه رگرسیونی بین تجمع ماده خشک و میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی برای گیاه نیشکر در تیمارهای مختلف کشت مخلوط و کشت خالص در مکان اول مختلف (شیب این رابطه بیانگر کارایی مصرف نور توسط گیاه نیشکر می‌باشد).....۱۴۲

شکل ۴-۵- رابطه رگرسیونی بین تجمع ماده خشک و میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی برای گیاه لوبیا چشم بلبلی در تیمارهای مختلف کشت مخلوط و کشت خالص در مکان اول مختلف (شیب این رابطه بیانگر کارایی مصرف نور توسط گیاه لوبیا چشم بلبلی می‌باشد).....۱۴۳

شکل ۴-۶- رابطه رگرسیونی بین تجمع ماده خشک و میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی برای گیاه سویا در تیمارهای مختلف کشت مخلوط و کشت خالص در مکان اول مختلف (شیب این رابطه بیانگر کارایی مصرف نور توسط گیاه لوبیا چشم بلبلی می‌باشد).....۱۴۴

شکل ۴-۷- رابطه رگرسیونی بین تجمع ماده خشک و میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی برای گیاه نیشکر در تیمارهای مختلف کشت مخلوط و کشت خالص در مکان دوم مختلف (شیب این رابطه بیانگر کارایی مصرف نور توسط گیاه نیشکر می‌باشد).....۱۴۶
شکل ۴-۸- رابطه رگرسیونی بین تجمع ماده خشک و میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی برای گیاه لوبیا چشم بلبلی در تیمارهای مختلف کشت مخلوط و کشت خالص در مکان دوم مختلف (شیب این رابطه بیانگر کارایی مصرف نور توسط گیاه نیشکر می‌باشد).....۱۴۷
شکل ۴-۹- رابطه رگرسیونی بین تجمع ماده خشک و میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی برای گیاه سویا در تیمارهای مختلف کشت مخلوط و کشت خالص در مکان دوم مختلف (شیب این رابطه بیانگر کارایی مصرف نور توسط گیاه نیشکر می‌باشد).....۱۴۸

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه و کلیات

۱-۱-۱- رویکرد به عملیات پایدار

کشاورزان به‌عنوان افراد ماهر و با تجربه و نوآور معروف هستند و هنگامی که مطمئن باشند نوآوری‌ها منافعی را برای آنان به‌همراه خواهد داشت نسبت به به کارگرفتن آن مشتاق هستند. در طول ۴۰ تا ۵۰ سال گذشته، پیشرفت‌های کشاورزی عمدتاً از طریق تأکید بر عملکرد بالا و سود حاصله بوده است که در نتیجه سود قابل توجهی را برای کشاورزان به‌همراه داشته ولی اثرات منفی محیطی را نیز به دنبال داشته است. با وجود ادامه‌ی فشارهای شدید اقتصادی بر کشاورزی، بسیاری از کشاورزان عملیاتی را انتخاب می‌کنند که سازگاری بیش‌تری با مفاهیم زیست محیطی دارند و این گروه می‌توانند در دراز مدت نقش مهمی را در پایداری کشاورزی ایفا نمایند (نصیری محلاتی و همکاران، ۱۳۹۲).

۱-۱-۲- سطوح تبدیل

برای بسیاری از کشاورزان رو آوردن سریع به عملیات و الگوهای اکوسیستم‌های کشاورزی پایدار نه عملی است و نه امکان پذیر است. در نتیجه برای رسیدن به هدف نهایی پایداری یا متمرکز شدن در راه توسعه‌ی سیستم‌های تولید غذا که به نحوی با محیط سازگار هستند این تغییرات با گام‌های آهسته‌تری پیش می‌روند. از تغییرات مشاهده شده سه سطح مشخص را می‌توان ملاحظه کرد. این سطوح ما را یاری می‌کند تا قدم‌هایی را که کشاورزان برای ایجاد تغییر از اکوسیستم‌های کشاورزی رایج به پایدار بر می‌دارند توصیف کنیم. این سطوح می‌توانند به عنوان نقشه‌ای برای چارچوب قدم به قدم فرآیندهای انتقال ما را یاری نمایند (نصیری محلاتی و همکاران، ۱۳۹۲).

سطح ۱- افزایش کارایی عملیات رایج به منظور کاهش استفاده و مصرف نهاده‌های پر هزینه، کمیاب یا نهاده‌هایی که خسارت زیست محیطی دارند

هدف از این روش استفاده از نهاده‌ها با کارایی بالا است. بنابراین علاوه بر کاهش اثرات منفی نهاده‌ها مقدار کم‌تری از آن‌ها نیز مورد نیاز خواهد بود. در بسیاری از تحقیقات کشاورزی رایج از بین تعداد بی‌شمار عملیات و فن آوری‌های کشاورزی موجود، به این روش تأکید بیش‌تری می‌شود. مثال‌هایی از جمله تراکم و فواصل مطلوب محصولات زراعی، ماشین آلات مناسب، پیش آگاهی آفات برای استفاده‌ی مطلوب از آفت‌کش‌ها، زمان مناسب عملیات زراعی برای مصرف صحیح کودهای شیمیایی و آب را می‌توان نام برد. اگر چه این گونه تلاش‌ها از اثرات منفی کشاورزی رایج می‌کاهد ولی قادر به قطع وابستگی به نهاده‌های خارجی نیست (نصیری محلاتی و همکاران، ۱۳۹۲).

سطح ۲- جانشینی نهاده‌ها و عملیات رایج با عملیات قابل جایگزین

هدف در این سطح از تغییرات، جایگزین کردن عملیاتی که منابع بیش‌تری را می‌طلبد و آثار سوء بر محیط دارند با عملیاتی است که سازگاری‌های محیطی بیش‌تری دارند. تحقیقات کشاورزی ارگانیک و کشاورزی بیولوژیکی بر چنین رهیافتی تأکید دارند. از جمله مثال‌های عملیات جایگزینی می‌توان استفاده از تناوب‌ها، کشت مخلوط، محصولات زراعی پوششی تثبیت کننده نیتروژن (لگوم‌ها) برای جایگزینی کودهای شیمیایی، استفاده از عوامل کنترل بیولوژیکی به‌جای آفت‌کش‌ها و شخم حداقل به‌جای شخم رایج را نام برد. در این سطح ساختار اصلی اکوسیستم‌های کشاورزی تغییر چندانی نمی‌کنند بنابراین بسیاری از مشکلات مشابه‌ای که در سیستم‌های رایج رخ می‌دهد، در سیستم‌هایی که از نهاده‌های جایگزین استفاده می‌شود نیز روی می‌دهد (نصیری محلاتی و همکاران، ۱۳۹۲).

سطح ۳- طراحی مجدد اکوسیستم‌های کشاورزی به نحوی که کارکرد آن بر مجموعه‌ای از فرآیندهای اکولوژیکی استوار باشد

در این سطح، برای حذف علل اصلی بروز بسیاری از مشکلاتی که هنوز در سطح ۱ و ۲ وجود دارد، کل سیستم طراحی می‌شود. بنابراین به‌جای یافتن راهی برای حل مشکلات، از بروز مشکلات جلوگیری می‌شود. شناخت عوامل محدود کننده‌ی عملکرد در مفاهیم کارکردی و ساختاری اکوسیستم‌های کشاورزی از طریق مطالعه‌ی تغییرات کل سیستم حاصل می‌شود. مشکلات شناخته می‌شوند و به‌دنبال آن به‌جای استفاده از نهاده‌های خارجی به‌وسیله‌ی روش‌های مدیریتی و طراحی‌های خاص داخلی از بروز مشکلات جلوگیری می‌شود. ایجاد تنوع در ساختار و مدیریت مزرعه از طریق استفاده از تناوب، کشت مخلوط و جنگل زراعی از مثال‌هایی است که می‌توان نام برد (نصیری محلاتی و همکاران، ۱۳۹۲).

۱-۱-۳- کمی کردن پایداری

در تحقیقات کشاورزی اکولوژیک به منظور ایجاد کشاورزی پایدار لازم است چارچوب مشخصی برای اندازه‌گیری و کمی سازی پایداری ایجاد شود. کشاورزان باید این توانایی را داشته باشند که در ارزیابی یک سیستم خاص، بتوانند فاصله‌ای را که با پایداری دارند مشخص کنند و این که کدامیک از جنبه‌های سیستم از پایداری کم‌تری برخوردار است و تا چه حدی پایداری سیستم مورد نظر در حال تحلیل رفتن است و چگونه می‌توان آن را به سمت کارکرد پایدار تغییر داد. وقتی که یک سیستم با هدف پایداری طراحی می‌شود کشاورزان باید این توانایی را داشته باشند تا از طریق کنترل آن تعیین کنند که آیا سیستم به کارکرد پایدار رسیده است یا خیر (نصیری محلاتی و همکاران، ۱۳۹۲).

تجزیه و تحلیل اکوسیستم کشاورزی جهت کمی‌سازی بدین معنی است که مشخص شود یک پارامتر اکولوژیکی یا مجموعه‌ی پارامترها در چه سطحی برای کارکرد پایدار باید عمل کند. محققین کمی در این زمینه کار کرده‌اند که بعضی از نتایج آن‌ها در جدول ۱-۱ نشان داده شده است. با وجود

این‌که نتایج به‌صورت مجزا آورده شده است ولی نکته مهم این است که یک چنین نتایجی باید در مفهوم کلی سیستم و مجموعه‌ی پیچیده‌ی اثرات متقابل عواملی که هر یک تنها بخشی از سیستم را تشکیل می‌دهند، مورد استفاده و تجزیه و تحلیل قرار گیرند (نصیری محلاتی و همکاران، ۱۳۹۲).

جدول ۱-۱- پارامترهای اکولوژیکی قابل کمی شدن و مقدار تقریبی آن‌ها برای این‌که کارکرد اکوسیستم‌های کشاورزی خاص پایدار شوند (گلیسمن، ۱۳۹۲)

	حداقل سطح پایداری	اکوسیستم کشاورزی
نسبت نهاده/بازده برای هر عنصر غذایی پر مصرف	توازن مثبت در طول زمان	کشت مخلوط گیاهان زراعی در کالیفرنیا
شاخص استفاده از سموم[a]	در سطح کم‌تر از ۱۵	کشت مخلوط گیاهان زراعی در کالیفرنیا
فعالیت آنزیمی خاک	۱۵۰ میلی‌گرم پنیتروفنل	گیاهان علوفه‌ای علف‌های چمنی، بذر سبزیجات
بالاترین محصول سر پا	بیش‌تر از ۳۰۰ گرم در متر مربع	گیاهان علوفه‌ای چند ساله
تنوع گونه‌های گیاهی	---------	گیاهان علوفه‌ای چند ساله

a : این شاخص بر اساس عوامل متعددی از جمله میزان استفاده، سمیت و مساحتی که پاشیده شده است می‌باشد. ارقام بالای ۵۰ نشان دهنده‌ی استفاده بیش از حد سموم می‌باشد.

۱-۱-۴- تاریخچه کشت مخلوط

با وجود این‌که از قدمت کشاورزی حدود ۴۰۰۰ سال می‌گذرد ولی با مقیاس تکاملی، زیست بوم‌های کشاورزی جوان بوده و نسبت به سیستم‌های طبیعی دارای ثبات کم‌تری هستند. در میان زیست بوم‌های کشاورزی، سیستم‌های تک کشتی زیستگاه‌های دشمنان طبیعی و در نتیجه گونه‌های بومی عوامل کنترل کننده را کاهش می‌دهند. به‌طور کلی در کشاورزی چند محصولی، اغلب تراکم آفات و علف‌های هرز کم‌تر و راندمان استفاده از زمین بیش‌تر از کشاورزی‌های تک محصولی است (هوسلا و واسارینین، ۲۰۰۰). با نگرشی عمیق به تحولات پنجاه ساله‌ی اخیر چنین به‌نظر می‌رسد که به مسئله اکولوژی یعنی رابطه موجود زنده با محیط زنده و غیر زنده توجه نشده است. بشر با دخل و تصرف‌های بی‌رویه و بیش از حد در محیط طبیعی، آن را از حالت اعتدال خارج کرده و به‌صورت

مخاطره آمیزی در آورده است. یکی از راهکارهای پیش روی بشر برای کند کردن سرعت تخریب اکوسیستم‌ها استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط می‌باشد (مظاهری، ۱۳۷۳).

گرایش جدید جامعه جهانی به سمت کشاورزی پایدار در راستای کم کردن استفاده از نهاده‌های مختلف، خصوصاً نهاده‌های شیمیایی می‌باشد و همچنین فراهم آوردن سیستمی که بیش‌تر بر نیروی انسانی متکی بوده تا بتواند در این راستا به سامانه‌ای دست یابد که در آن فقر روستایی نیز مد نظر قرار گرفته و در نهایت با رسیدن به کشاورزی دارای ثبات درعملکرد و کم‌ترین آثار سوء زیست محیطی، قادر به بهبود وضع معیشتی جوامع روستایی باشد (هیبرد و همکاران، ۲۰۰۸). یکی از این سیستم‌ها، کشت مخلوط می‌باشد، سیستمی که در گذشته‌های دور ابداع شده و به دلیل مسائل و مشکلات کشاورزی رایج، امروزه دوباره مطرح شده است. کشت مخلوط، از جمله قدیمی‌ترین نظام های زراعی جهان محسوب می‌شود که از نظر تاریخی در مناطق گرم و مرطوب پیدایش و تکامل یافته است (هایوگارد-نیلسن و همکاران، ۲۰۰۶). با بررسی عملکرد ۵۰ سال گذشته کشاورزی در می‌یابیم که طی این زمان به دلیل تلاش برای افزایش غذا در سطح جهانی از طریق حصول حداکثر عملکرد درگیاهان زراعی، متأسفانه عوارض زیست محیطی آن مدنظر قرار نگرفته و یک روند تخریبی توسط پژوهشگران در رابطه با محیط زیست در پیش گرفته شده است. این روند از طریق استفاده بیش از حد از سموم، کودهای شیمیایی و مصرف بیش از اندازه سایر نهاده‌ها که برای دستیابی به عملکرد بالا صورت گرفته اما موضوعی که در این‌جا مطرح می‌گردد این است که این روند با توجه به افزایش روز افزون جمعیت تا چه زمانی پاسخ‌گوی نیازهای بشر است و آیا طبیعت اجازه این بهره‌برداری بیش از حد را به ما می‌دهد؟ برای جلوگیری از این اثرات سوء زیست محیطی و همچنین استفاده بهینه از منابع طبیعی در جهت افزایش محصول و عملکرد، شاید بهره‌گیری از برخی روش‌های سنتی که کشاورزی گذشته بر پایه آن‌ها استوار بوده خالی از فایده نباشد. یکی از این روش‌ها که در ایران نیز قدمت تاریخی دارد و کشاورزان قدیمی ما از آن بهره می‌برده‌اند استفاده از سیستم چند کشتی می‌باشد که این سیستم بر پایه حداکثر استفاده از عوامل محیطی و استفاده از

روابط گیاهان در مبارزه با آفات و بیماری‌ها بوده است. در چین حدود یک سوم مناطق زراعی به‌صورت روش‌های مختلفی از کشت مخلوط اجرا می‌شود و در حدود نیمی از کل عملکرد گیاهان دانه‌ای از طریق کشت مخلوط به‌دست می‌آید. کشت مخلوط دارای کارآیی بالا در استفاده از عوامل محیطی و حفاظت بیش‌تر محصولات در مقابل ناملایمات طبیعی می‌باشد (ژانگ و لی، ۲۰۰۳). در ایران نیز به دلیل وجود اقلیم خشک و کمبود زمین‌های مستعد و حاصلخیز کشاورزی باید سعی گردد که از این منابع محدود در جهت بهینه استفاده گردد. به نظر می‌رسد که استفاده از سیستم کشت مخلوط، روشی مناسب در بهره‌برداری بهتر از زمین‌های زراعی وگامی در جهت کاهش مصرف آب باشد (خرمی وفا و همکاران، ۱۳۹۰).

کشت مخلوط عبارت از کشت هم‌زمان دو یا چند گونه گیاهی در زمان و مکان مشخص است. در این سیستم افزایش محصول در بعد زمان و مکان صورت می‌گیرد و گیاهان در تمام و یا بخشی از مراحل رشد با یکدیگر در رقابت هستند. کشت مخلوط، نظامی با ویژگی‌هایی همچون تنوع زیاد گونه‌ای، چرخه تقریباً بسته عناصرغذایی، شیوع کم‌تر آفات، کنترل بهتر فرسایش خاک، عملکرد کم ولی با ثبات و استفاده کارآمدتر و بهتر از منابع می‌باشد (مظاهری، ۱۳۷۳). شرط موفقیت کشت مخلوط این است که گونه‌های موجود در مخلوط به شکل متفاوتی از منابع استفاده و به عبارت دیگر آشیان‌های بوم شناختی متفاوتی را اشغال کنند. این حالت موجب می‌شود گونه‌ها به شکل مکمل عمل کنند. بنابراین در طراحی کشت مخلوط در نظام‌های پایدار باید به این نکته توجه داشت گیاهانی که بیش‌ترین تفاوت را در استفاده از منابع دارند، سازگارترین گیاهان در کشت مخلوط هستند (رستمی و همکاران، ۱۳۸۸).

۱-۱-۵- شناخت کشت مخلوط

۱-۱-۵-۱- تقسیم بندی کشت مخلوط بر اساس روش کشت (کارول و همکاران، ۱۹۹۰):

۱-کشت مخلوط ردیفی[1]: عبارت است از نوعی کشت مخلوط که هر یک از گیاهان زراعی به‌طور هم‌زمان در ردیف‌های مجزا و در مجاورت هم کشت می‌شوند. برای مثال مخلوط ردیفی ذرت - سویا که شامل ردیف‌هایی یک در میان از گیاهان ذرت و سویا است. در این حالت تداخل بین دو گیاه زراعی عمدتاً در بین ردیف‌های کشت است.

۲-کشت مخلوط درهم[2]: نوعی از مخلوط است که دو گیاه زراعی به‌طور هم‌زمان و بدون هیچ گونه نظم و آرایش مکانی خاصی در سطح زمین توزیع می‌یابند. در این روش، برای جلوگیری از تجمع بیش از حد یک گونه‌ی گیاهی در یک ناحیه، از ابتدا بذرهای گیاهان زراعی باهم مخلوط شده و سپس به‌صورت مکانیزه یا دستی در سطح مزرعه پخش می‌شوند. این روش کشت بیش‌تر برای گیاهان علوفه‌ای بکار برده می‌شود.

۳-کشت مخلوط نواری[3]: عبارت از کشت هم‌زمان و ردیفی دو یا چند گیاه زراعی با تعداد ردیف‌های یکسان یا متفاوت برای هر گیاه. در این حالت، تعداد ردیف‌ها از یک سو باید آنقدر زیاد باشد که امکان کشت مستقل هر بوته را فراهم کند و از سوی دیگر باید آن‌قدر کم باشد که گیاهان با یکدیگر برهمکنش داشته باشند. در حال حاضر در بیش‌تر نظام‌های کشت مخلوط نواری، تعداد ردیف‌های هر یک از گیاهان معمولاً بر اساس عرض دستگاه‌های کاشت یا برداشت (کمباین) تعیین می‌گردد. برای مثال در کشت مخلوط نواری گندم - یونجه، تعداد خطوط بوته‌های گندم به اندازه‌ی عرض دستگاه کمباین و تعداد خطوط یونجه، معادل عرض دستگاه موور خواهد بود.

1. Row intercropping
2. Mix intercropping
3. Strip intercropping

۴-کشت مخلوط تأخیری[1]: کشت دو یا چند گیاه زراعی که در قسمتی از دوره‌ی رشد و نمو، با یکدیگر تداخل خواهند داشت. در این روش کشت، معمولاً گیاه دوم پس از رسیدن گیاه اول به مرحله‌ی رشد زایشی (قبل از زمان برداشت گیاه اول)، کشت می‌شود.

۵-کشت مخلوط راهرویی[2]: در این الگوی کشت مخلوط، گیاهان زراعی یک ساله در میان گیاهان درختچه‌ای چند ساله کشت می‌شوند. در این روش، گیاهان درختچه‌ای به‌طور ردیفی و گیاهان زراعی به‌طور منظم یا غیر منظم در فواصل بین درختچه‌ها کشت می‌شوند.

۶-کشت مخلوط درخت - زراعی[3](جنگل - زراعی): این نظام کشت مخلوط شامل کشت هم‌زمان گیاهان زراعی یک ساله در میان درختان چند ساله می‌باشد. در این نظام، درختان چند ساله از نوع مثمر و شامل درختان میوه می‌باشند. چنانچه درختان در این الگوی کشت شامل درختان غیر مثمر باشد (مانند درختان جهت تولید الوار) کشت مخلوط الوار-گیاهان زراعی نامیده می‌شود.

۱-۱-۵-۲- تقسیم بندی کشت مخلوط بر اساس زمان تداخل گیاهان (وینهوا، ۲۰۰۱):

۱-کشت مخلوط هم‌زمان[4]: هر دو گیاه از ابتدا تا انتهای مراحل رشد و نمو با یکدیگر تداخل زمانی دارند. برای مثال کشت مخلوط ذرت و سویا که از زمان کاشت تا برداشت هر دو گیاه در مجاورت هم، به‌صورت مخلوط قرار دارند.

۲-کشت مخلوط همراه[5]: در این نوع از تداخل زمانی، گیاه دوم از ابتدا با گیاه اول کشت می‌شود، ولی زمان برداشت آن (گیاه دوم) زودتر از گیاه اول است. به عبارت دیگر مدت زمان تداخل گیاه دوم از ابتدا تا اواسط دوره‌ی رشد گیاه اول در مخلوط است. در این روش، گیاه اول دیررس‌تر از گیاه دوم خواهد بود، مانند کشت مخلوط ذرت - ماش.

1. Relay intercropping
2. Alley intercropping
3. Agroforestry
4. Coincident type
5. Concomitant type

۳-کشت مخلوط همپوشان[1]: در این الگوی تداخل زمانی، گیاه دوم نه در ابتدا و نه در انتها، با گیاه اول تطابق زمانی نخواهد داشت. به عبارت دیگر، گیاه دوم دیرتر از گیاه اول کشت شده و دیرتر از آن نیز برداشت می‌شود. این نظام در حقیقت نوعی کشت مخلوط تأخیری می‌باشد.

۴-کشت مخلوط وقفه‌ای[2]: نوعی الگوی کشت مخلوط است که در آن هم‌زمان با گیاه اول که یک گیاه زراعی دیررس است، دو گیاه زراعی زودرس به‌طور متوالی و بدون تداخل با یکدیگر و البته با یک فاصله‌ی زمانی یا وقفه زمانی پس از یکدیگر کشت می‌شوند. به عبارت دیگر هر یک از گیاهان دوم و سوم با گیاه اول، تداخل زمانی داشته ولی با یکدیگر تداخل زمانی ندارند. در این روش معمولاً گیاه اول، گیاه چند ساله درختی یا علفی (یونجه) بوده و گیاه دوم و سوم، گیاه زودرس یک ساله و فصلی می‌باشند.

۵-کشت مخلوط الحاقی[3]: چنان‌چه در الگوی کشت مخلوط، گیاه دوم و سوم علاوه بر اینکه با گیاه اول تداخل زمانی دارند، با یکدیگر نیز تداخل داشته باشند، به آن کشت مخلوط الحاقی یا تداخلی چند جانبه گفته می‌شود. در این الگوی کشت مخلوط، گیاهان دوم و سوم با یکدیگر حالت کشت مخلوط تأخیری خواهند داشت، ولی در هر حال مجموع مدت زمان حضور هر دو گیاه دوم و سوم از طول دوره‌ی رشد گیاه اول بیش‌تر نخواهد بود.

۱-۱-۵-۳- تقسیم بندی بر اساس نوع محصول (چندرا، ۱۹۹۰):

۱-علوفه‌ای – علوفه‌ای: در این الگوی مخلوط، هر دو گیاه زراعی از گروه گیاهان علوفه‌ای می‌باشند، مانند کشت مخلوط جو علوفه‌ای - شبدر. روش کشت در این شرایط معمولاً از نوع کشت مخلوط در هم خواهد بود.

۲-دانه‌ای – علوفه‌ای: شرایطی است که در آن محصول یک گیاه، دانه و محصول گیاه دیگر، علوفه می‌باشد. در این نظام، گیاه دانه‌ای به صورت ردیفی و گیاه علوفه‌ای یا به‌صورت درهم در فواصل بین

1. Overlapped type
2. Intermittent type
3. Interpolated type

گیاه دانه‌ای و یا به صورت ردیف‌های موازی با گیاه دانه‌ای، کشت می‌شود. همانند کشت ذرت دانه‌ای - سورگوم علوفه‌ای.

۳-دانه‌ای – دانه‌ای: نوعی از کشت مخلوط است که در آن هر دو گیاه زراعی دارای محصول دانه‌ای می‌باشند. مانند کشت مخلوط ذرت - سویا. در این الگوی کشت هر دو گیاه یا به‌صورت کشت مخلوط ردیفی یا به‌صورت مخلوط نواری، کشت خواهند شد.

۱-۱-۵-۴- تقسیم بندی بر اساس ارزش عملکرد (جوانشیر و همکاران، ۱۳۷۹):

۱-عملکرد هر دو گیاه ارزش اقتصادی یکسانی داشته و هر یک از گیاهان زراعی در مخلوط بایستی سطح مشخصی از عملکرد را تولید کنند. در این شرایط، کشت مخلوط زمانی سودمند خواهند بود که مجموع محصول هر دو گیاه از شرایط تک کشتی هر یک از گیاهان بیش‌تر باشد.

۲-عملکرد یکی از گیاهان، ارزش اقتصادی بیش‌تری از دیگری دارد. در این شرایط گیاه با ارزش‌تر، گیاه اصلی و گیاه کم ارزش‌تر، گیاه فرعی نامیده می‌شود. باید عملکرد گیاه اصلی از شرایط تک‌کشتی آن کم‌تر نباشد. حال عملکرد (محصول اقتصادی) تولیدی گیاه فرعی، سود مازاد نظام مخلوط محسوب خواهد شد. برای مثال کشت ذرت با تراکم و شرایط زراعی مشابه با نظام تک کشتی به عنوان گیاه اصلی، و کشت گیاه ماش به عنوان گیاه فرعی در فواصل بین ردیف‌های ذرت. در این حالت، تراکم گیاه ماش (گیاه فرعی) تا اندازه‌ای می‌تواند افزایش یابد که عملکرد ذرت در مخلوط از شرایط تک کشتی آن کم‌تر نگردد.

۳-حالتی است که در مخلوط، نیاز به کشت دو یا چند نوع گیاه می‌باشد. در این شرایط، مجموع عملکرد کلیه‌ی گیاهان در مخلوط اهمیت داشته و باید عملکرد تک کشتی هر یک از گیاهان، بیش‌تر باشد. این نظام بیش‌تر برای مخلوط گیاهان علوفه‌ای مطرح است. البته در این نظام بر خلاف حالت اول، هر یک از گیاهان زراعی نیازمند تولید سطح خاصی از محصول اقتصادی نبوده، بلکه مجموع کل تولید ملاک می‌باشد. بر خلاف حالت دوم، در این نظام هیچکدام از گیاهان، گیاه اصلی و فرعی محسوب نمی‌گردند.

کشت مخلوط درشکل‌های گوناگون خود در استفاده از منابع قابل دسترس، کارآمدتر از کشت خالص می‌باشد. بین دو روش اصلی که کشت مخلوط می‌تواند از طریق آن‌ها استفاده کارآمدتر از منابع را بهبود بخشد، تمایز وجود دارد: الف) جذب آب و دریافت مقدار بیش‌تری از منابع. ب) راندمان بالاتر تبدیل منابع یعنی استفاده کارآمدتر از هر واحد منابع در کشت مخلوط با انتخاب ارقام، زمان‌های کاشت و آرایش‌های فضایی مناسب (کوچکی، ۱۳۷۷).

۱-۱-۶- اجرای کشت مخلوط

الگوی کشت مخلوط به طور کلی به دو روش اجرا می‌شود: ۱- روش افزایشی ۲- روش جایگزینی (آینه بند، ۱۳۸۶).

روش افزایشی: در این روش همواره تراکم یک گیاه (که معمولا گیاه اصلی می‌باشد) ثابت نگاه داشته شده (این تراکم در حقیقت تراکم بهینه برای گیاه اول است) و تراکم گیاه دوم یا گیاه فرعی، به مقادیر مختلف به تراکم گیاه اول اضافه می‌گردد.

روش جایگزینی: در روش افزایشی عامل تراکم، رقابت بین گیاهان زراعی در مخلوط را تحت الشعاع قرار می‌دهد، لذا روش جایگزینی با حذف یا به حداقل رساندن تأثیر تراکم، راهکاری است که در آن تعداد یا تراکم کل گیاهان در واحد سطح برای هر دو گیاه یکسان و ثابت باقی می‌ماند. در این روش مجموع کل تراکم‌های هر دو گیاه ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شده و هر یک از گیاهان با نسبت‌هایی از صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ به طور متقابل در الگوی کشت قرار می‌گیرند. بدیهی است مقدار ۱۰۰ درصد به معنی کشت خالص یک گونه و صفر، به معنی عدم کشت آن گونه خواهد بود. در حالی که نسبت ۲۵ درصد برای یک گیاه به معنی حضور گیاه دوم با نسبت ۷۵ درصد است. بنابراین در روش جایگزینی با حذف یک گونه، گونه‌ی دیگر جایگزین آن شده و تراکم کل کشت مخلوط ثابت نگه داشته می‌شود.

آرایش یا الگوی کاشت و تراکم در زراعت مخلوط بسیار مهم است بـا تغییـر در الگـوی کاشـت و تراکم می توان به عملکرد مورد نظر رسید. تراکم مطلوب گیاهی به منابع محیطی و حاصلخیزی خاک بستگی دارد. به عبارت دیگر تراکم مطلوب حدی است که امکان استفاده بهینه از عامل‌های محیطی را فراهم آورد (دلجو و سپهری، ۱۳۸۳).

۱-۲- اهداف تحقیق

- بررسی تأثیر کشت مخلوط بر برخی ازخصوصیات کمی و کیفی نیشکر در کشت مخلوط با لوبیا چشم بلبلی و سویا.
- بررسی شاخص نسبت برابری زمین در کشت مخلوط نیشکر با لگوم‌ها.
- بررسی تأثیر استفاده از قارچ میکوریزا بر خصوصیات کمی و کیفی نیشکر.
- بررسی تأثیر بیوپرایمینگ سویا و لوبیا چشم بلبلی با باکتری رایزوبیوم بر عملکرد سویا و لوبیا چشم بلبلی در شرایط خوزستان.
- بررسی تأثیر کشت مخلوط بر کنترل علف‌های هرز از نظر تراکم و زیست توده علف‌های هرز.
- بررسی تثبیت نیتروژن توسط لگوم و نقش آن بر عملکرد نیشکر پس از برداشت لگوم.
- بررسی تأثیر کشت مخلوط نیشکر و لگوم بر بهره‌وری مصرف آب و کارایی مصرف نور.
- بررسی تأثیر کلونیزاسیون قارچ میکوریزا در ریشه نیشکر و کشت مخلوط نیشکر با لوبیا چشم بلبلی و سویا روی برخی ویژگی‌های کمی و کیفی نیشکر.

به‌طور کلی هدف از اجرای این طرح حرکت به سمت پایداری تولید، کشاورزی ارگانیک و کاهش استفاده از سموم در راستای رسیدن به کشاورزی پایدار از طریق تعیین بهترین الگوی کشت مخلوط نیشکر با بقولات می‌باشد.

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱- مقدمه

محققین به رابطه بین پایداری و تنوع زیستی تأکید می‌کنند زیرا افزایش تنوع، پیچیدگی ذاتی اکوسیستم‌های زراعی را افزایش داده و از این طریق فرآیندهای آن‌ها را تقویت می‌کند. ایجاد تنوع در روش‌های مدیریت و اشکال مختلف بهره برداری از منابع یا به‌عبارت دیگر افزایش تنوع کشاورزی از بهترین و مؤثرترین راهکارهای حصول به پایداری تولید می‌باشد. بسیاری محققین مهم‌ترین عامل افزایش تنوع در اکوسیستم‌های زراعی را حضور کشت‌های مخلوط در این سیستم‌ها می‌دانند (پینیدو-وسکویز و همکاران، ۲۰۰۰).

بی شک، افزایش جمعیت و نیاز به تأمین غذای بشر، مهم‌ترین نیروی محرک در تغییر سیستم‌های کشاورزی و میزان فشردگی و وابستگی آن‌ها بوده است. با افزایش رو به رشد جمعیت انسان، درآینده تقاضای جهانی برای منابع غذایی نیز افزایش خواهد یافت. براساس تجربیات اخیر در کشاورزی، مشخص شده که تولید زیاد و فشرده محصولات کشاورزی، بدون وجود آثار منفی بر نظام‌های طبیعی، کیفیت محیط و تهدید پایداری سیستم‌های کشاورزی، غیر متحمل خواهد بود. بنابراین نیاز به طراحی و اجرای سیستم‌های برخوردار از پایداری و عملکرد بالا به تدریج افزایش می‌یابد. از آن‌جایی که کشت مخلوط به عنوان یکی از سیستم‌های کشاورزی پایدار مطرح است، بنابراین تحقیقات علمی در این زمینه به منظور پیشبرد اهداف مورد نظر مفید خواهد بود (مظاهری و مجنون حسینی، ۱۳۸۱).

لازمه‌ی انتقال به مدیریت پایدار به‌کارگیری برخی اصول اکولوژیکی است. کاهش استفاده از مواد شیمیایی مصنوعی و یا حذف آن‌ها و به چرخه در آمدن مواد غذایی و مواد آلی در داخل سیستم ساختار و کارکرد اکوسیستم‌های کشاورزی را تغییر می‌دهد. شروع این تغییرات در قالب یک رشته از فرآیندها است که در ارتباط با ساختمان خاک، میزان مواد آلی، تنوع و فعالیت موجودات خاکزی می‌باشد. در نتیجه تغییرات عمده‌ای در فعالیت و ارتباطات بین علف‌های هرز، حشرات و عوامل بیماری‌زا و تعادل بین موجودات مفید و آفات رخ می‌دهد (نصیری محلاتی و همکاران، ۱۳۹۲).

نیاز بشر به انرژی به‌صورت میانگین روزانه معادل ۲۸۰۰ کالری است. در کشورهای توسعه یافته مصرف روزانه‌ی کالری ۳۵۰۰ و در کشورهای جهان سوم این میزان به ۲۲۰۰ کالری برای هر فرد کاهش می‌یابد (مجنون حسینی، ۱۳۸۳). یکی از روش‌های افزایش ماده خشک در واحد سطح استفاده از سیستم کشت مخلوط دو یا چند گیاه با هم در یک محل می‌باشد. کشت مخلوط غلات – حبوبات یکی از قدیمی‌ترین و معمول‌ترین انواع زراعت مخلوط است که در بسیاری از نقاط جهان گسترش یافته است (سنجای و سوجیت، ۲۰۱۴). بهره‌گیری از مخلوط گیاهان برای بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک، افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی و تأمین سلامتی گیاه از مهم‌ترین شیوه‌های علمی برای کمک به پایداری تعادل سیستم زنده خاک و جلوگیری از خطر تراکم آلاینده‌های شیمیایی در محیط زیست محسوب می‌شود (کوچکی و همکاران، ۱۳۹۲). بنابراین یکی از راهکارهای فراروی بشر برای کند کردن سرعت تخریب اکوسیستم‌ها استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط می‌باشد و با توجه به افزایش روز افزون جمعیت جهان و ثابت بودن و حتی کم شدن سطح اراضی زراعی یک راه امکان پذیر برای افزایش غذا با حفظ سطح زیر کشت استفاده از سیستم کشت مخلوط می‌باشد (میدیا و همکاران، ۲۰۰۵). عملیات بدون خاکورزی در تناوب زراعی و همچنین سیستم کشت مخلوط، شیوه‌های پایدار در تولید نیشکر به‌منظور تولید غذای سالم در سیستم کشاورزی پایدار هستند (لال، ۲۰۰۸).

۲-۲- اکولوژی نیشکر

نیشکر با نام علمی *Saccharum officinarum* L. گیاه غول پیکر و قوی‌ترین گیاه زراعی در تبدیل انرژی خورشیدی به ماده خشک گیاهی می‌باشد. گونه‌های مختلف نیشکر پلی‌پلوئید بوده و تعداد کروموزوم در این گونه‌ها از ۵۱ تا ۱۸۵ متغیر است. تعداد کروموزوم در *Saccharum officinarum* ۸۰ می‌باشد. هر شش گونه با یکدیگر تلاقی پذیرند، اما باروری نتاج بسیار متنوع است (خواجه پور، ۱۳۸۶).

نیشکر یک گیاه تک لپه‌ای با ارتفاع زیاد است که توانایی ذخیره سازی غلظت زیادی از ساکاروز را در ساقه خود دارد و از گیاهان مهم قندی در جهان است که به‌صورت چند ساله با هدف برداشت ساقه برای تولید شکر کشت می‌شود. این گیاه پتانسیل تولید شکر با کیفیت بالا و به مقدار زیاد در واحد سطح زمین را دارا است به نحوی‌که از هر تن ساقه بین ۷۰ تا ۸۰ کیلوگرم شکر سفید استخراج می‌شود که با توجه به عملکرد ساقه، حدود ۶ تا ۹/۵ تن شکر از هر هکتار نیشکر به‌دست می‌آید. نیشکر با داشتن مسیر فتوسنتزی C_4، حداکثر سرعت رشد بیش از ۴۰ گرم در متر مربع در روز را دارد (خواجه پور، ۱۳۸۶). از آنجایی که نیشکر در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری دنیا و در حوالی خط استوا بین مدار ۲۶ درجه جنوبی تا ۳۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی می‌روید، منطقه جنوب ایران و استان خوزستان منطقه مساعد برای کشت این گیاه محسوب می‌شود (شوشتری و همکاران، ۱۳۸۷). نیشکر در حال حاضر در برزیل، ایالات متحده آمریکا، استرالیا و آسیا به‌صورت تجاری کشت می‌شود (ویو و بیرچ، ۲۰۰۷). شکر به‌عنوان یکی از منابع غذایی انسان نقش مهمی را در سبد مواد غذایی ضروری مردم جهان دارد. به طوری‌که ۵/۲ درصد از کل تولیدات غذایی جهان به نیشکر و چغندرقند اختصاص دارد (شوشتری و همکاران، ۱۳۸۷).

خوزستان تنها منطقه‌ای از جهان است که توانسته است تا ۲۲۰ تن نی در هکتار تولید کند، ولی با این حال کشور ایران با مصرف سرانه ۲۹/۵ کیلوگرم شکر، جزء ۱۰ کشور بزرگ وارد کننده‌ی شکر در جهان می‌باشد. لذا ضروری است برنامه ریزی صحیح در بخش‌های مختلف تحقیقاتی این گیاه صورت گیرد تا از خروج سالیانه میلیون‌ها دلار ارز جلوگیری شود (شوشتری و همکاران، ۱۳۸۷).

مهم‌ترین واریته‌های مورد کشت در خوزستان عبارتند از: NC_0310 (واریته‌ای با منشاء افریقای جنوبی، دیررس، مقاوم به سرما و حساس به سیاهک)، CP57 (واریته‌ای با منشاء امریکا، زودرس و حساس به سرما)، CP48 و CP49 (واریته‌هایی با منشاء امریکا و میان رس) و CP69 (واریته‌ای با منشاء امریکا و دیررس) می‌باشند (خواجه پور، ۱۳۸۶).

نیشکر نیاز به یک دوره ۹۰ روزه عاری از علف‌های هرز دارد. دوره بحرانی رقابت علف‌های هرز با نیشکر تحت تأثیر عواملی نظیر محل، گونه علف‌های هرز، رقم نیشکر و روش‌های مدیریتی می‌باشد نیلسون بیان کرد زیست توده و تراکم کم‌تر علف‌های هرز در کشت مخلوط به دلیل ترکیب مکمل گیاهان زراعی در مخلوط می‌باشد که باعث افزایش توان رقابتی آن‌ها با علف های هرز می شود (نیلسون و همکاران، ۲۰۰۳). محصول نیشکر به عنوان یک ماده خام اساسی در صنایع قند و شکر به شمار می‌رود (سراج الدین و همکاران، ۱۳۹۵).

۲-۲-۱- اهمیت اقتصادی گیاه نیشکر

نیشکر و صادرات شکر و فرآورده‌های جانبی این گیاه دارای اهمیت زیادی در بخش کشاورزی و اقتصاد کلان بسیاری از کشورهای در حال توسعه مناطق گرمسیری به ویژه در آمریکای لاتین، آفریقای جنوبی، آسیا، جزایر کارائیب و اقیانوس آرام دارد (شوشتری و همکاران، ۱۳۸۷).

تنوع فرآورده‌های جانبی نیشکر و اهمیت آن‌ها در زندگی اجتماعی مردم و اقتصادی کشورهای نیشکر خیز جهان به قدری زیاد است که امروزه علاوه بر شکر، کاغذ، خوراک دام، نئوپان، فورفورال[۱]، خمیر مایه، صمغ، ملامین، پارچه، الکل، سرکه و صدها نوع مواد شیمیایی و دارویی متنوع دیگر نیز از این محصول به‌دست می‌آید (شوشتری و همکاران، ۱۳۸۷).

۲-۲-۲- مشخصات گیاه‌شناسی نیشکر

۲-۲-۲-۱- ساقه نیشکر

ساقه نیشکر مانند دیگر گیاهان خانواده گرامینه استوانه‌ای و بند بند، اما توپر می‌باشد. ارتفاع ساقه نیشکر به ۱/۵ تا ۴ متر و گاهی بیش‌تر می‌رسد. بند یا گره‌های ساقه را Node و فواصل بین گره‌ها را Inter-node می‌نامند. فواصل بین گرهی به صورت‌های استوانه‌ای، بشکه‌ای، میان باریک مخروطی و خمیده دیده شده و هر کدام معرف گونه یا گونه‌هایی در نیشکر می‌باشد. رنگ ساقه نیشکر در

۱. ماده‌ای روغنی، بی‌رنگ و خوشبو است که به منظور تولید نایلون به‌کار می‌رود.

گونه‌های مختلف از سفید کرمی، زرد مایل به سفید، سفید زرد، سبز، سبز مایل به زرد، زرد خط دار، قرمز، قرمز با خطوط سیاه قهوه‌ای کم رنگ، بنفش و غیره متفاوت می‌باشد. قطر ساقه در پایین ضخیم‌تر بوده و به طرف بالا به تدریج کاهش پیدا می‌کند، قطر ساقه در گونه‌های مختلف از ۶ تا ۱۵ سانتی‌متر متفاوت می‌باشد. طول بندها در پایین ساقه کم‌تر و در بالای آن بیش‌تر است. طول بند در گونه‌های مختلف بین ۶ تا ۲۵ سانتی‌متر متفاوت می‌باشد. عواملی از قبیل کم آبی، سرمازدگی، آفت زدگی، بیماری و سایر عواملی که در رشد نیشکر تأثیر دارند، موجب کاهش فواصل بین گرهی می‌شوند (شوشتری و همکاران، ۱۳۸۷).

۲-۲-۲-۲- برگ نیشکر

برگ نیشکر دارای پهنک باریک و بلند بوده و رگبرگ اصلی در وسط و رگبرگ‌های فرعی آن به‌صورت موازی با رگبرگ اصلی قرار گرفته‌اند. برگ فاقد دمبرگ بوده و انتهای آن به‌صورت غلاف اطراف ساقه پیچیده شده و در محل گره‌ها به ساقه متصل می‌گردد. برگ‌ها در دو طرف ساقه به شکل متناوب می‌رویند. بین غلاف و پهنک برگ، زائده به نام گوشواره[1] قرار گرفته است. محل اتصال پهنک به غلاف را یقه می‌گویند. ساختمان برگ از بافت‌های محافظ سطحی، بافت‌های اسکلرانشیم، سلول‌های پارانشیم حاوی کلروفیل، دستجات آوندی، الیاف خشبی، سلول‌های هوایی و استومات‌ها تشکیل گردیده است. طول برگ‌های نیشکر بین ۷۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر بسته به واریته‌های مختلف، متفاوت بوده و عرض برگ‌های کامل نیز بسته به گونه‌های مختلف از ۲ تا ۱۰ سانتی‌متر متغیر می‌باشد (شوشتری و همکاران، ۱۳۸۷).

۲-۲-۲-۳- ریشه نیشکر

بعد از کشت قلمه نیشکر دو نوع ریشه به‌وجود می‌آید. آن قسمت از ریشه‌ها که مستقیماً از قلمه می‌رویند باریک و ظریف بوده دارای انشعابات زیادی است. قسمت دیگر ریشه‌ها که از ساقه‌های تازه روئیده به‌وجود می‌آیند، ضخیم و گوشتی ولی با انشعابات کم هستند. در مراحل اولیه رشد، آب و مواد

1. Ligule

غذایی توسط ریشه‌های قلمه جذب می‌شود ولی پس از مدتی، این نقش به ریشه‌های ساقه و پاجوش‌ها منتقل می‌شود و ریشه‌های قلمه به تدریج از بین می‌روند. در نیشکر اساساً سه نوع ریشه را به شرح زیر می‌توان تفکیک نمود:

۱- ریشه‌های سطحی نقش اصلی را در جذب آب و مواد غذایی به‌عهده دارند. قسمت عمده این ریشه‌ها معمولاً در ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری از سطح خاک پراکنده می‌شود و در مزارع تحت آبیاری به ندرت فراتر از عمق ۶۰ تا ۷۰ سانتی‌متر نفوذ می‌کند. شعاع گسترش این ریشه‌ها ۱/۵ تا ۲ متر است. در حدود ۸۵ درصد حجم کل ریشه‌های نیشکر را همین ریشه‌های سطحی تشکیل می‌دهد.

۲- ریشه‌های نگهدارنده[1] در عمق ۱ تا ۱/۵ متری نفوذ می‌کنند. این ریشه‌ها نسبتاً ضخیم‌تر و محکم هستند و پایداری گیاه را در زمین تأمین می‌کنند.

۳- ریشه‌های عمقی[2] که در صورت کمبود رطوبت تا عمق ۴ متری نفوذ می‌نمایند.

۲-۳- اکولوژی لوبیا چشم بلبلی

دانه حبوبات با داشتن ۱۸ تا ۲۵ درصد پروتئین به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع گیاهی غنی از پروتئین بعد از غلات و دومین منبع مهم غذایی انسان به شمار می‌رود (پارسا و باقری، ۱۳۸۷)

لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*) که یکی از قدیمی‌ترین گیاهان مناطق گرمسیر و نیمه گرمسیر می‌باشد. منشاء این گیاه آفریقا بوده و از آن‌جا به هندوستان، چین و قسمتهای مرکزی و شمالی آمریکا منتقل شده است. در حال حاضر در بسیاری از کشورهای گرمسیر با سطح زیر کشت جهانی ۴/۵ میلیون هکتار کشت می‌شود. واریته‌های زودرس آن را در مناطق نیمه گرمسیر شوروی و خاورمیانه می‌توان مشاهده کرد. این گیاه دارای ۱۱ جفت کروموزوم 2n=2x=22 است (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۸۶).

1. Buttress root
2. Rope root

لوبیا چشم بلبلی مهم‌ترین گیاه خانواده بقولات به شمار می‌رود که با توجه به پروتئین بالا و سایر خصوصیات زراعی بالاترین سطح کشت را بین حبوبات به خود اختصاص داده است (پارسا و باقری، ۱۳۸۷). از لوبیا چشم بلبلی به‌عنوان کود سبز، علوفه، سیلو و گیاه پوششی نیز استفاده می‌کنند. لوبیا چشم بلبلی جزء لاینفک کشاورزی پایدار و نظام‌های استفاده کارآمد از زمین است (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۸۶).

۲-۳-۱- خصوصیات مرفولوژیک لوبیا چشم بلبلی

لوبیا چشم بلبلی گیاهی است علفی و یک ساله، بوته‌ای، و تا حدی رونده. دارای یک ریشه اصلی به طول ۶۰ تا ۸۰ سانتی‌متر است. بسته به واریته و شرایط کشت و زرع، طول ساقه‌ی آن از ۶۰ تا ۸۰ سانتی‌متر و عرض آن از ۰/۵ تا ۱/۵ سانتی‌متر متغیر است. رنگ ساقه‌ی آن زرد، سبز روشن یا قهوه‌ای است. برگ‌های آن دمبرگ بلندی داشته و سه برگچه‌ای است. غلاف‌های آن پهن یا استوانه‌ای بوده، نسبتاً بلند (۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر) و به سادگی باز می‌شوند. غلاف‌های نارس آن سبز یا سبز تیره هستند و انواع رسیده‌ی آن زرد یا قهوه‌ای رنگ می‌شوند. بر روی هر گیاه تقریباً بیش‌تر از ۵۰ غلاف دیده می‌شود و هر غلاف دارای بیش از ۱۶ بذر است. وزن هزار دانه‌ی آن بین ۶۰ تا ۳۰۰ گرم متغیر است (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۸۶).

۲-۳-۲- خصوصیات اکولوژیکی لوبیا چشم بلبلی

با توجه به اقلیم حاره‌ای بسیار گرم منشاء لوبیا چشم بلبلی، این گیاه برای رشد طبیعی خود نیاز به حرارت دارد و این حرارت هیچگاه نبایستی کم‌تر از ۱۸ درجه سانتی‌گراد باشد. بیش‌ترین نیاز حرارتی لوبیا چشم بلبلی در دوره‌ی حد فاصل شکوفه‌دهی تا رسیدگی است. چنانچه دما کم‌تر از ۱۵ الی ۱۸ درجه سانتی‌گراد باشد رسیدگی دانه‌ها به‌خوبی انجام نمی‌شود. لوبیا چشم بلبلی گیاه روز کوتاه است و به آسانی سایه اندازی را تحمل می‌کند بنابراین هنگامی‌که در کشت مخلوط با ذرت یا سویا و یا در بین ردیف‌های درختان میوه کشت شود به‌طور طبیعی رشد کرده و محصول زیادی تولید

می‌کند. واریته‌های دیررس لوبیا چشم بلبلی تنها در شرایط روز کوتاهی مناطق گرمسیر قادر به رشد هستند (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۸۶).

نتایج آزمایشات متعدد نشان دادند که اختلاف زیادی در عملکرد لوبیا چشم بلبلی به چشم می‌خورد. به‌عنوان مثال متوسط عملکرد آن در اراضی غرب آفریقا ۸۸ کیلوگرم در هکتار است. علت این کاهش محصول، کشت مخلوط آن با غلات بوده بدون آن‌که کود مصرف شده باشد و یا آن‌را از حشرات متعدد محافظت کرده باشند. اما هنگامی‌که به‌صورت منفرد کشت شود و مدیریت به‌خوبی اعمال شود، حدود ۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد خواهد داد (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۸۶).

مطالعات نشان می‌دهد که لوبیا چشم بلبلی از گیاهان موفق در استفاده از مکانیسم اجتناب از تنش است. این مکانیسم عبارت از کاهش سطح برگ، کاهش هدایت روزنه‌ای و تغییر در وضعیت فضایی برگچه‌ها است. در واریته‌های مختلف لوبیا چشم بلبلی اختلافات ژنتیکی در مقابله با خشکی وجود دارد (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۸۶).

لوبیا چشم بلبلی نیز همانند دیگر حبوبات از طریق زندگی هم‌زیستی با باکتری رایزوبیوم قادر به تثبیت نیتروژن است و همین امر آن‌ها را نیازمند به مولیبدن، کبالت، بر، مس، فسفر و روی می‌سازد. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در محیط‌های کنترل شده بر روی تغذیه لوبیا چشم بلبلی انجام شده است. هنگامی‌که لوبیا چشم بلبلی را در همین محیط‌های کنترل شده تحت حرارت مطلوب رشد می‌دهند، گیاهانی که دارای گره بر روی ریشه‌های خود می‌باشند در مقایسه با گیاهان فاقد گره عملکرد دانه آن‌ها بیش‌تر می‌شود. آزمایشات مزرعه‌ای نشان داده است که افزایش مقدار اولیه‌ی کمی ازت (۱۵ الی ۲۰ کیلوگرم در هکتار) رشد رویشی را حتی در گیاهانی که به‌خوبی با رایزوبیوم تلقیح شده‌اند بیش‌تر می‌کند (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۸۶).

کریستین و گراهام (۲۰۰۲) دریافتند که لگوم‌هایی مثل لوبیا چشم بلبلی در شرایط کمبود نیتروژن نقش مهمی در تثبیت نیتروژن و افزایش مقدار آن در خاک دارند و به همین علت، لوبیا

چشم بلبلی در برخی کشورها به عنوان تقویت کننده خاک کشت می‌شود. در مطالعاتی روی کشت مخلوط برخی گیاهان با بقولات اعلام شد که تثبیت نیتروژن توسط بقولات باعث افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود (عشقی زاده و همکاران، ۱۳۸۶). لوبیا چشم بلبلی و سویا از گیاهان تثبیت کننده نیتروژن می‌باشند و در شرایط مناسب می‌توانند به میزان ۱۴۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن را از طریق هم‌زیستی با باکتری رایزوبیوم تثبیت نمایند (کاسمن و همکاران، ۱۹۹۹). همچنین در خاک‌های فاقد رایزوبیوم، تلقیح بذر با باکتری تثبیت کننده نیتروژن اثرات مثبتی بر عملکرد خواهد داشت (اسدی رحمانی و صالح راستین، ۱۳۸۱). رایزوبیوم‌ها به‌صورت طبیعی در خاک‌ها وجود دارند ولی غالباً از حیث تعداد و یا مؤثر بودن برای برقراری یک هم‌زیستی موفقیت آمیز کافی نیستند و لذا لازم است به هنگام کشت گیاهان لگوم جمعیت کافی از رایزوبیوم‌های هم‌زیست به بذور آن‌ها تلقیح گردد (آیانابا و برومفیلد، ۲۰۰۳).

۲-۴- اکولوژی سویا

لوبیا روغنی (Soybean) که در ایران آن‌را با نام سویا یا سوژا نیز می‌شناسند، از دانه‌های روغنی است که از قدیم الایام و حداقل از حدود ۲۸۰۰ سال قبل از میلاد مسیح در چین کشت می‌شد و در آن‌جا از گیاهان مقدس به‌شمار می‌رفته است. احتمال می‌رود که سویا از اهلی سازی (*G.soja* Sieb and Zucc) *Glycine ussuriensis* که در آسیای شرقی رشد می‌کند و ظاهراً در شمال چین حاصل گردیده باشد (خواجه پور، ۱۳۸۶).

سویا در قرن هجدهم به اروپا و در اوایل قرن نوزدهم به امریکا برده شد. امروزه ایالات متحده امریکا بزرگترین اصلاح کننده و تولید کننده سویا در جهان به‌شمار می‌رود. سایر کشورهای مهم تولید کننده سویا در جهان عبارتند از: برزیل، آرژانتین و چین. سویا در دهه دوم قرن اخیر به ایران آورده شد (خواجه پور، ۱۳۸۶). با توجه به نیاز روز افزون کشور به روغن‌های خوراکی که در حال حاضر بخش اعظم آن از خارج تأمین می‌گردد، توسعه کشت دانه‌های روغنی از جمله سویا از اهمیت به سزایی برخوردار است. دانه سویا با داشتن ۱۶ تا ۲۴ درصد روغن و به دلیل برخورداری از اسیدهای

چرب اشباع نشده بویژه اسید لینولئیک، قابلیت هضم بالای روغن، مرغوبیت کنجاله و ۲۵ تا ۴۵ درصد پروتئین می‌تواند منبع غذایی برای انسان و دام باشد (آلیاری و همکاران، ۱۳۷۹).

۲-۴-۱- خصوصیات گیاه‌شناسی سویا

سویا با نام علمی *Glycine max* (L.) Merrill گیاهی است دیپلوئید (2n=40) و یک‌ساله از تیره نخود (*Leguminosae*) که به‌صورت بوته‌ای استوار و نسبتاً پر شاخ و برگ رشد می‌کند. سویا دارای ریشه‌ای نسبتاً مستقیم با توسعه جانبی زیاد است که در خاک‌های نفوذ پذیر، مرطوب و گرم تا عمق ۱/۵ متری نفوذ می‌کند. اما بخش بزرگی از ریشه‌ها، به‌خصوص در شرایط آبیاری و خاک‌های معمول زراعی ایران در لایه فوقانی خاک و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری گسترده‌اند (خواجه پور، ۱۳۸۶).

روی ریشه‌های سویا، گره‌های تثبیت کننده نیتروژن حاوی باکتری‌های *رایزوبیوم ژاپونیکوم* (*Rhizobium japonicum*) مشاهده می‌شوند. باکتری‌های رایزوبیوم، کربوهیدرات‌ها و سایر مواد غذایی را از آوند آبکشی ریشه گیاه میزبان گرفته و انرژی دریافتی را صرف تبدیل نیتروژن هوا به یون آمونیوم و در نهایت اسیدهای آمینه می‌نمایند. اسیدهای آمینه تولیدی به مصرف رشد و تکثیر باکتری‌ها می‌رسد. اما مقدار نیتروژن تثبیت شده توسط رایزوبیوم بیش از نیاز خودشان می‌باشد و مازاد تولید می‌تواند به مصرف گیاه میزبان برسد. مقداری نیتروژن نیز از تجزیه بافت گره‌های مرده، (قطع شده در اثر پیری و رشد ثانویه ریشه)، آزاد گردیده و به‌تدریج در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. مقدار نیتروژن تثبیت شده توسط رایزوبیوم‌ها ممکن است تا حدود ۸۰ درصد کل نیتروژن مورد نیاز گیاه را در شرایط مساعد برای تثبیت تأمین نماید. قسمت اعظم (۷۵ تا ۸۰ درصد) نیتروژنی که در اختیار گیاه قرار می‌گیرد به مصرف تولید دانه می‌رسد. مقدار باقیمانده در بقایای گیاهی یک هکتار سویا با عملکرد حدود ۲/۵ تن در هکتار حدود ۵۰ تا ۵۵ کیلوگرم می‌باشد. مقدار قابل توجهی نیتروژن نیز در ریشه و خاک از محصول باقی می‌ماند. باکتری *رایزوبیوم ژاپونیکوم* به‌طور طبیعی در خاک‌های ایران وجود ندارد. به همین جهت لازم است این باکتری‌ها همراه با بذر به خاک اضافه گردند (خواجه پور، ۱۳۸۶).

۲-۴-۲- سازگاری سویا

فعالیت‌های به نژادی روی سویا منجر به تولید ارقام بسیار متفاوتی از نظر طول دوره رشد گردیده و طیف سازگاری اقلیمی این گیاه را افزایش داده است. در حال حاضر، سویا از عرض جغرافیایی ۴۰ درجه جنوبی تا بیش از ۵۰ درجه شمالی و از ارتفاع صفر تا بیش از ۲۱۰۰ متر از سطح دریا (بسته به عرض جغرافیایی) کشت می‌شود. سویا گیاهی است روز کوتاه که بیش از هر محصول زراعی دیگر نسبت به طول روز حساسیت نشان می‌دهد. اما میزان حساسیت به طول روز در ارقام مختلف بسیار متفاوت می‌باشد (خواجه پور، ۱۳۸۶).

۲-۴-۳- تناوب زراعی سویا

نیاز غذایی سویا مشابه حبوبات دیگر است، اما ظاهراً بر خلاف حبوبات از نظر تولید فیتوتوکسین‌ها، تهی سازی خاک از مواد غذایی و تغییر در میکروفلورای خاک موجب خستگی زمین نمی‌شود و می‌توان آن‌را ۲ تا ۳ سال متوالی در یک قطعه زمین کشت کرد (خواجه پور، ۱۳۸۶).

به‌طور کلی، موفقیت سویا در تناوب زراعی مشابه حبوبات گرمادوست مانند لوبیا چشم بلبلی و ماش است و می‌توان آن‌را به‌عنوان اصلاح کننده ساختمان و فزاینده باروری خاک در تناوب قرار داد. چنانچه سویا به‌صورت دانه برداشت گردد، ممکن است تا ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و در صورتی که به‌عنوان کود سبز به خاک برگردانده شود تا بیش از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به خاک اضافه نماید (خواجه پور، ۱۳۸۶).

در پژوهشی سوگات (۲۰۰۶) در بررسی تأثیر کود نیتروژن و تلقیح با باکتری رایزوبیوم بر ارقام مختلف سویا گزارش کرد که تلقیح با باکتری، محتوای نیتروژن، ماده خشک دانه و اجزای رویشی و عملکرد دانه سویا را در مقایسه با کاربرد ۷۵ کیلوگرم نیتروژن، افزایش داد. در تحقیقی دیگر، گزارش شد که تلقیح سویا با رایزوبیوم سبب افزایش ۸/۶ درصدی عملکرد سویا شد (شریواستاوا و همکاران، ۲۰۰۹).

۲-۵- مزایای کشت مخلوط

مهم‌ترین مزایای کشت مخلوط، افزایش کارایی مصرف منابع (نور، آب و عناصر غذایی) و کنترل علف‌های هرز (گائو و همکاران، ۲۰۰۹)، کاهش خسارت آفات و بیماری‌ها (جوانشیر و همکاران، ۱۳۷۹) و افزایش تنوع زیستی (بلک و اونگ، ۲۰۰۹) می‌باشند. سیستم‌های کشت مخلوط خصوصیات کارکردی منحصر به فردی را فراهم می‌سازند که باعث شده این سیستم‌های زراعی قرن‌ها در کشاورزی معیشتی نقش مهمی در تأمین مواد غذایی بشر داشته باشند (جوانشیر و همکاران، ۱۳۷۹) و جایگاه خاصی را در طراحی بوم نظام‌های زراعی پایدار به خود اختصاص دهند (فوکای و ترینبات، ۱۹۹۹). استفاده بی‌رویه از اراضی، زیرکشت بردن آن‌ها به هر نحو ممکن و اصرار به کاشت متوالی یک گیاه در سیستم‌های کشاورزی فعلی، سبب ایجاد محدودیت در استفاده از منابع در سیستم‌های تک کشتی شده است (ناکاسیکو، ۱۹۸۸). در کشت مخلوط هنگامی حداکثر عملکرد بدست می‌آید که گیاهان تشکیل دهنده مخلوط از نظر نحوه و میزان استفاده از منابع طبیعی با یکدیگر کاملا متفاوت باشند (مظاهری، ۱۳۷۳). بر اساس نتایج آزمایش‌های انجام شده هنگامی که دو گونه مختلف با ارتفاع بوته، پوشش گیاهی و الگوی رشد متفاوت به‌صورت هم‌زمان در کشت مخلوط قرارگیرند، کم‌ترین رقابت را با یکدیگر ایجاد می‌کنند و این موضوع باعث افـزایش عملکرد کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص می‌شود (کوی و همکاران، ۲۰۱۷).

سیستم کشت مخلوط هنگامی سودمند است که منابع محیطی مورد نیاز دو گونه به‌طور مناسبی از یکدیگر جدا باشند به‌طوری‌که این گونه‌ها در کنار یکدیگر قادر باشند از عوامل محیطی استفاده بهینه نمایند. غالباً عملکرد یک یا هر دو گیاه زراعی در مقایسه با کشت خالص آن‌ها کم‌تر است، البته ترکیب عملکرد آن‌ها بیش‌تر خواهد بود (مظاهری، ۱۳۷۳). وقتی یک گیاه زراعی که رشد اولیه آن سریع است همراه با یک گیاه زراعی که رشد اولیه آن کند می‌باشد کشت شود، این اثرات بسیار بارز می‌شود (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۷). ملاحظه شده است که در روش‌های مختلف کشت مخلوط، دریافت آب بیش‌تر از کشت خالص گیاهان مد نظر است و احتمالاً علت آن سیستم ریشه‌ای گیاهان

زراعی مختلف است که لایه‌های مختلف خاک را مورد استفاده قرار می‌دهند. احتمال دیگر آن است که اختلافات موقتی در الگوهای ریشه دهی ممکن است کل جذب آب در کشت مخلوط را افزایش دهد (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۷). مزایای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در شرایط محدودیت آب بیش‌تر است، مشروط بر این که کل تراکم بوته در این دو سیستم یکسان باشد، یعنی هر جزء مخلوط با تراکم کم‌تری در مقایسه با کشت خالص آن کاشته شود. برتری کشت مخلوط در این مورد ظاهراً به این دلیل است که وقتی دو گیاه با هم کشت می‌شوند میزان رقابت کم‌تر از کشت خالص آن‌ها است. کاشت گیاهان زراعی مختلف در دوره‌هایی که با یکدیگر همپوشانی دارند، می‌تواند راندمان مصرف آب در مناطق نیمه خشک را به طور قابل ملاحظه‌ایی افزایش دهد (مظاهری، ۱۳۷۳). استفاده از کشت مخلوط موجب کاهش خطرات احتمالی ناشی از حمله آفات و امراض در گیاهان گردیده و موجب حداکثر استفاده از منابع آب و خاک شده و حفاظت خاک را به خاطر پوشش بهتر فراهم می‌نماید، زیرا که مواد گیاهی زیادی در خاک باقی می‌مانند که موجب افزایش حاصلخیزی خاک می شوند، همچنین کشت مخلوط در کنترل علف‌های هرز و حفاظت از باد و سرما در کشت پاییزه نیز مؤثر است (اسکندری و همکاران، ۲۰۰۹).

ترکیبی از افزایش دریافت نور، آب و عناصر غذایی و بهره‌گیری بهتر از آن‌ها موجب می‌شود عملکرد در انواع کشت مخلوط که به‌خوبی طراحی شده‌اند در مقایسه با کشت خالص ۳۰ تا ۶۰ درصد افزایش باید (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۷) یکی از موضوعات مهم این‌است که این افزایش عملکرد به‌راحتی و بدون استفاده از نهاده‌های پر هزینه به‌دست می‌آید که شاید یکی از مهم‌ترین مزایای کشت مخلوط بر پایه کشاورزی پایدار و پایداری عملکرد تلقی شود (مظاهری، ۱۳۷۳). بهبود پایداری عملکرد عمدتاً ناشی از کاهش خطر خشکی و آسیب کم‌تر آفات و بیماری‌ها می‌باشد. در این رابطه، در بعضی نقاط کشاورزان معیشتی، مخلوطی از واریته های زودرس و دیررس گیاهان را برای مقابله با خطر قطع احتمالی بارندگی و یا بهره‌گیری از بارندگی‌های بعدی به منظور کاهش اثرات خشکی به کار می‌گیرند. همچنین تصور بر آن است که یک گیاه زراعی می‌تواند به عنوان مانعی در برابر پراکنش

آفات در مقابل گیاه زراعی حساس عمل کند یا با ترشحات ریشه بر عوامل بیماری زای خاکزی اثر بگذارد. گاهی نیز یکی از اجزای کشت مخلوط به عنوان تله عمل کرده و جزء یا اجزای دیگر را محافظت می‌نماید، مثلاً وقتی کنجد به همراه پنبه کشت گردد کنجد، آفت *Heliothis viresence* Halic را به خود جذب می‌کند و گیاه پر ارزش‌تر پنبه کم‌تر آسیب می بیند (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۷).

گیاهان مختلف زراعی و حتی ارقام یک گیاه، توانایی‌های متفاوتی در بهره‌برداری مطلوب از منابع محیطی دارا می‌باشند. از جمله دیدگاه اکولوژی نیز تفاوت‌های مرفوفیزیولوژیک موجود بین گونه‌های گیاهی، نتیجه‌اش توانایی گیاهان در اشغال آشیان‌های اکولوژیکی مختلف خواهد بود. به نظر می‌رسد با اجرای الگوهای کشت مخلوط (در مقایسه با شرایط تک کشتی)، امکان جذب و تبدیل عوامل رشد به محصول گیاهی، بهتر خواهد شد، بنابراین برای طراحی مطلوب نظام‌های کشت مخلوط، شناخت اجزای شاخص کارایی استفاده از منابع، ضروری است. معیار کارایی استفاده از منابع در واقع چهارچوبی برای تجزیه و تحلیل توان تولیدی و بهره‌وری الگوی کشت مخلوط در مقایسه با شرایط تک کشتی می‌باشد (آینه بند، ۱۳۸۶).

درکشت مخلوط علاوه بر موارد فوق نکات دیگری نیز قابل توجه می‌باشد که عدم توجه به آن‌ها شاید از تأثیر مثبت کشت مخلوط بکاهد که در ذیل به پاره‌ای از این موارد اشاره می‌گردد : ۱) در سیستم کشت مخلوط کنترل علف‌های هرز به‌صورت مکانیکی و شیمیایی و همچنین استفاده از سموم برای دفع آفات و بیماری‌ها با محدودیت‌هایی مواجه است زیرا در مزرعه دو نوع گیاه مختلف وجود داشته که هر کدام دارای خصوصیات متفاوتی هستند و پاسخ هر کدام به عوامل محیطی و یا سموم کاربردی متفاوت می باشد (موسائی سنجره‌ئی، ۱۳۹۶). در نتیجه اگر شناخت کاملی از گونه های مورد کشت و مراحل فنولوژیکی و فیزیولوژیکی آن گیاهان در اختیار نباشد، استفاده نادرست از یک نهاده می‌تواند منجر به خسارت جبران ناپذیری گردد. ۲) همچنین کشاورزان در توزیع مقدار مصرف

بهینه کود برای گیاهان زراعی مختلف با مشکل مواجه می‌شوند. محدودیت اصلی کشت مخلوط آن است که برداشت مکانیکی محصول تقریباً غیر ممکن است. این عوامل منجر شده که محققان با توجه به گستردگی ترکیبات ممکنه بر روی کشت مخلوط علاقه‌ای به انجام آزمایش در این زمینه نداشته باشند و این عمدتاً ناشی از تصور آنان است که معتقدند کشت مخلوط در کشاورزی پیشرفته و جدید مزایایی ندارد. البته در مراکز تحقیقاتی روی بهبود روش‌های کشت مخلوط کارهایی صورت گرفته که منجر به ابداع روش‌هایی مانند استفاده از کشت مخلوط ردیفی، کشت تعویضی و غیره شده است که بسیاری معایب فنی کشت مخلوط را برطرف نموده و یا کاهش داده است (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۷).

با توجه به مطالب فوق و همچنین توجه به این نکته که، برخی گیاهان دارای اثرات سوء ریشه‌ای هستند یا کشت هم‌زمان دو گونه شاید به‌جای ایجاد هم‌زیستی و همیاری منجر به رقابت در آنان گردد و یا توجه به نیازهای مختلف غذایی گونه‌های گیاهی، کشت مخلوط و اجرای آن شاید در ابتدا امری ساده انگاشته شود، ولی به دلیل برخی محدودیت‌ها در استفاده از گیاهان و یا سایر نهاده‌ها نیاز به توجه خاص برای مدیریت دارد و این امر شیوه‌ای از مدیریت را می‌طلبد که بر پایه‌ی آشنایی کامل با گیاهان زراعی و نیازهای آن‌ها و همچنین نحوه‌ی بهره‌گیری از نهاده‌های مختلف، استوار باشد. در مدیریت کشت مخلوط، آشنایی به روابط متقابل بین گیاهان، شناخت ارزش اقتصادی گیاهان، بازاریابی و فروش محصولات از عوامل ضروری جهت بهره‌گیری مثبت از این سیستم محسوب می‌شود (جوانشیر و همکاران، ۱۳۷۹).

۲-۶- اهمیت زراعی کشت مخلوط

کشت مخلوط عملیات تولید چند محصول در یک زمین است و برای گیاهانی استفاده می‌شود که سازگاری بیش‌تری از نظر دستیابی به نور خورشید، آب، مواد غذایی و کارگر دارند (نبوی کلات و همکاران، ۱۳۷۵). نتایج مطالعات محققان حاکی از آن است که اگر غلات در مخلوط با بقولات کشت

شوند، عملکرد اقتصادی غلات و ماده‌ی خشک غلات علوفه‌ای در مخلوط افزایش می‌یابد (به دلیل تثبیت زیستی نیتروژن توسط بقولات) و در نتیجه بالاترین عملکردهای دانه و علوفه‌ی خشک غلات و بقولات در کشت مخلوط حاصل می‌گردد (سیروس مهر و همکاران، ۱۳۸۲). در جدول ۲-۱ میزان تثبیت نیتروژن توسط برخی بقولات آمده است.

مدیریت زراعی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص پیچیده‌تر است، زیرا افزون بر آگاهی از نیازهای اکولوژیکی، اقلیمی و زراعی هر یک از رقم‌ها یا گونه‌های مخلوط، می‌بایست از اثرات متقابل آن‌ها مطلع بود و از آن برای حصول بیش‌تر محصول استفاده کرد (قنبری و همکاران، ۲۰۱۰).

به‌طور کلی نسبت هر گونه گیاه در مخلوط و میزان تراکم آن‌ها عامل‌های مهم تعیین کننده عملکرد یک مخلوط می‌باشند. انتخاب تراکم گیاهی مطلوب دو گونه در مخلوط به دلیل اندازه‌های مختلف و فضاهای متفاوتی که اشغال می‌کنند به‌طور مستقیم و بر مبنای تراکم‌های کشت خالص آن‌ها امکان پذیر نیست. بدین منظور از واحد گیاهی یا تعداد گیاهی که در تراکم مطلوب در کشت خالص سطح زمین را اشغال می‌کند، استفاده می‌شود. برای مثال در کشت مخلوط سورگوم و لوبیا چشم بلبلی، واحد گیاهی لوبیا چشم بلبلی برابر با دو در نظر گرفته شده و در کشت مخلوط آن‌ها یک گیاه سورگوم معادل با دو گیاه لوبیا چشم بلبلی خواهد بود. به عبارت دیگر به ازای هر ردیف کشت سورگوم می‌بایست دو ردیف لوبیا چشم بلبلی کشت شود (صابری و همکاران، ۱۳۹۱).

در پژوهشی که بر روی الگوی کشت (کشت شبدر بین ردیف‌های نیشکر و کشت شبدر بین و داخل ردیف‌های نیشکر) و میزان بذر مصرفی (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوگرم بذر شبدر در هکتار) در کشت مخلوط با نیشکر (رقم Cp57-614) انجام شد، مشخص شد بین بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد ساقه نیشکر ۴۳/۸۷ درصد تفاوت بود و بیش‌ترین عملکرد نیشکر (۱۰۴/۴ تن در هکتار) در تیمار استفاده از ۴۰ کیلوگرم بذر شبدر به‌دست آمد. سطوح الگوی کشت شبدر روی عملکرد نیشکر تفاوت معنی‌داری نداشتند. دلیل افزایش عملکرد نیشکر در مخلوط با شبدر (به‌عنوان یکی از گیاهان

بقولات)، تثبیت نیتروژن توسط شبدر و تأثیر مثبت شبدر روی حل و قابل جذب شدن فسفر تثبیت شده در خاک گزارش شد (حسن نژاد خسروآبادی و همکاران، ۱۳۸۹).

جدول ۲-۱- میزان تثبیت زیستی نیتروژن توسط برخی بقولات (لگوم‌ها) (کاکرالیا و همکاران، ۲۰۱۸)

گیاه لگوم	نام علمی	موجود زیستی مربوطه برای تلقیح	میزان تثبیت نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)
سویا	*Glycine max* L.	باکتری برادی رایزوبیوم ژاپونیکوم	۱۰۰-۱۵۰
نخود	*Cicer arietinum* L.	باکتری رایزوبیوم	۴۰-۵۰
عدس	*Lens culinaris*	باکتری رایزوبیوم	۴۰-۶۸
بادام زمینی	*Arachis hypogaea* L.	باکتری رایزوبیوم	۱۵۰
نخود فرنگی	*Pisum Sativum* L.	باکتری رایزوبیوم	۶۵-۱۰۰
لوبیای سودانی	*Cajanus cajan* L.	باکتری برادی رایزوبیوم	۱۰۰-۲۰۰
ماش	*Vigna radiate* L.	باکتری رایزوبیوم	۶۰-۱۱۲
لوبیا گل	*Vigna sinensis* L.	باکتری رایزوبیوم	۳۰
لوبیا چشم بلبلی	*Vigna unguiculata* L.	باکتری رایزوبیوم لگومینوزاروم	۹۰-۲۰۰
باقلا مصری	*Lupinus* sp. L.	باکتری رایزوبیوم	۶۰-۱۰۰
لوبیا	*Phaseolus vulgaris* L.	باکتری رایزوبیوم	۲۰-۸۰
یونجه	*Medicago sativa* L.	باکتری رایزوبیوم	۱۰۰-۲۵۰
گوآر	*Cyamopsis tetragonoloba* L.	باکتری رایزوبیوم	۶۰-۱۵۰
شنبلیله	*Trigonella foenum-graecum*	باکتری رایزوبیوم	۴۵
ماش سیاه	*Vigna mungo* L.	باکتری رایزوبیوم	۱۰۰
باقلا سبز	*Vicia faba* L.	باکتری رایزوبیوم	۱۳۰
شبدر	*Trifolium pretense* L.	باکتری رایزوبیوم	۱۰۰-۱۵۰
شبدر قرمز	*Trifolium pretense* L.	باکتری رایزوبیوم	۱۰۰-۱۵۰
شبدر سفید	*Trifolium repens* L.	باکتری رایزوبیوم	۱۰۰-۱۵۰

دنتاتا (۲۰۱۴) گزارش داد که در کشت مخلوط نیشکر (رقم Co 957) با لوبیا چشم بلبلی با نسبت‌های گوناگون، بیش‌ترین تعداد پنجه در نیشکر، در کشت خالص نیشکر و همچنین در ترکیب ۱۰۰ درصد نیشکر با ۲۵ درصد لوبیا چشم بلبلی به میزان ۳۶۰ عدد در هکتار و کم‌ترین تعداد پنجه در نیشکر، در ترکیب ۱۰۰ درصد نیشکر و ۱۰۰ درصد لوبیا چشم بلبلی به میزان ۲۹۰ عدد در هکتار حاصل شد. بیش‌ترین عملکرد نی در نیشکر در کشت خالص نیشکر و ترکیب ۱۰۰ درصد هر کدام از نیشکر و لوبیا چشم بلبلی به ترتیب به میزان ۳۷/۸ و ۳۶/۸ تن در هکتار به‌دست آمد. بیش‌تر بودن عملکرد نیشکر در کشت خالص به دلیل بیش‌تر بودن تعداد پنجه در نیشکر و بیش‌تر بودن عملکرد در ترکیب مخلوط با لوبیا چشم بلبلی به دلیل بیش‌تر بودن طول و قطر ساقه نیشکر بود.

در آزمایشی، آفتابگردان (*Helianthus annuus*)، گندم (*Triticum aestivum*)، نخود (*Cicer arietinum* L.)، عدس (*Lens culinaris*) و سیر (*Allium sativum*) به‌عنوان گیاه فرعی به‌صورت جداگانه با نیشکر به‌عنوان گیاه اصلی، به‌صورت مخلوط کشت شدند. عملکرد نیشکر در کشت‌های مخلوط نسبت به کشت خالص نیشکر کاهش یافت. اما به هرحال به‌دلیل برداشت محصول گیاه فرعی، درآمد حاصل از کشت مخلوط بیش‌تر بود (شافینزیر و همکاران، ۲۰۰۲).

در پژوهشی گزارش شد عملکرد نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) در کشت مخلوط با لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*)، به ترتیب ۱۷/۲ درصد و ۱۵/۸ درصد بیش‌تر از کشت خالص نیشکر و مخلوط نیشکر - ماش (*Vigna radiata*) شد. همچنین تعداد و طول ساقه‌های قابل آسیاب در نیشکر درکشت مخلوط با لوبیا سبز در مقایسه با کشت خالص نیشکر افزایش داشت (شیلپا و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین عملکرد نیشکر از ۱۱۱/۸ تن در هکتار در کشت خالص نیشکر به ۱۳۰/۵ تن در هکتار در کشت مخلوط با نخود (*Cicer arietinum* L.)، افزایش یافت (رسول و همکاران، ۲۰۱۱). در تحقیقی اعلام شد کشت مخلوط نیشکر با عدس (*Lens culinaris*)، خردل هندی (*Brassica juncea*) و لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris*) باعث پایداری اقتصادی در آن اکوسیستم زراعی شد (سوریاوانشی و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین وجود سویا و لوبیا چشم بلبلی در سیستم کشت

مخلوط با نیشکر از طریق تثبیت نیتروژن در خاک و همچنین بهبود یافتن خصوصیات شیمیایی خاک باعث افزایش رشد و عملکرد نیشکر می‌شوند (خنداگاو، ۲۰۱۰).

نتایج یک پژوهش دو ساله در مصر که در مورد کشت مخلوط نیشکر با سویا با نسبت‌های ۱۰۰ درصد نیشکر به‌همراه ۳۰ و ۴۰ درصد سویا انجام شد، نشان داد که بیش‌ترین عملکرد نی در نیشکر (۵۲/۸۸ تن در هکتار) و بیش‌ترین عملکرد دانه سویا (۴۹۱/۸۸ کیلوگرم در هکتار) در مخلوط ۱۰۰ درصد نیشکر و ۴۰ درصد سویا در کشت یک ردیفه به‌دست آمد (مورسی و همکاران، ۲۰۱۷).

نوع و درجه رقابت بین گیاهان در زراعت‌های مخلوط متفاوت است و در صورت مختلف بودن ژنوتیپ‌های مخلوط شونده و تراکم های آن‌ها این مساله بارزتر است. مؤسسه بین المللی تحقیقات برنج در فیلیپین برای رفع مشکلات منتج از تنوع محصول در ارزیابی کشت مخلوط استفاده از شاخص نسبت برابری زمین (LER)[1] را پیشنهاد کرد. این شاخص که بر مبنای تعمیم عملکرد در کشت مخلوط به کشت خالص محاسبه می شود، مهم‌ترین شاخصی است که در حال حاضر برای ارزیابی میزان سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بکار می‌رود. نسبت برابری زمین عبارت است از مقدار زمین لازم برای کشت خالص گیاهان مخلوط تا عملکردی معادل عملکرد آن‌ها در مخلوط به‌دست آید (امین و همکاران، ۱۳۸۷). به‌منظور استفاده از شاخص عملکرد نسبی کل، ابتدا عملکرد نسبی یک گونه در مخلوط با فرض اینکه تراکم گیاهی آن معادل کشت خالص است، از نسبت عملکرد آن در مخلوط به کشت خالص محاسبه می‌شود، سپس عملکرد نسبی کل از حاصل جمع عملکردهای نسبی گونه‌های تشکیل دهنده به‌دست می‌آید.

بررسی‌ها نشان داده است که معمولاً عملکرد مخلوط بیش از کشت خالص بوده و محاسبه نسبت برابری زمین نشان می دهد که میزان اضافه محصول حدود ۲۲ درصد است. چرا که وقتی دو رقم با مشخصات متفاوت به صورت مخلوط کشت می‌شوند، از عوامل محیطی بیش‌تر استفاده می‌کنند (مظاهری و پیغمبری، ۱۳۸۱). هنگامی که نسبت برابری زمین بیش‌تر از یک باشد نشان دهنده روابط

1. Land Equivalent Ratio

متقابل مثبت بین اعضای گیاهی مخلوط نسبت به خالص بوده و بیان کننده برتری کشت مخلوط نسبت به خالص می‌باشد، در شرایطی که نسبت برابری زمین کم‌تر از یک باشد، به ویژه چنانچه اعضای مخلوط همگی کم‌تر از یک باشد، احتمالاً روابط متقابل منفی به‌وجود آمده است. در این حالت عملکرد مخلوط در مقایسه با کشت خالص کاهش خواهد یافت و بیان کننده برتری کشت خالص است و بالاخره هنگامی که نسبت برابری زمین برابر یک باشد، بیان کننده این مطلب است که زمین مورد نیاز برای هر دو محصول در کشت مخلوط با کشت خالص برابر است (مظاهری، ۱۳۷۳).

برای محاسبه شاخص نسبت برابری زمین، ابتدا عملکرد نسبی هر جز از مخلوط محاسبه می‌شود. عملکرد نسبی از نسبت عملکرد هر جزء در سطحی که در مخلوط اشغال کرده (پس از تبدیل به عملکرد در یک هکتار از کشت مخلوط) به بیشینه عملکرد کشت خالص آن در یک هکتار زمین به‌دست می‌آید. حاصل جمع عملکردهای نسبی تمام گونه‌های موجود در مخلوط را نسبت برابری زمین می‌گویند. نسبت برابری زمین در صورت برتری کشت مخوط، بیش‌تر از یک خواهد بود (جوانشیر و همکاران، ۱۳۷۹).

ستوهیان (۱۳۷۹) از مخلوط ۷۵ درصدی ذرت و ۲۵ درصدی خیار در تراکم زیاد توانست سودمندی قابل ملاحظه‌ای به‌دست آورد، نسبت برابری زمین در این مطالعه ۱/۸۵ گزارش شد. همچنین نسبت دو ردیف سویا و یک ردیف سورگوم با سطح کودی ۱۸ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در منطقه کرج بیش‌ترین سودمندی (LER = ۱/۴۲) را داشت (بازگشا و امینی بهبهانی،۱۳۸۳). نتایج مشابهی از مزیت کشت مخلوط سورگوم با سویا و لوبیا چشم بلبلی نسبت به کشت خالص آن‌ها توسط اقبال و همکاران (۲۰۱۹) گزارش شد. همچنین گیتا و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی اعلام کردند کشت مخلوط نیشکر با حبوبات باعث افزایش بهره‌وری از سطح زیر کشت گردید.

نتایج پژوهشی در مورد کشت مخلوط نیشکر با سیب زمینی شیرین، سورگوم و چغندرقند با نسبت‌ها و فاصله ردیف‌های کشت متفاوت، نشان داد بیش‌ترین میزان LER (۱/۴۷) در مخلوط

نیشکر– سیب زمینی شیرین به نسبت ۱:۲ با فاصله خطوط کشت ۱۵۰ سانتی‌متری برای نیشکر حاصل شد (شیلپا و همکاران، ۲۰۱۸).

هوگار و پالید (۲۰۰۸) طی آزمایشی گزارش دادند که میزان LER در کشت مخلوط ذرت با لوبیا چشم بلبلی ۱/۳۵ شد. در آزمایش دیگری میزان LER در کشت مخلوط ذرت با سویا ۱/۶۲ گزارش شد (اولاه و همکاران، ۲۰۰۷).

نتایج یک پژوهش دو ساله در مصر که در مورد کشت مخلوط نیشکر با سویا با نسبت‌های ۱۰۰ درصد نیشکر به‌همراه ۳۰ و ۴۰ درصد سویا انجام شد، نشان داد که بیش‌ترین میزان LER (۱/۵۶) در مخلوط ۱۰۰ درصد نیشکر به‌همراه ۴۰ درصد سویا در کشت یک ردیفه به‌دست آمد (مورسی و همکاران، ۲۰۱۷).

۲-۷- اهمیت اقتصادی کشت مخلوط

از بعد اقتصادی نیز، کشت مخلوط دارای اهمیت است. به‌طوری‌که، این نظام کشت در برخی از مطالعات انجام شده به عنوان یک روش سودآور و مناسب مورد توجه قرار گرفته است. نظام کشت مخلوط زمینه را برای استفاده مناسب و مؤثر از نهاده‌ها، افزایش بازده اقتصادی فعالیت‌های زراعی، کاهش پیامدهای نامطلوب، کاهش قیمت محصولات و نیز، کاهش خطرات شرایط نامساعد طبیعی و شیوع آفات و بیماری‌ها فراهم می‌کند. شواهد زیادی از سودمندی کشت مخلوط با توجه به حصول عملکرد بیش‌تر نسبت به بالاترین عملکرد کشت خالص اجزای مخلوط وجود دارد (کوپاهی، ۱۳۸۲). در کشت مخلوط به دلیل متفاوت بودن سیستم ریشه ای، فرم و مراحل رشد و نمو گیاهان همراه، به‌طور معمول زمینه بهتری برای بهره‌برداری از عوامل محیطی در زمین و هوا فراهم می‌شود. از این رو میزان مطلوب تراکم در مخلوط به طور معمول بیش از تراکم هر گیاه در کشت خالص است (مظاهری، ۱۳۷۳).

نتایج پژوهشی در مورد کشت مخلوط نیشکر با سیب زمینی شیرین، سورگوم و چغندرقند با نسبت‌ها و فاصله ردیف‌های کشت متفاوت، نشان داد در میان ترکیب‌های گوناگون کشت‌های مخلوط،

بیش‌ترین میزان سود (شکر استحصالی (RS)) ناخالص و سود خالص در مخلوط نیشکر– چغندرقند به نسبت ۱:۲ به‌ترتیب (RS ۳۴۲۱۹۷ h^{-1}) و (RS ۲۳۱۱۰۳ h^{-1}) به‌دست آمد (شیلپا و همکاران، ۲۰۱۸).

نتایج یک پژوهش دو ساله در مصر نشان داد که کم‌ترین درصد کاهش شکر (Reducing sugars) (۰/۳۹ درصد) و بیش‌ترین میزان بازیابی شکر (Sugar recovery)، ۱۲/۵۵ درصد در کشت مخلوط ۱۰۰ درصد نیشکر به‌همراه ۳۰ درصد سویا در کشت یک ردیفه به‌دست آمد (مورسی و همکاران، ۲۰۱۷).

نتایج یک پژوهش نشان داد، درآمد خالص حاصل از کشت مخلوط نیشکر با سیر (*Allium sativum*)، کلم (*Brassica oleracea*) و نخود فرنگی (*Pisum sativum*) ۱/۷۴ تا ۲/۶۶ برابر نسبت به کشت خالص نیشکر شد (کائور و همکاران، ۲۰۱۵).

۲-۸- اهمیت سیستم کشت مخلوط در برابر علف‌های هرز

وجود علف‌های هرز در سیستم‌های زراعی همه ساله خسارت‌های قابل توجهی بر کشاورزان تحمیل می‌کند. بیولوژی، اکولوژی و ساختار جمعیت علف‌های هرز و علاوه بر این تنوع بسیار زیاد این ویژگی‌ها در بین گونه‌های مختلف علف‌های هرز و عدم اطلاع انسان از رفتارهای این گیاهان کنترل کامل آن‌ها را دچار پیچیدگی خاص کرده است. از نظر زراعی، علف‌های هرز گیاهانی هستند که به‌طور طبیعی در اکوسیستم‌های زراعی می‌رویند و برای سیستم‌های کشاورزی مضر هستند. علف‌های هرز ممکن است باعث افزایش خسارت آفات و بیماری‌ها، کاهش کیفیت گیاهان زراعی و حتی خسارت به سلامتی حیواناتی که از آن‌ها تغذیه می‌کنند شوند. مهم‌ترین خسارت علف‌های هرز به گیاهان زراعی، کاهش عملکرد آن‌ها از طریق رقابت در جذب مواد غذایی و نهاده‌های رشد می‌باشد. به‌طور کلی بیش‌ترین نیاز برای مواد غذایی و آب به وسیله‌ی علف‌های هرز هم زمان با نیاز شدید گیاه زراعی اتفاق می‌افتد. به‌علاوه تعدادی از علف‌های هرز در ایجاد کانوپی خیلی سریع‌تر از گیاه زراعی

عمل می‌کنند. بنابراین در رقابت برای دریافت نور بسیار موفق‌تر خواهند بود که این امر نیز به سهم خود موجب کاهش عملکرد گیاه زراعی می‌شود (رستگار، ۱۳۸۶).

در کشاورزی مدرن کنترل شیمیایی یک روش برای مهار علف‌های هرز محسوب می‌شود. استفاده از علفکش‌ها علاوه بر اینکه موجب مقاوم شدن بسیاری از علف‌های هرز به آن‌ها شده است، باعث ایجاد خطرات زیست محیطی و خسارت شدید جانبی بر زنجیره‌ی حیاتی در اکوسیستم‌های زراعی و طبیعی نیز شده است. همچنین موجب افزایش هزینه‌های تولید می‌شود. به منظور کاهش این اثرات نامطلوب، یک تجدید نظر اساسی در خط مشی تولید محصولات زراعی و حرکت به سوی کشاورزی بدون نهاده‌های شیمیایی و مصنوعی بوجود آمده است. با توجه به بررسی‌های به عمل آمده، به منظور حفظ و پایداری تولید و برای جلوگیری، یا کندکردن روند تخریب اکوسیستم‌ها، به نظر می‌رسد ضروری است که برای مدیریت علف‌های هرز از روش‌های تلفیقی باید استفاده کرد. یکی از این روش‌ها استفاده از گیاهان پوششی به صورت کشت مخلوط با گیاهان زراعی می‌باشد (موسائی سنجره‌ئی، ۱۳۹۶).

در منابع مختلف، کنترل علف‌های هرز معمولاً به‌عنوان یکی از مزایای کشت مخلوط برشمرده شده است. به نظر می‌رسد نحوه عمل گیاه زراعی در رقابت با علف هرز به صورت ایجاد محیطی می‌باشد که موجبات کاهش بیوماس علف هرز را فراهم ساخته و گیاه زراعی ثانوی را جایگزین می‌سازد. آشناترین مثال درمورد تأثیر کشت مخلوط بر روی علف‌های هرز کاشت گیاهان پوششی در بین ردیف‌های کشت خالص می‌باشد (موسائی سنجره‌ئی، ۱۳۹۶). لیمن و همکاران (۲۰۰۴)، ۹ تحقیق و مطالعه انجام شده بر روی ۲۳ ترکیب مختلف کشت گیاهان پوششی و گیاه زراعی را مورد بررسی قرار داده است. به استثنای ۳ ترکیب از این ۲۳ حالت، بقیه به کاهش معنی‌دار علف‌های هرز منجر شد. منابع موجود در مورد گیاهان پوششی، به‌طور قاطع، مزایای قابل ملاحظه‌ی استفاده از گیاهان پوششی را برای کنترل علف‌های هرز تأیید می‌کنند. لگوک و همکاران (۲۰۱۴)، با تحقیقات خود در نیجریه به این نتیجه رسیدند که کشت مخلوط ذرت و نخود قادر به کنترل قطعی علف‌های هرز در اوایل فصل

زراعی نیستند، ولی اگر کشت مخلوط آن‌ها در اواخر فصل کاشت انجام شده باشد به طور معنی‌داری موجب کاهش علف‌های هرز می‌گردد.

رقابت علف‌های هرز با گیاهان زراعی یکی از عمده ترین دلیل کاهش عملکرد گیاهان زراعی و در نتیجه کاهش تولیدات کشاورزی می‌باشد (سیدی و همکاران،، ۱۳۹۱). از این رو، یکی از راه‌های افزایش تولید، جلوگیری از خسارت علف‌های هرز می‌باشد. علف‌های هرز باعث کاهش بازده محصول از طریق رقابت برای سه منبع آب، نور و مواد غذایی می‌شوند. معمولاً بیش‌ترین نیاز به مواد غذایی و آب برای علف‌هرز هم زمان با نیاز گیاه زراعی رخ می‌دهد. علاوه بر این، برخی از علف‌های هرز قادر به تولید پوشش گیاهی، با سرعت بیش‌تری نسبت به گیاه زراعی هستند و درنتیجه به‌طور مؤثری برای نور رقابت می‌کنند (زیمدهل، ۱۹۹۳). بنابراین، با توجه به کاهش در عملکرد محصول تولید شده، کنترل علف‌های هرز لازم است. سازوکار کنترل علف‌های هرز از وجین دستی یا کنترل به‌وسیله شخم ساده به کنترل شیمیایی توسعه پیدا کرده است. این روش کنترل، خطرات سلامت ذاتی و زیست محیطی را در ارتباط با برخی از علف‌کش‌ها به دنبال دارد و با استفاده از این رویکرد کنترل علف هرز، هزینه‌ها افزایش می‌یابد. با توجه به اثرات سوء سموم بر محیط زیست و مقاومت علف‌های هرز به علف‌کش‌ها، لزوم گرایش به سمت کنترل غیر شیمیایی علف‌های هرز بیش از همیشه احساس می‌شود. یکی از تمهیدات مهم در کنترل علف‌های هرز از دیدگاه کشاورزی پایدار، استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط است (لیبمن و داویس، ۲۰۱۰).

در پژوهشی در نیجریه تأثیر کشت مخلوط نیشکر– سویا، نیشکر- کنجد و نیشکر- بامیه روی کنترل علف‌های هرز در مقایسه با کشت خالص نیشکر بررسی شد و نتایج نشان دادند کم‌ترین تراکم و وزن خشک علف‌های هرز در مخلوط نیشکر- سویا و نیشکر- کنجد به‌همراه استفاده از سموم شیمیایی دیورون و دیمتامترین به‌دست آمد و این دو ترکیب کشت مخلوط به ترتیب باعث کاهش ۳۱ و ۱۱ درصد زیست توده علف‌های هرز نسبت به تیمارهای دیگر مخلوط شدند (ندروبو و همکاران، ۲۰۱۰).

نتایج یک پژوهش در مورد کنترل غیر شیمیایی علف‌های هرز در کشت مخلوط نیشکر- لوبیا چشم بلبلی، نیشکر- ماش سیاه و نیشکر- ماش سبز نشان داد تعداد و وزن خشک اویارسلام درکشت خالص نیشکر و کشت‌های مخلوط نیشکر با لوبیا چشم بلبلی، ماش سیاه و ماش سبز به ترتیب ۸/۳۱، ۱/۵۸، ۷/۰۹ و ۳/۶ عدد در متر مربع و ۲/۲۱، ۰/۶۱، ۱/۵۶ و ۱/۴ گرم در متر مربع بود. تعداد و وزن خشک پنجه مرغی در تیمارهای ذکر شده به ترتیب ۴/۲۸، ۱/۸۵، ۳/۴۲ و ۲/۸ عدد و ۱/۱، ۰/۷۵، ۱/۱ و ۱/۰۱ گرم در متر مربع بود. همچنین تعداد و وزن خشک قیاق در تیمارهای مذکور به ترتیب ۲/۱۸، ۱/۶۱، ۰/۸۶ و ۱/۹۱ عدد و ۰/۷۸، ۰/۶۲، ۰/۲۳ و ۰/۷۸ گرم در متر مربع بود. بنابراین نتیجه گرفته شد که کشت مخلوط نیشکر با گیاهان دیگر از طریق کاهش علف‌های هرز می‌تواند به افزایش عملکرد نی در نیشکر کمک کند به نحوی که عملکرد نیشکر در کشت خالص، کشت مخلوط نیشکر با لوبیا چشم بلبلی، ماش سیاه و ماش سبز به ترتیب ۷۷، ۱۰۸/۴، ۷۷/۴ و ۷۷/۸ تن در هکتار به‌دست آمد (رنا و همکاران، ۲۰۰۴).

نتایج کنترل علف‌های هرز در پژوهشی که روی کشت مخلوط نیشکر با سیر، کلم و نخود فرنگی انجام شد، نشان داد نتیجه‌ی استفاده از سموم شیمیایی اکسیفلوورفن به میزان ۰/۲۳۴ کیلوگرم در هکتار و پاندیماتالین به میزان ۰/۷۵ کیلوگرم در هکتار در کنترل علف‌های هرز، مشابه کاهش وزن خشک علف‌های هرز در اثر تیمارهای کشت مخلوط نیشکر با سیر، کلم و نخود فرنگی در شرایط عدم استفاده از سموم شیمیایی بود (کائور و همکاران، ۲۰۱۵).

آزمایشی بر روی کشت مخلوط نیشکر – شبدر انجام شد که تیمارهای آن شامل الگوی کشت به‌عنوان کرت اصلی (کشت شبدر بین ردیف‌های نیشکر و کشت شبدر بین و داخل ردیف‌های نیشکر) و میزان بذر مصرفی شبدر به‌عنوان کرت فرعی (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوگرم بذر شبدر در هکتار) بودند. تفاوت بین دو سطح در تیمار الگوی کشت شبدر، روی وزن خشک علف‌های هرز معنی‌دار نشد اما تفاوتی در حد ۸۱/۹۴ درصد بین وزن خشک علف‌های هرز در بین کم‌ترین و بیش‌ترین سطح بذر مصرفی شبدر مشاهده شد (۹۱۰/۳ و ۷۰/۶ گرم بر متر مربع وزن خشک علفهای هرز به ترتیب در

استفاده از ۱۰ کیلوگرم و ۴۰ کیلوگرم بذر شبدر). هر چه بذر مصرفی شبدر بین ردیف‌های کشت نیشکر بیش‌تر شد، سایه اندازی و اشغال فضای خالی بین ردیف‌های کشت نیشکر و درنتیجه کاهش بیوماس علف‌های هرز بیش‌تر شد (حسن نژاد خسرو آبادی و همکاران، ۱۳۸۹).

در سیستم کشاورزی پایدار، به منظور حفظ و پایداری تولید و برای جلوگیری، یا کندکردن روند تخریب اکوسیستم‌ها، ضروری است که برای مدیریت علف‌های هرز از روش‌های تلفیقی استفاده شود. یکی از این روش‌ها استفاده از گیاهان لگوم به صورت کشت مخلوط با گندمیان می‌باشد. کشت مخلوط به دلیل رقابت گیاهان زراعی با علف‌های هرز از رشد و گسترش آن‌ها ممانعت به عمل می‌آورد و این امر با وجود عدم کاربرد علف کش، به افزایش تولید در این نوع سیستم کشت منجر می‌شود (فوینتی و همکاران، ۲۰۱۴). گیتا و همکاران (۲۰۱۵) گزارش دادند کشت مخلوط نیشکر با حبوبات باعث کاهش چشم‌گیری در تراکم علف‌های هرز در بین بوته‌های نیشکر نیز شد.

۲-۹- اهمیت کشت مخلوط از نظر بهره‌وری مصرف آب

از بین منابع مورد استفاده در کشاورزی، بیش‌ترین مشکل، مربوط به کمبود نهاده پراهمیت آب است (صبوحی و همکاران.، ۱۳۸۹). راندمان آبیاری در ایران نزدیک به ۳۲ درصد و کارایی مصرف آب هفت دهم کیلوگرم عملکرد اقتصادی در متر مکعب است و برای بهبود استفاده از منابع آب لازم است کارایی مصرف آب به حدود یک و سه دهم کیلوگرم در متر مکعب برسد (قائمی و صدری، ۱۳۹۰). کمبود آب یک مشکل معمول در اکثر مناطق تولید نیشکر در دنیا می‌باشد و عدم تأمین آب کافی و پایین بودن کارایی مصرف آب در مزارع کشت نیشکر که حدود ۶۰ درصد قند جهان و مقدار قابل توجه‌ای بیواتانول را تأمین می‌کند باعث کاهش شدید در عملکرد نیشکر خواهد شد (سیلوا و همکاران، ۲۰۱۳). مدیریت آبیاری به عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر کارایی مصرف آب نسبت به سایر نهاده‌ها شناخته شده است. الگوهای جذب آب در گیاهانی که به صورت مخلوط کشت می‌شوند با کشت خالص متفاوت است (خرمی وفا و همکاران، ۱۳۹۰). با استفاده از کشت مخلوط می‌توان از شدت غیر قابل پیش‌بینی تنش خشکی و طول دوره آن کاست و افت عملکرد را کاهش داد (خواجه

خضری و همکاران، ۱۳۹۷). کشت مخلوط ردیفی می‌تواند مقدار آب قابل دسترس گیاه و بهره‌برداری از آن را از طریق تأمین پوشش گیاهی، بهبود نفوذ پذیری خاک (به‌وسیله محافظت آن از برخورد قطرات باران) و افزایش نسبت تعریق به تبخیر و تعرق، افزایش دهد (کوچکی، ۱۳۷۳). درکشت مخلوط شبدر و نیشکر از آنجایی که ماکزیمم نیاز آبی نیشکر در خلال فصل رشد در بهار و تابستان می‌باشد، می‌توان از طریق این کشت مخلوط استرس کم آبی و خشکی را به حداقل رساند (حسن نژاد خسروآبادی و همکاران، ۱۳۸۹).

کارایی مصرف آب در سیستم‌های کشت مخلوط گندم- لوبیا سبز ۱۸ تا ۹۹ درصد بیش‌تر از کشت خالص بود زیرا در این کشت مخلوط، گندم و لوبیا از آب به‌خوبی استفاده کردند و کارایی مصرف آب نسبت به کشت خالص بالا رفت (کایهونگ و همکاران، ۲۰۱۵). در تحقیقی گزارش شد کشت مخلوط نیشکر با پیاز، سیر، سیب زمینی و کلم با سیستم آبیاری فارویی (همانند مطالعه کنونی) به ترتیب باعث ۲۶، ۲۶، ۴۶ و ۳۰ درصد افزایش بهره‌وری آب نسبت به کشت خالص نیشکر شد (تریپات و لاوند، ۲۰۰۵). در تحقیقی دیگر کارایی مصرف آب در کشت مخلوط نیشکر با نخود ۱۸/۴۸ درصد بیش‌تر از کشت خالص نیشکر شد (کشیرسگر، ۲۰۰۸). در تحقیقی گزارش شد که تلقیح سورگوم شیرین، ذرت، آفتابگردان با میکوریزا از طریق افزایش ماده خشک در تیمارهای تلقیح شده با قارچ نسبت به شاهد، باعث افزایش کارایی مصرف آب شد (ایولنستین و همکاران، ۲۰۱۷).

۲-۱۰- اهمیت کشت مخلوط از نظر کارایی مصرف نور

یکی از مسایلی که در کشت مخلوط باید مورد توجه قرار گیرد، کارایی بیولوژیک کشت مخلوط است که میزان انرژی تابشی تبدیل شده به انرژی بیولوژیکی قابل برداشت در طی فرآیندهای مختلف در گیاه می‌باشد (یاهوزا، ۲۰۱۱). کشت مخلوط یک روش مناسب برای افزایش استفاده بهینه از نور خورشید می‌باشد به علاوه بسیاری از مطالعات مبنی بر افزایش استفاده از انرژی خورشیدی در کانوپی کشت مخلوط انجام گرفته است (بلک و اونگ، ۲۰۰۰، تسوبو و همکاران، ۲۰۱۰). در کشت مخلوط استفاده ترکیبی از گیاهان مختلف به شکل هندسی کانوپی این گیاهان بسیار وابسته بوده و علاوه بر

آن شرایط محیطی، مدیریت، طول دوره رشد گیاه، مسایل اقتصادی و ثبات و پایداری نیز مؤثر می‌باشند (کونولی و همکاران، ۲۰۰۱). ضریب استهلاک نوری (K) نشانگر نرخ کاهش نور در جامعه‌ی گیاهی است. در آزمایشی گزارش داده شد که در تمامی تیمارهای کشت مخلوط، تجمع مادهٔ خشک ذرت و لوبیا چشم بلبلی ارتباط خطی با میزان تشعشع فعال فتوسـنتزی تجمعی داشت. شیب این ارتباط بیانگر کارایی مصرف نور بود که میانگین آن در طول فصل رشد برای ذرت و لوبیا چشم بلبلی به ترتیب از ۱/۶۵ و ۰/۹۸ در تیمار کشت خالص تا ۱/۹۴ و ۱/۱۵ گرم بر مگاژول در تیمار کشت مخلوط متغیر بود (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۸). چنانچه ذرت به‌عنوان یک گیاه چهار کربنه با کارایی فتوسنتز بالا، در کنار ردیف‌های گیاهان کوتاه‌تری مثل لوبیا چشم بلبلی و ریز دانه‌ها قرار بگیرد به دلیل کاهش استهلاک و هدر رفت نور، کارایی مصرف نور نسبت به کشت خالص بیش‌تر می‌شود. که این موضوع باعث افزایش عملکرد ماده خشک در گیاه می‌شود (قنبری و همکاران، ۲۰۱۰). لازم به ذکر است نیشکر نیز یک گیاه چهار کربنه با کارایی فتوسنتز بالا می‌باشد.

۲-۱۱- اهمیت کشت مخلوط از نظر حاصلخیزی خاک

کشاورزان در جهت تهیه به موقع نیتروژن قابل جذب برای گیاه از یک سو و مدیریت خاک از نظر ذخیره نیتروژن از سوی دیگر همیشه با مشکلات عدیده‌ای روبرو هستند. از جمله مزایای قابل توجه در کشت مخلوط، بهبود حاصلخیزی خاک می‌باشد زیرا در این روش عناصر مختلف خاک مورد تغذیه گیاهان متفاوت قرار می‌گیرند و از فقیر شدن خاک جلوگیری می‌گردد ولی در سیستم تک کشتی به دلیل استفاده از یک گونه گیاهی و بهره‌گیری هر ساله گیاه از عناصر خاص، خاک از لحاظ آن عنصر فقیر می‌گردد و دچار کمبود می‌شود (خواجه پور، ۱۳۹۳). همچنین سیستم‌های ریشه‌ای گونه‌های متفاوت گیاهی، به اعماق مختلفی از خاک نفوذ کرده و با توجه به عمق خاک در آن قسمت دارای تهویه بیش‌تر به دلیل فعالیت میگروارگانیسم‌ها و همچنین ایجاد خلل و فرج توسط نفوذ ریشه می‌شود و از فشرده شدن در خاک در یک عمق جلوگیری می‌گردد (نصیری محلاتی و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین پس از برداشت محصولات در کشت مخلوط به دلیل باقی ماندن بقایای گیاهی

مختلف در روی زمین، منابع مناسبی از مواد غذایی مختلف به خاک برگردانده می‌شود که با ایجاد هوموس، موجب حاصلخیزی بهتر خاک و غنی سازی آن می‌گردد (خواجه پور، ۱۳۹۳). محیط خاک از راه افزایش مواد آلی در خاک مثل بقایای محصولات و بقایای لاشه‌های حیوانی در کودهای حیوانی، اضافه نمودن کودهای نیتروژنی مثل کودهای نیترات، آمونیوم، اوره و غیره و از راه تثبیت نیتروژن که در طبیعت به وقوع می‌پیوندد و شامل تثبیت بیولوژیک و تثبیت غیر بیولوژیک نیتروژن هوا می‌باشد، سرشار از نیتروژن می‌گردد (حسن نژاد خسروآبادی و همکاران، ۱۳۸۹). در مطالعاتی روی کشت مخلوط برخی گیاهان با بقولات مشخص شد که تثبیت نیتروژن بقولات باعث افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود. افزایش ماده‌ی آلی خاک، نیز از جمله کارکردهای مثبت این نظام ها ذکر شده است (عشقی زاده و همکاران، ۱۳۸۶).

۲-۱۲- اهمیت قارچ میکوریزا و باکتری رایزوبیوم در کشت مخلوط

کودهای بیولوژیک از جمله عواملی هستند که می‌توانند توان رقابتی گیاهان را در کشت مخلوط در جذب آب و مواد غذایی تحت تأثیر قرار دهند و موجب افزایش سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌گردد. استفاده از کودهای بیولوژیک از جمله راه کارهای بهبود تأمین عناصر غذایی در کشاورزی پایدار می‌باشند. کودهای بیولوژیک انواع مختلفی دارند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن مولکولی هوا و قارچ‌های میکوریزایی اشاره کرد. در اثر تلقیح قارچ‌های میکوریزا آرباسکولار، انتقال مواد فتوسنتزی از اندام هوایی میزبان به سمت ریشه‌ها افزایش می‌یابد. در واقع اندام‌های قارچ به عنوان مخزن دریافت کربوهیدرات‌های فتوسنتزی گیاه عمل کرده که سبب تحریک فعالیت فتوسنتزی به میزان بیش‌تری می‌گردد که این خود به دلیل افزایش تولید هورمون جیبرلین در گیاه میزبان است (دمیر، ۲۰۰۴). با گسترش کلونیزاسیون قارچ و رشد هیف‌های آن، جذب عناصر و انتقال آن‌ها از خاک به سمت ریشه‌های میزبان افزایش می‌یابد. در این صورت می‌توان انتظار افزایش عملکرد دانه در گیاه را نیز داشت (هایوس و همکاران، ۲۰۰۷).

بهره‌گیری از قارچ‌های آربسکولار میکوریزا و باکتری‌های رایزوبیوم و همچنین کشت مخلوط غلات با بقولات، می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی و گام مهمی در رسیدن به کشاورزی پایدار باشد (اسمیت و رید، ۲۰۰۸). قارچ‌های آربسکولار میکوریزا از عوامل ضروری در سیستم‌های زراعی به شمار می‌روند که با ریشه‌ی بسیاری از گیاهان هم‌زیستی دارند. اهمیت قارچ‌های آربسکولار میکوریزا در کشاورزی بر پایه نقش ویژه آن به‌عنوان یک حلقه ارتباطی بین خاک و گیاه استوار است (اسمیت و رید، ۲۰۰۸). قارچ‌های آربسکولار میکوریزا نقش مهمی در بهبود تغذیه و رشد گیاهان دارند به نحوی که قارچ‌های آربسکولار میکوریزا با داشتن شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح، سرعت جذب همچنین سنتز آنزیم فسفاتاز کارایی گیاهان را در جذب آب و عناصر غذایی به ویژه فسفر، ازت، پتاسیم، روی، مس، گوگرد، کلسیم و آهن افزایش داده و موجب بهبود رشد آن‌ها می‌شود (بریتو و همکاران، ۲۰۰۸، سیدیکیو و همکاران، ۲۰۰۸).

شواهد زیادی وجود دارد که نشانگر این است که میکوریزا می‌تواند سبب تغییراتی در روابط آبی گیاه و بهبود مقاومت به خشکی و یا تحمل در گیاه میزبان شود. افزایش هدایت هیدرولیکی آب در درون گیاهان میکوریزایی به شرح ذیل می‌باشد.

۱. افزایش مجموع سطح ریشه به دلیل ایجاد پوشش وسیع میسیلیومی در منطقه ریشه و تارهای کشنده.

۲. نفوذ هیف به درون کورتکس ریشه و از آن‌جا به منطقه آندودرم یک مسیر کم مقاومی را در عرض ریشه برای حرکت آب فراهم می‌آورد و آب با مقاومت کم‌تری در عرض ریشه تا رسیدن به آوند چوبی روبرو می‌شود.

۳. هیف از راه افزایش جذب عناصر غذایی مقاومت به انتقال آب را در درون ریشه کاهش می‌دهد.

۴. میکوریزا رشد ریشه را افزایش داده و به‌دنبال آن یک سیستم گسترده از ریشه را برای جذب آب فراهم می‌نماید (اسمیت و رید، ۲۰۰۸).

نتایج مطالعه‌ای که در سه ناحیه مختلف در جنوب اندونزی روی چگونگی هم‌زیستی میکوریزا با رقم‌های مختلفی از نیشکر انجام شد، نشان داد که ۱۰ گونه مختلف از میکوریزا که متعلق به سه خانواده‌ی Glomaceae، Acaulosporaceae و Gigasporaceae بودند توانایی هم‌زیست شدن با نیشکر را داشتند. فراوانی گونه‌های متعلق به خانواده Glomaceae در هم‌زیستی با نیشکر بیش‌تر از دو خانواده دیگر بود (کومالاوایتی و همکاران، ۲۰۱۴).

در مطالعه‌ای تأثیر مثبت میکوریزا در تلقیح با نیشکر (رقم Cp57) روی افزایش ارتفاع ساقه نیشکر به میزان سه سانتی‌متر نسبت به تیمار عدم تلقیح با میکوریزا گزارش شد (مقامیان زاده، ۱۳۹۱). در تحقیقی اعلام شد که تلقیح نیشکر با میکوریزا به میزان ۱۸/۵ کیلوگرم در هکتار مایه تلقیح باعث افزایش ۲۸/۹ درصد ارتفاع ساقه و ۲۲/۸ درصد قطر میانگره نسبت به شاهد شد (سوریندران، ۲۰۱۳). در تحقیقی گزارش شد که تلقیح نیشکر با میکوریزا باعث افزایش ۴۶ درصد عملکرد ساقه در نیشکر شد (آمبروسانو و همکاران، ۲۰۱۰).

یافته‌های دتا و کالکرنی (۲۰۱۲) درمورد نیشکر با یافته‌های علی اصغر زاده و همکاران (۱۳۸۴) که در آن رابطه منفی بین تراکم هاگ قارچ و غلظت فسفر قابل دسترس، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و غیره گزارش شده است مطابقت دارد. کاهش هاگ قارچ با افزایش فسفر قابل دسترس در گیاه نیشکر می‌تواند بیان کننده این واقعیت باشد که فسفر زیاد می‌تواند مانع کلونیزاسیون ریشه بشود (دتا و کالکرنی، ۲۰۱۲). در پژوهشی ارتباط بین خاک و عناصر شیمیایی موجود در برگ نیشکر (رقم N12) تحت تأثیر تیمار تلقیح با میکوریزا در دو سطح (مقدار کم ۲۶-۹ درصد میکوریزا و مقدار زیاد ۵۳-۳۲ درصد میکوریزا) مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد در تیمار تلقیح با میکوریزا به مقدار ۵۳-۳۲ درصد، ارتباط بین pH خاک و کلسیم و نیتروژن در برگ نیشکر، ارتباط بین نسبت کلسیم به منیزیم خاک و نیتروژن در برگ نیشکر، ارتباط بین سدیم خاک و پتاسیم در برگ نیشکر مثبت بود در حالیکه ارتباط بین نسبت کلسیم به منیزیم خاک و پتاسیم در برگ نیشکر منفی بود. همچنین اعلام شد میکوریزا باعث افزایش سرعت فتوسنتز در برگ نیشکر شد (جمال و همکاران، ۲۰۰۶).

نتایج پژوهشی در مورد استفاده از میکوریزا در تلقیح با نیشکر، نشان داد تلقیح نیشکر با ۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار مایه تلقیح میکوریزا به‌همراه مصرف ۷۵ درصد از فسفر توصیه شده (۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره) باعث افزایش ۷ تا ۱۲ تن در هکتار عملکرد ساقه در نیشکر در مقایسه با تیمار عدم تلقیح با میکوریزا شد (وینتر، ۲۰۱۲).

باکتری‌های رایزوبیوم به دلیل داشتن قدرت بالا در برقراری هم‌زیستی با گیاهان خانواده بقولات و ایجاد سیستم‌های توانمند در تثبیت نیتروژن مولکولی قادر به تأمین بخش قابل توجهی از نیتروژن مولکولی اکوسیستم‌های زراعی در سطح جهانی می‌باشند (آنتون و کلوپیر، ۲۰۰۴). یکی از مهم‌ترین راه‌هایی که این باکتری‌ها بر رشد و نمو گیاه اثر می‌گذارند از طریق سنتز فیتوهورمون‌ها می‌باشد که این هورمون باعث توسعه سیستم جذب ایندولی توسط ریشه‌ی گیاه و به‌دنبال آن افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌گردند (آنتون و کلوپیر، ۲۰۰۴). در تحقیقی بر روی لوبیا گزارش شد که تلقیح لوبیا با رایزوبیوم سویه ۷۵- L سبب افزایش ۲۶ و ۴۰ درصدی عملکرد لوبیا به ترتیب در سال اول و دوم آزمایش شد (خلج و همکاران، ۱۳۹۲).

پژوهشی با هدف بررسی میزان کلونیزاسیون و تراکم اسپورهای قارچ میکوریزا روی ریشه نیشکر در اثر هم‌زیستی میکوریزا با نیشکر انجام شد. تیمارها شامل واریته‌های مختلف نیشکر (RB86-7515, CTC-4 and CTC-15)، سیستم‌های مختلف کشت نیشکر (کشت به‌صورت قلمه و کشت به‌صورت نهال (بوته کاری))، منبع‌های مختلف نیتروژن (کاربرد کود به‌صورت گرانول، کاربرد کود به‌صورت محلول پاشی روی برگ و تلقیح با باکتری دیازوتروپیک (*Azospirillum brasilense*). در سیستم کشت نیشکر به‌صورت نهال (بوته کاری)، کاربرد نیتروژن به‌صورت محلول پاشی روی برگ و استفاده از باکتری*Azospirillum brasilense*، کلونیزاسیون بهتر بود تا کاربرد کود به‌صورت گرانول. در سیستم کشت نیشکر به‌صورت قلمه، کاربرد نیتروژن به‌صورت گرانول باعث افزایش میزان کلونیزاسیون نسبت به کاربرد نیتروژن به‌صورت محلول پاشی و استفاده از باکتری شد. در سیستم کشت قلمه‌ای، تراکم اسپورهای میکوریزا روی نیشکر بیش‌تر (۱۰۵/۲۵ عدد در ۵۰ سانتی‌متر مکعب) از سیستم

کشت به‌صورت نهال (۷۶/۹۷ عدد در ۵۰ سانتی‌متر مکعب) بود. همچنین گزارش شد استفاده از میکوریزا در سیستم کشت قلمه‌ای به دلیل کمک به جذب عناصر توسط ریشه نیشکر از خاک محیط ریشه، در کاهش میزان کود مصرفی نیتروژن بسیار مؤثر بود. عملکرد ساقه‌ی نیشکر و بریکس عصاره‌ی ساقه در سیستم کشت قلمه‌ای به ترتیب ۱۵۷/۷۵ تن در هکتار و ۲۲/۱۶ درصد و در سیستم کشت نیشکر به‌صورت نهال، عملکرد و بریکس به ترتیب ۱۱۹/۰۸ تن در هکتار و ۲۰/۴۹ درصد بود. بنابراین کشت نیشکر به‌صورت قلمه‌ای نسبت به بوته کاری برتری دارد (مورا و همکاران، ۲۰۱۷).

بنابراین مطالعه جنبه‌های مختلف هم‌زیستی قارچ میکوریزا با نیشکر و باکتری رایزوبیوم با لگوم‌ها در کشت مخلوط این گیاهان با یکدیگر، می‌تواند باعث یافتن راهکارهایی برای بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی نیشکر در سیستم کشاورزی پایدار شود.

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱- مشخصات طرح آزمایشی

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در دو مکان (شرکت کشت و صنعت نیشکر دهخدا (مکان اول) و شرکت کشت و صنعت نیشکر امام خمینی (مکان دوم)) با فاصله ۸۰ کیلومتر از یکدیگر در استان خوزستان در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۴ تیمار و ۴ تکرار به اجرا در آمد. موقعیت شرکت دهخدا، ارتفاع از سطح دریا ۲۰ متر، طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و ۳۱ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و موقعیت شرکت امام خمینی، ارتفاع از سطح دریا ۴۵ متر، طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب ۴۸ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی و ۳۱ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی بود.

تیمارها عبارت بودند از: ۱- کشت خالص نیشکر. ۲- کشت خالص سویا. ۳- کشت خالص لوبیا چشم بلبلی. ۴- کشت خالص سویا + تلقیح با باکتری رایزوبیوم. ۵- کشت خالص لوبیا چشم بلبلی + تلقیح با رایزوبیوم. ۶- کشت خالص نیشکر + تلقیح با قارچ میکوریزا. ۷- کشت مخلوط نیشکر و لوبیا چشم بلبلی. ۸- کشت مخلوط نیشکر و سویا. ۹- کشت مخلوط نیشکر و لوبیا چشم بلبلی + تلقیح با رایزوبیوم. ۱۰- کشت مخلوط نیشکر و سویا + تلقیح با رایزوبیوم. ۱۱- کشت مخلوط نیشکر + تلقیح با میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی. ۱۲- کشت مخلوط نیشکر + تلقیح با میکوریزا و سویا. ۱۳- کشت مخلوط نیشکر + تلقیح با میکوریزا و سویا + تلقیح با رایزوبیوم و ۱۴- کشت مخلوط نیشکر + تلقیح با میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی + تلقیح با رایزوبیوم.

هر کرت آزمایشی با عرض ۷/۳۲ متر از چهار ردیف به‌طول هشت متر تشکیل شد. فاصله بین ردیف‌های کشت نیشکر ۱۸۳ سانتی‌متر بود (زندوکیلی و همکاران، ۱۳۹۴) و بقولات (لوبیا چشم بلبلی اکوتیپ محلی اهواز و سویا رقم کتول) در بین خطوط کشت نیشکر(رقم CP69-1062) به‌صورت افزایشی ۱۰۰ درصد نیشکر + ۱۰۰ درصد لوبیا چشم بلبلی و ۱۰۰ درصد نیشکر + ۱۰۰ درصد سویا یعنی هر جزء با تراکم مطلوب (۲۰ بوته در متر مربع لوبیا چشم بلبلی و ۶۰ بوته در متر مربع سویا و سه قلمه‌ی ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متری نیشکر در متر مربع) روی خط داغاب پشته‌ها (روی دو لبه‌ی پشته)

کشت شدند. عملیات کشت نیشکر و همچنین لوبیا چشم بلبلی و سویا به‌صورت دستی در نیمه اول مرداد ۱۳۹۵ انجام شد. برداشت لوبیا چشم بلبلی در سه مرحله در نیمه دوم آبان تا ۱۵ آذرماه ۱۳۹۵ و برداشت سویا در یک مرحله در ۱۵ آذرماه ۱۳۹۵ و برداشت نیشکر در ۱۵ آذرماه ۱۳۹۶ انجام شد. بذر لوبیا چشم بلبلی از مرکز خدمات کشاورزی منطقه مورد مطالعه و سویا (رقم کتول) از مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد و قلمه مورد نیاز برای کشت نیشکر از شرکت کشت نیشکر دهخدا تهیه شد. باکتری‌های *رایزوبیوم لگومینوزاروم* (برای لوبیا چشم بلبلی) و برادی *رایزوبیوم ژاپونیکوم* (برای سویا) از مؤسسه تحقیقات خاک و آب، بخش تحقیقات بیولوژی خاک کرج و قارچ *میکوریزا گلوموس موسه* (برای نیشکر) از شرکت زیست فناور پیشتاز واریان تهیه شدند. برای تلقیح بذرهای بقولات، میزان ۵۰ گرم مایه تلقیح برای یک کیلوگرم بذر که هرگرم مایه تلقیح دارای $۱۰^{۷}$ عدد باکتری زنده و فعال بود، استفاده گردید. همچنین از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها به نسبت ۱۰ درصد وزنی استفاده شد. با توجه به این‌که باکتری‌ها نسبت به دمای بالا حساس می‌باشند و ممکن بود به جمعیت زنده آن‌ها آسیب برسد جهت حمل آن‌ها از مبدأ تا مزرعه از وسیله نقلیه مجهز به سیستم خنک کننده استفاده شد. در تیمارهای تلقیح قلمه‌های نیشکر با قارچ میکوریزا (۱۰۰ کیلوگرم مایه تلقیح میکوریزا در هکتار)، در زمان کشت میزان ۱۵ گرم مایه تلقیح قارچ میکوریزا در کف جوی، زیر هر گره (که در آینده به یک بوته نیشکر تبدیل خواهد شد) از قلمه نیشکر قرار داده شد (اسدی رحمانی، ۱۳۸۹).

پس از آماده کردن بستر کشت نیشکر به صورت جوی و پشته، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پایه سوپر فسفات تریپل به صورت نواری (پنج سانتی‌متر زیر و کنار محلی که قرار بود قلمه کشت شود) در کف جوی‌ها پاشیده شد. عملیات کود دهی نیتروژن به صورت سرک به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره (۴۶ درصد) انجام شد. در سرک اول ۳۰ کیلوگرم در هکتار یک ماه پس از کشت سه جزء مخلوط (به‌عنوان آغازگر برای بقولات)، سرک دوم ۴۰ کیلوگرم در هکتار، سرک سوم ۱۰۵ و سرک چهارم ۷۵ کیلوگرم در هکتار مصرف شد. سرک دوم تا چهارم زمانی داده شد که بقولات برداشت شده بودند و

فاصله زمانی بین سرک دوم تا چهارم از ۱۵ فروردین (شروع دوره رشد مجدد نیشکر پس از سرما) یک ماه در میان بود. آبیاری در این تحقیق همانند روش مرسوم شرکت به‌صورت فارویی انجام شد که برای نیشکر ۲۲ مرحله آبیاری و برای بقولات ۹ مرحله آبیاری انجام شد که این ۹ مرحله آبیاری، مشترک برای ۳ جزء کشت مخلوط بود. ویژگی‌های خاک و اقلیم مکان‌های مورد مطالعه در جدول ۳-۱ آمده است.

جدول ۳-۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)

خصوصیات خاک قبل از کشت	مکان اول	مکان دوم	خصوصیات خاک بعد از برداشت بقولات	مکان اول	مکان دوم
بافت خاک	سیلتی- کلی	کلی- لوم	**بافت خاک**	سیلتی- کلی	کلی- لوم
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۳/۰۲	۴/۶۸	**هدایت الکتریکی** (دسی‌زیمنس بر متر)	۲/۵۸	۳/۹
pH	۷/۱	۸/۸	**pH**	۷/۳	۸/۶
فسفر قابل دسترس (ppm)	۸/۵	۹/۳	**فسفر قابل دسترس (ppm)**	۱۰/۶	۱۰/۷
پتاسیم محلول (ppm)	۲۵۱	۲۳۹	**پتاسیم محلول (ppm)**	۲۶۲	۲۴۴
نیتروژن کل (درصد)	۰/۰۷	۰/۰۵	**نیتروژن کل** (درصد)	۰/۱۱	۰/۰۹
مواد آلی (درصد)	۱/۲	۰/۹۵	**مواد آلی** (درصد)	۱/۳۱	۱/۲

ادامه جدول ۳-۱- برخی ویژگی‌های آب و هوایی مناطق مورد آزمایش در طول اجرای تحقیق

مکان	میانگین دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)																	
	۱۳۹۵												۱۳۹۶					
	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
اول	۳۷/۲	۳۴/۵	۲۷/۸	۲۳/۰	۱۳/۹	۱۳/۷	۱۲/۵	۱۷/۷	۲۳/۸	۳۱/۳	۳۴/۸	۳۷/۴	۳۸/۰	۳۵/۳	۲۸/۸	۲۳/۱	۱۴/۷
دوم	۳۸/۶	۳۶/۲	۲۹/۱	۲۳/۶	۱۴/۹	۱۴/۹	۱۳/۲	۱۸/۳	۲۴/۴	۳۲/۵	۳۶/۸	۳۹/۶	۳۹/۷	۳۶/۶	۳۰/۳	۲۴/۳	۱۵/۹
مکان	مجموع بارندگی (میلی‌متر)																	
	۱۳۹۵												۱۳۹۶					
	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
اول	۰	۰	۰	۰	۲۱/۳	۳۵/۴	۶/۰	۲۴/۰	۲۴/۵	۱/۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۹
دوم	۰	۰	۰	۰	۱۷/۳	۱۶/۵	۵/۲	۱۲/۹	۱۵/۶	۰/۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱	۱۸/۷
مکان	میانگین رطوبت نسبی هوا (درصد)																	
	۱۳۹۵												۱۳۹۶					
	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
اول	۴۱/۱	۴۲/۶	۴۵/۱	۴۸/۷۸	۵۶/۷	۶۸/۶	۵۸/۷	۵۳/۲	۵۰/۵	۳۶/۳	۲۸	۳۶/۸	۴۱/۸	۴۶/۸	۳۷/۲	۵۳/۶	۶۳/۹
دوم	۳۰	۲۷	۲۹	۴۴	۴۹	۶۰	۵۴	۴۷	۴۳	۳۰	۲۵/۵	۳۳	۴۱	۴۴	۳۵	۴۹	۵۷

استخراج شده از اداره کل هواشناسی استان خوزستان

ادامه جدول ۳-۱- سطح آب زیر زمینی (میانگین از اندازه‌گیری دو چاهک با فاصله زمانی ۳ روز در میان)

مکان	میانگین (حاصل از دو چاهک) سطح آب زیر زمینی (سانتی‌متر)					
	۱۳۹۶					
	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
اول	۱۴۰	۱۸۷	۱۱۴	۱۲۶	۱۱۳	۱۰۹	۶۷
دوم	۷۵	۱۱۰	۹۴	۳۵	۸۴	۹۷	۳۸

۳-۲- تعیین عملکرد

۳-۲-۱- عملکرد اقتصادی نیشکر و بقولات

برای محاسبه عملکرد اقتصادی نیشکر زمانی که درصد خلوص شربت[1] در تیمار شاهد به بالای ۸۴ درصد رسید، از دو ردیف میانی هر کرت با در نظر گرفتن دو متر حاشیه از بالا و دو متر از پایین کرت، در سطح چهار متر مربع، نیشکر بصورت دستی کف بر شد و پس از حذف برگ‌ها و سرنی، ساقه به تنهایی وزن شد و عملکرد نهایی در هکتار محاسبه شد. در مورد لوبیا چشم بلبلی و سویا نیز پس از رسیدگی فیزیولوژیکی نیز از دو ردیف میانی پس از در نظر گرفتن حاشیه‌های هر کرت، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در واحد سطح تعیین گردید، بدین صورت که غلاف‌های لوبیا چشم بلبلی و سویا در متر مربع به‌صورت دستی برداشت شدند و سپس دانه‌ها از غلاف جدا شدند و پس از ۴۸ ساعت در فضای اتاق وزن شدند، (غلاف‌های لوبیا چشم بلبلی مربوط به یک سطح ثابت و مشخص که در سه مرحله برداشت شدند، برای تعیین عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی توزین شدند). همچنین در مورد لوبیا چشم بلبلی و سویا، در زمان برداشت ده بوته بصورت تصادفی انتخاب شد و میانگین تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف و در نهایت وزن هزار دانه محاسبه شد.

۳-۲-۲- ارتفاع و قطر ساقه نیشکر

در زمان برداشت نیشکر (آذر ۱۳۹۶، زمانیکه درصد خلوص شربت نیشکر بالای ۸۴ درصد رسید) از دو ردیف میانی هر کرت با در نظر گرفتن دو متر حاشیه از بالا و پایین کرت، ۲۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب شد و میانگین ارتفاع آن‌ها از سطح زمین تا گوشوارک بالاترین برگ سبز (کلمنتس، ۱۹۸۰) بوسیله متر اندازه‌گیری شد و برای سنجش قطر نهایی ساقه از همان ۲۰ بوته، قطر میانگره وسط ساقه و قطر میانگره پایین ساقه بوسیله کولیس اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها به‌عنوان قطر وسط و قطر پایین ساقه لحاظ شد.

1 . Purity

۳-۳- تعداد و وزن خشک گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در ریشه لوبیا چشم بلبلی و سویا

به منظور تعیین اثر تیمارها بر گره زایی و وزن خشک گره‌ها، در مرحله رسیدگی، اطراف بوته مورد نظر، به مساحت ۱ متر مربع و تا عمق ۶۰ سانتی‌متری از سطح خاک حفاری انجام شد و پس از استخراج ریشه‌ها از خاک و شستشوی کامل آن‌ها، تعداد گره‌ها شمارش شد و وزن خشک گره‌ها نیز پس از قرار دادن در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت تعیین شد.

۳-۴- شاخص برداشت برای عملکرد نی، عملکرد شکر و عملکرد باگاس در نیشکر و شاخص برداشت در لوبیا چشم بلبلی و سویا

به منظور محاسبه شاخص برداشت نیشکر برای عملکرد نی، عملکرد شکر و عملکرد باگاس به ترتیب از معادله‌های شماره ۳- ۱، ۳- ۲ و ۳- ۳ استفاده شد (رامن و همکاران، ۲۰۱۳) و برای محاسبه شاخص برداشت لگوم‌ها از معادله ۳- ۴ (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۲) استفاده شد.

معادله ۳- ۱:

۱۰۰ × (کل عملکرد بیولوژیکی / وزن نی قابل آسیاب) = شاخص برداشت برای عملکرد نی (درصد)

معادله ۳- ۲:

۱۰۰ ×(کل عملکرد بیولوژیکی/ وزن نی قابل آسیاب × درصد استخراج × درصد بریکس) = شاخص برداشت برای عملکرد شکر (درصد)

معادله ۳- ۳:

۱۰۰ × (کل عملکرد بیولوژیکی / وزن نی قابل آسیاب × درصد فیبر) = شاخص برداشت برای عملکرد باگاس (درصد)

معادله۳- ۴:

۱۰۰ × (عملکرد بیولوژیک / عملکرد اقتصادی) = شاخص برداشت برای عملکرد لگوم (درصد)

۳-۵- پروتئین در دانه لوبیا چشم بلبلی و سویا

اندازه‌گیری پروتئین شامل سه بخش می‌باشد. بخش اول شامل مرحله هضم، بخش دوم شامل مرحله تقطیر و بخش سوم شامل مرحله تیتراسیون می‌باشد. برای اندازه گیری میزان پروتئین گیاهان لگوم، ابتدا درصد نیتروژن خام موجود در دانه گیاهان به روش کجلدال اندازه‌گیری شد، سپس مقدار نیتروژن خام حاصل در عدد ۵/۷۱ ضرب شد.

۳-۶- وزن خشک ریشه نیشکر

به منظور تعیین اثر تیمارها بر وزن خشک ریشه‌های نیشکر، در زمان برداشت نهایی نیشکر، در اطراف بوته مورد نظر به مساحت یک متر مربع و تا عمق ۶۰ سانتی‌متری (عمق گسترش ریشه‌های نیشکر در سال اول کشت نیشکر ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر است) از سطح خاک حفاری انجام شد. پس از شستشوی ریشه‌ها، وزن خشک آن‌ها پس از قرار دادن در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت تعیین شد.

۳-۷- تعیین درصد کلونیزاسیون قارچ میکوریزا در ریشه نیشکر

رنگ آمیزی ریشه‌های نیشکر به روش هیمن انجام شد (فیلیپس و هایمن، ۱۹۷۰). پس از تمیز کردن ریشه‌ها، از بخش‌های مختلف ریشه حدود یک گرم نمونه تهیه و در ظرف حاوی آب و الکل نگهداری شد. سپس به منظور رنگ بری، ریشه‌ها به مدت ۳ ساعت در محلول هیدرواکسید پتاسیم (KOH) ۱۰ درصد در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند. سپس ریشه‌ها چند بار با آب مقطر شسته شده و به منظور خنثی کردن محیط ریشه‌ها، آن‌ها به مدت ۴ دقیقه در محلول اسید کلریدریک (HCL) یک درصد قرار داده شدند. سپس برای رنگ آمیزی، ریشه‌ها در محلول لاکتو گلیسرین- تریپان بلو به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند تا رنگ شوند. برای تعیین درصد کلونیزاسیون، ریشه‌های رنگ آمیزی شده به ۲۵ قطعه یک سانتی‌متری برش داده شدند و روی ۴ لام قرار داده شدند و با اضافه کردن چند قطره محلول لاکتوگلیسیرول، ریشه‌ها با لامل پوشانده شدند. با

بررسی‌های میکروسکوپی با بزرگ نمایی ۲۰۰ وجود هر یک از اندام قارچ (ویزیکول، آرباسکول و هیف) به‌عنوان یک درصد در نظر گرفته شد (گارسیا و همکاران، ۲۰۱۲).

۳-۸- نسبت برابری زمین (LER[1])

نسبت برابری زمین با استفاده از معادله ۳- ۵ محاسبه گردید (مظاهری، ۱۳۷۳).

معادله ۳- ۵ :

$$LER = (Y_{ab} / Y_{aa}) + (Y_{ba} / Y_{bb})$$

Y_{ab}= عملکرد گونه a در کشت مخلوط با گونه b، Y_{aa}= عملکردگونه a در کشت خالص، Y_{ba}= عملکرد گونه b در کشت مخلوط با گونه a، Y_{bb}= عملکرد گونه b در کشت خالص.

۳-۹- میزان کلروفیل در برگ نیشکر و بقولات

از هر کرت، ۱۰ بوته بصورت تصادفی انتخاب شد و پنج برگ از قسمت بالای کانوپی انتخاب و بوسیله دستگاه کلروفیل سنج (SPAD-502، ژاپن) میزان کلروفیل کل، در سه نقطه از هر برگ اندازه‌گیری شد و سپس میانگین سه نقطه به‌عنوان کلروفیل تک برگ و میانگین پنج برگ به‌عنوان کلروفیل تمام برگ‌ها و میانگین کلروفیل برگ ۱۰ بوته به‌عنوان کلروفیل بالای کانوپی لحاظ شد. چنین کاری برای کلروفیل پایین کانوپی نیز انجام شد. اندازه‌گیری شاخص سطح برگ و کلروفیل برگ به‌صورت دوره‌ای (پانزدهم هر ماه) انجام شد و زمانی که میانگین شاخص سطح برگ در هر گیاه به حداکثر خود رسید (۱۵ مهر۱۳۹۵ برای بقولات و ۱۵ مرداد ۱۳۹۶ برای نیشکر)، مقادیر کلروفیل مربوط به آن دوره مورد آنالیز قرار گرفت.

1. Land Equivalent Ratio

۳-۱۰- تعیین درصد بریکس[1] و درصد خلوص[2] در شربت نیشکر

به مجموع مواد جامد محلول در شربت حاصل از ساقه نیشکر اصطلاحاً بریکس گفته می‌شود. و به درصد ساکاروز موجود در شربت نیشکر پل[3] گفته می‌شود. اندازه گیری بریکس یا ضریب شکست شربت نیشکر با استفاده از دستگاه رفراکتومتر انجام شد. در زمان برداشت،۲۰ ساقه رسیده به منظور تجزیه‌ی صفات کیفی از دو خط وسط هر کرت برداشت شد و عصاره آن‌ها با استفاده از دستگاه آسیاب(سه غلطکی، ایران) استخراج شد. پس از صاف نمودن ۵۰ میلی لیتر از عصاره مربوط به هر کرت آزمایشی با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۰، درصد بریکس آن با استفاده از دستگاه رفراکتومتر (R_X-5000α, ATAGO, JAPAN) و درصد پل با استفاده از دستگاه پلاریمتر (A_P-300, ATAGO, JAPAN) با دقت ۰/۰۱ درصد قرائت گردید (کلمنتس، ۱۹۸۰). در نهایت درصد خلوص شربت نیشکر از طریق معادله ۳- ۶ محاسبه شد (والی، ۲۰۰۹).

معادله ۳- ۶: درصد خلوص = (پل/ بریکس) × ۱۰۰

۳-۱۱- محاسبه درصد فیبر موجود در ساقه نیشکر

در زمان برداشت از همان ساقه‌هایی که برای سنجش درصد خلوص استفاده شدند مقدار یک کیلوگرم نی (ساقه نیشکر)، خرد و بریکس آن قرائت شد، ۱۰۰ گرم از آن جدا و به مدت چهار ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشکانده شد. مقدار بریکس قرائت شده از ماده خشک نمونه کسر و باقیمانده آن به‌عنوان فیبر موجود در ساقه ثبت شد. مقدار فیبر موجود در ساقه نیشکر از طریق معادله ۳- ۷ محاسبه شد (والی، ۲۰۰۹).

معادله ۳- ۷: درصد فیبر در ساقه نیشکر = 100 × [100-w-b(x+y / x)] / [100-b(1+z / 100)]

1. Brix
2. Purity
3. Pol

x = وزن نیشکر z = درصد بریکس آب آزاد (معمولاً ۰/۲۵ در نظر گرفته می‌شود)

y = وزن آب اضافه شده w = درصد رطوبت نیشکر b = بریکس شربت استخراج شده

۳-۱۲- محاسبه عدد Yield یا مقدار شکر زرد حاصل از ۱۰۰ تن شکر:

$$Yield = 100 / (Q.R)$$

معادله ۳- ۸:

$$Q.R = 79.3126 \times (J-1) / [\ (J-1) - 35.5\ ] / Pol$$

J : درصد خلوص

۳-۱۳- محاسبه درصد شکر سفید یا تصفیه شده در شربت نیشکر (RS[1])

با توجه به تجربیات چندین ساله و نتایج حاصل از پیش بینی تولید شکر و میزان شکر تصفیه شده از شکر زرد، فاکتور ثابت ۰/۸۳ را در عدد Yield ضرب نموده تا رقم درصد شکر سفید استحصالی به‌دست آید (والی، ۲۰۰۹).

معادله ۳- ۹:

$$\%\ RS = Yield \times 0.83$$

۳-۱۴- درصد استخراج شربت از ساقه نیشکر

برای محاسبه درصد استخراج شربت از ساقه نیشکر از معادله ۳- ۱۰ استفاده شد (والی، ۲۰۰۹).

معادله ۳- ۱۰:

درصد استخراج = وزن شربت / وزن نی × ۱۰۰

1. Refined Sugar

۳-۱۵- اندازه‌گیری درصد رطوبت غلاف برگ نیشکر

در زمان اوج مرحله داشت (۱۵ تا ۲۵ خرداد) از غلاف برگ‌های سه، چهار، پنج و شش جهت اندازه‌گیری درصد رطوبت استفاده شد، به این صورت که غلاف‌ها وزن شدند (MW) سپس در آون با دمای ۸۰ تا ۸۵ درجه سانتی‌گراد پس از ۲۴ ساعت که کاملاً خشک شدند، مجدداً وزن شدند (MD)، (کلمنتس، ۱۹۸۰).

میزان آب موجود در غلاف برگ: $W= MW- MD$

روش محاسبه درصد رطوبت غلاف (θ) : $\% \ \theta = W/MW \times 100$

۳-۱۶- اندازه‌گیری درصد نیتروژن گیاهی

در زمان اوج مرحله داشت (۱۵ تا ۲۵ خرداد) برای تعیین درصد نیتروژن از روش کجلدال استفاده شد (کلمنتس، ۱۹۸۰). به این ترتیب که جهت اندازه گیری درصد نیتروژن برگ، از پهنک برگ‌های شماره سه، چهار، پنج و شش استفاده شد (کلمنتس،۱۹۸۰، موتسارا و روی، ۲۰۰۸) و برای ریشه‌های نیشکر، به اندازه مورد نیاز نمونه گیری و سپس مراحل آزمایشگاهی انجام شد.

۳-۱۷- تعیین فسفر موجود در میانگره ساقه نیشکر، فسفر ریشه نیشکر و فسفر موجود در خاک پای بوته نیشکر

در هفته دوم مرداد ماه برای اندازه‌گیری فسفر ساقه نیشکر، از میانگره پنجم نمونه برداری انجام شد (کلمنتس، ۱۹۸۰). به منظور تعیین میزان فسفر موجود در ریشه نیشکر (۱۵ تا ۲۵ خرداد ماه)، با روش اسپکتروفتومتری وانادیوم فسفو مولیبدات (کلمنتس،۱۹۸۰، موتسارا و روی، ۲۰۰۸) میزان فسفر موجود در ریشه و میانگره پنجم ساقه نیشکر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فسفر موجود در خاک (۱۵ تا ۲۵ خرداد ماه)، نمونه برداری از عمق ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک در پای بوته مورد نظر انجام شد و برای سنجش آن از روش اولسن استفاده شد (پیج و همکاران، ۱۹۹۵، رامن و همکاران، ۲۰۱۳).

۳-۱۸- تعیین تراکم و وزن ماده خشک علف‌های هرز

به منظور برآورد تراکم و وزن ماده خشک علف‌های هرز در هر کرت، سه مرتبه کوادرات یک متر در یک متر به‌صورت تصادفی در مناطق مختلف کرت انداخته شد و میانگین تعداد علف‌های هرز موجود در کوادرات‌ها و سپس وزن خشک آن‌ها در آون ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت محاسبه شد. این عملیات در دو مرحله انجام شد، مرحله اول بعد از برداشت گیاهان لگوم و مرحله دوم، دو هفته قبل از عملیات هلینگ آپ[1] (جا به جا کردن محل جوی و پشته در زراعت نیشکر). نتایج مرحله دوم مورد تجزیه واریانس قرار گرفت.

۳-۱۹- محاسبه درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز

برای محاسبه درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص از معادله ۳- ۱۱ استفاده شد (زند و همکاران، ۱۳۹۴).

معادله ۳- ۱۱: درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز = (X-Y) / X

X = وزن خشک علف‌های هرز در کرت کشت خالص

Y = وزن خشک علف‌های هرز در کرت‌های کشت مخلوط

۳-۲۰- تعیین شاخص سطح برگ[2] (LAI)

شاخص سطح برگ عبارت است از سطح کل برگ به نسبت واحد سطح زمین. عدد شاخص سطح برگ بدون واحد بوده و برحسب گونه و شرایط محیطی متفاوت است. برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در لوبیا چشم بلبلی و سویا یک ماه پس از کشت (شهریور ۱۳۹۵)، و برای نیشکر پس از شروع فعالیت رشدی مجدد پس از گذشت زمستان (فروردین ۱۳۹۶) به‌صورت دوره‌ای در پانزدهم هر ماه از هر کرت آزمایشی به منظور تعیین LAI نمونه گیری انجام شد. به این صورت که در هر کرت

1. Heling up
2. Leaf Area Index

آزمایشی تمام برگ‌های سبز موجود در مساحت یک متر مربع چیده می‌شد و به منظور حفظ شادابی برگ‌ها تا محل اندازه گیری LAI در آزمایشگاه، پس از چیده شدن داخل کیسه‌های پلاستیکی نگه داری می‌شدند. برای اندازه گیری شاخص سطح برگ از دستگاه سنجش سطح برگ مدل WINAREA-UT-11 ساخت شرکت فناوران البرز اندیشه استفاده شد.

۳-۲۱- تعیین ضریب خاموشی نور[1] (K)

به منظور محاسبه ضریب خاموشی نور، میزان تابش لحظه‌ای در بالا و پایین کانوپی با استفاده از دستگاه Ceptometer PAR/LAI ساخت شرکت دلتا- تی انگلستان در پنج نقطه از هر کرت در فاصله ساعت ۱۱ تا ۱۳ اندازه گیری شد. روش کار به این صورت بود که در هر نقطه، شش اندازه گیری عمود برهم در بالای کانوپی و شش اندازه گیری در پایین کانوپی (سه اندازه‌گیری در امتداد ردیف‌ها و سه اندازه‌گیری عمود بر جهت ردیف‌های کشت) صورت گرفت. با معلوم بودن شاخص سطح برگ، میزان نور رسیده به پایین کانوپی (PAR) و نور رسیده به بالای کانوپی (PAR_0)، ضریب خاموشی نور (K) با استفاده از معادله ۳- ۱۲ (سلطانی، ۱۳۸۸، جوانشیر و همکاران، ۱۳۷۹) به‌دست آمد.

معادله ۳- ۱۲:
$$PAR / PAR_0 = e^{(-K \times LAI)}$$

۳-۲۲- محاسبه کارایی مصرف نور[2]

برای محاسبه نور جذب شده روزانه، ابتدا تابش روزانه رسیده به بالای کانوپی بر اساس عرض جغرافیایی و ساعات آفتابی منطقه (اهواز) طبق روش گودریان و وان لار برآورد شد (گودریان و وان لار، ۱۹۹۴). با به‌دست آوردن میزان نور جذب شده توسط هرگیاه و رسم معادله رگرسیونی بین تشعشع فتوسنتزی تجمعی و ماده خشک تجمعی، کارایی مصرف نور که در واقع شیب این معادله می‌باشد طبق معادله ۳- ۱۳ محاسبه شد (پیتر، ۲۰۱۰، نصیری محلاتی و همکاران، ۱۳۹۲).

1. Light Extinction Coefficient
2 . Radiation Use Efficiency

معادله ۳- ۱۳: $PAR=I_0 \times 0.5\times(1-P)(1- \exp(-K \cdot LAI))$ $(MJ.m^{-2})$

PAR: نور جذب شده توسط کانوپی (مگاژول بر متر مربع)

I_0: نور رسیده به بالای کانوپی (مگاژول بر مترمربع)

P: ضریب انعکاس K : ضریب خاموشی نور LAI : شاخص سطح برگ

۳-۲۳- تعیین بهره‌وری آب[1]

بهره‌وری آب (کیلوگرم در متر مکعب) از حاصل تقسیم عملکرد اقتصادی (کیلوگرم در هکتار) بر مقدار آب مصرفی (متر مکعب در هکتار) در طول فصل رشد و بدون احتساب مقدار بارندگی طبق معادله ۳-۱۴محاسبه شد (علیزاده، ۱۳۸۵).

معادله ۳- ۱۴: بهره‌وری آب = کل عملکرد / کل آب مصرفی

برای تعیین حجم آب ورودی به کرت‌های آزمایشی نیز از دریچه‌های مدول نیرپیک (مدل XX2، فرانسه) با خروجی حداکثر ۱۵۰ لیتر در ثانیه، و برای محاسبه آب مصرفی از معادله ۳-۱۵ استفاده شد (علیزاده، ۱۳۸۵).

معادله ۳- ۱۵: $Q_1 = V / T$ $Q_2 = Q_1 / A$

Q_1 = دبی آب ورودی به کرت (متر مکعب در ثانیه)

Q_2 = دبی آب ورودی به کرت (متر مکعب در هکتار)

V = حجم آب T = زمان A = مساحت کرت مورد نظر (هکتار)

۳-۲۴- محتوای نسبی آب برگ

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ تعداد ۱۰ نمونه از هر کرت آزمایشی انتخاب و داخل فلاکس یخ قرار داده شد و به آزمایشگاه شرکت کشت و صنعت نیشکر انتقال و بلافاصله وزن تر اولیه

1 . Water Productivity

برگ‌ها (FW) اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین وزن آماس، برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در داخل آب مقطر قرار داده شدند و پس از اندازه‌گیری وزن آماس برگ‌ها یا وزن اشباع (TW)، به مدت ۴۸ ساعت در آون ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و وزن خشک (DW) آن‌ها نیز اندازه‌گیری گردید و از طریق معادله ۳- ۱۶ میزان RWC محاسبه شد (ریتچی و همکاران، ۱۹۹۰). اندازه‌گیری شاخص سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ به‌صورت دوره‌ای (پانزدهم هر ماه) برای هر گیاه در هر کرت انجام شد و زمانی که میانگین شاخص سطح برگ در هر گیاه به حداکثر خود رسید (۱۵ مهر۱۳۹۵ برای بقولات و ۱۵ مرداد ۱۳۹۶ برای نیشکر)، مقادیر محتوای نسبی آب برگ مربوط به آن دوره مورد آنالیز قرار گرفت.

معادله ۳- ۱۶: محتوای نسبی آب برگ (درصد) = [(FW) – (DW) / (TW) – (DW)] × ۱۰۰

برای آنالیز صفات مختص به نیشکر، تیمارهای خالص لوبیا چشم بلبلی و خالص سویا لحاظ نشدند، در واقع تعداد ۱۰ تیمار مورد آنالیز قرار گرفتند (با درجه آزادی ۹). در مورد صفات مربوط به لگوم‌ها، فقط تیمارهای مختص به لوبیا چشم بلبلی (شش تیمار با درجه آزادی ۵) و فقط تیمارهای مختص به سویا (شش تیمار با درجه آزادی ۵) جداگانه آنالیز شدند. قبل از تجزیه مرکب جهت تست همگنی واریانس‌ها، آزمون بارتلت انجام گرفت. آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار Mstat-c انجام شد و میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD مقایسه شدند.

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- نتایج و بحث در مورد تجزیه‌های آماری

۴-۱-۱- عملکرد نیشکر، لوبیا چشم بلبلی و سویا

جدول ۴-۱ نشان می‌دهد که تیمارها و مکان‌های مختلف در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری روی عملکرد اقتصادی نیشکر و عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی داشتند. تیمارها و مکان‌های مختلف تأثیر معنی‌داری روی عملکرد دانه سویا نداشتند. طبق مشاهده و بررسی‌ها در این پژوهش روی ریشه‌ی سویا، در هیچ‌کدام از مکان‌های مورد تحقیق گره زایی روی ریشه سویا مشاهده نشد که این موضوع عدم برقراری رابط هم‌زیستی بین باکتری *برادی رایزوبیوم ژاپونیکوم* و سویا را نشان می‌دهد و این نتیجه همسو با یافته قدرتی (۱۳۹۰) در شمال استان خوزستان مبنی بر عدم هم‌زیستی باکتری با ریشه سویا می‌باشد. البته نتایج متناقض در این مطالعات وجود دارد به‌گونه‌ای که سیدی و سید شریفی (۱۳۹۲) طی تحقیقی در اردبیل گزارش دادند تلقیح سویا با *برادی رایزوبیوم ژاپونیکوم* باعث افزایش عملکرد نهایی، تعداد و وزن خشک گره‌ها در ریشه سویا شد. سوگات (۲۰۰۶) طی تحقیقی در ترکیه گزارش کرد رایزوبیوم با سویا به‌خوبی تلقیح شد و باعث افزایش صفات کمی در سویا شد. شریواستاوا و همکاران (۲۰۰۹) نیز طی تحقیقی گزارش کردند رابطه هم‌زیستی خوبی بین *برادی رایزوبیوم ژاپونیکوم* و سویا در هند وجود داشت. همچنین در مطالعه‌ای دیگر در شمال خوزستان گزارش شد که رایزوبیوم با سویا به‌خوبی هم‌زیست می‌شود (شکوه فر و همکاران، ۱۳۸۷). با توجه به بالا بودن دما و شوری خاک در جنوب خوزستان، این تفاوت می‌تواند به دلیل اختلاف در خصوصیات خاک و یا اقلیم جنوب خوزستان (منطقه مورد مطالعه) با مناطق دیگر باشد. بر اساس نتایج مطالعه حاضر می‌توان اظهار داشت باکتری *رایزوبیوم لگومینوزاروم* (برای لوبیا چشم بلبلی) بر عکس باکتری *برادی رایزوبیوم ژاپونیکوم* (برای سویا) با شرایط اهواز سازگاری دارد. لازم به ذکر است باکتری‌های موجود در خاک که برای گیاهان مفید هستند (هوازی)، در دامنه pHهای اسیدی فعالیت خوبی دارند و باعث آزاد سازی عناصر می‌شوند. کلونیزاسیون و اسپورهای میکوریزا در بسیاری از خاک‌های شور-

قلیا وجود ندارند (بی، ۲۰۰۶). pH و غلظت بالای شوری بر جوانه زنی اسپورهای قارچ و به‌دنبال آن بر روی رشد ریسه‌های قارچ میکوریزا اثر منفی می‌گذارد (جونیپر و آبوت، ۱۹۹۳). بهترین pH برای فعالیت میکوریزا، خنثی به سمت اسیدی است (pH معادل ۶ تا ۷) و دامنه‌ی مناسب از نظر EC خاک برای ایجاد همزیستی مناسب بین گیاه و میکوریزا، بین ۰/۷ تا ۴ می‌باشد. نتایج جدول ۴-۲ نشان می‌دهد که بیش‌ترین عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی (۲/۲۷ تن در هکتار) در تیمارهای بیوپرایم شده با رایزوبیوم و کم‌ترین عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی (۱/۷۴ تن در هکتار) در تیمار کشت خالص لوبیا چشم بلبلی بود. فارغ از تیمارهای بیوپرایم یا عدم بیوپرایم با باکتری، تیمارهای کشت مخلوط (حتی در تیمار عدم تلقیح با باکتری) علاوه بر اینکه تأثیر منفی بر عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی نداشتند بلکه باعث افزایش عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی نسبت به کشت خالص نیز شدند که این موضوع را می‌توان به قیم بودن نیشکر برای لوبیا چشم بلبلی در برابر دما و بادهای گرم در منطقه مرتبط دانست. این نتیجه همسو با نتایج گزارش شده توسط دهمرده (۲۰۱۰) در مورد کشت مخلوط ۷۵ درصد ذرت و ۲۵ درصد لوبیا چشم بلبلی می‌باشد که عملکرد لوبیا چشم بلبلی در کشت مخلوط بیش‌تر از کشت خالص لوبیا چشم بلبلی شد. نور محمدی و همکاران (۱۳۹۲) طی پژوهشی در شاهرود گزارش دادند بیش‌ترین میزان عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی متأثر از تیمار کود نیتروژن در سطح ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط تلقیح رایزوبیوم و عدم تلقیح تیوباسیلوس به میزان ۸۵۷ کیلوگرم در هکتار با افزایش ۵۱/۲ درصد نسبت به تیمار شاهد به‌دست آمد. در آزمایشی دیگر مشخص شد تلقیح لوبیا چشم بلبلی با رایزوبیوم به‌همراه استفاده از کود نیتروژن به میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش عملکرد لوبیا چشم بلبلی شد (باروس و همکاران، ۲۰۱۶). نتایج یک تحقیق نشان داد تلقیح بذور لوبیا چیتی با باکتری *رایزوبیوم الیگومینوساروم* و *سودوموناس پوتیدا* به ترتیب باعث افزایش ۱۴/۵۸ درصد و ۱۰/۴۲ درصد در عملکرد دانه لوبیا نسبت به شاهد شد (دوستی و همکاران، ۱۳۹۲). طی پژوهشی گزارش شد تلقیح سویه‌های مختلف رایزوبیوم شامل UFLA03-153 ، UFLA03-164 و UFLA03-84 با لوبیا چشم بلبلی به ترتیب باعث افزایش ۲۲/۹۱، ۲۱/۸۳ و ۲۰/۴۸ درصد در عملکرد

دانه و ۱۹/۲۷، ۴۰/۲۹ و ۳۰/۸۳ درصد در وزن خشک گره‌های ریشه شد (فریاس و همکاران، ۲۰۱۶). طی آزمایشی دیگر گزارش شد تلقیح نخود با رایزوبیوم و میکوریزا باعث افزایش طول، وزن غلاف و تعداد دانه در غلاف نخود شد (بای و همکاران، ۲۰۱۶). باکتری‌های رایزوبیوم از طریق سنتز فیتوهورمون‌ها باعث توسعه سیستم جذب ایندولی (فیتوهورمون IAA[1]) توسط سیستم ریشه‌ای گیاه و به‌دنبال آن افزایش جذب عناصر غذایی توسط لوبیا چشم بلبلی می‌گردند و باعث افزایش رشد و نمو و عملکرد اقتصادی بقولات می‌شوند (آنتون و کلوپیر، ۲۰۰۴).

در مورد عملکرد نیشکر نیز جدول ۴-۲ نشان می‌دهد بیش‌ترین عملکرد نیشکر (۱۱۱/۶ تن در هکتار) در تیمار کشت مخلوط نیشکر با لوبیا چشم بلبلی که نیشکر با قارچ میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی با باکتری رایزوبیوم لگومینوزاروم تلقیح شده بودند حاصل شد که با تیمار کشت مخلوط نیشکر (تلقیح شده با میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی (بدون تلقیح با رایزوبیوم) تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین عملکرد نیشکر در تیمار کشت خالص نیشکر (۱۰۳/۳ تن در هکتار) به‌دست آمد. این موضوع از تأثیر مثبت هم افزایی حضور هم‌زمان قارچ میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی در تیمار مربوطه حکایت می‌کند. عملکرد در کشت خالص نیشکر بیوپرایم شده با قارچ میکوریزا و کشت مخلوط نیشکر با لوبیا چشم بلبلی بدون بیوپرایم، تفاوت زیادی با هم نداشتند. نتایج این مطالعه مؤید این مطلب است که قارچ میکوریزا به‌خوبی با ریشه نیشکر و باکتری *رایزوبیوم لگومینوزاروم* به‌خوبی با ریشه لوبیا چشم بلبلی هم‌زیست شدند. این موضوع در مطالعات دیگر نیز اثبات شده است (باروس و همکاران، ۲۰۱۶، بهات و همکاران، ۲۰۱۰، سورندران و وانی، ۲۰۱۳، چریستین و گراهام، ۲۰۰۲، کیلی و همکاران، ۲۰۰۵، توگای و همکاران، ۲۰۰۸، کیانگ – شینگ و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین در این پژوهش وجود قارچ میکوریزا در محیط ریشه نیشکر تأثیر مثبتی بر رشد نیشکر داشت و منجر به افزایش عملکرد نیشکر گردید. در تحقیقی که کیلی و همکاران (۲۰۰۵) روی تأثیر قارچ میکوریزا و فسفر بر نیشکر

۱. هورمون IAA مهم‌ترین نوع اکسین طبیعی و اولین هورمون گیاهی است که در سال ۱۹۸۸ کشف شد، این هورمون باعث توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه و به دنبال آن افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌گردد (Sergeera *et al*., 2007).

داشتند از تأثیر مثبت میکوریزا روی عملکرد نیشکر خبر دادند. همچنین سورندران و وانی (۲۰۱۳) طی تحقیقی اعلام کردند تلقیح قلمه‌های نیشکر با مایه قارچ میکوریزا به میزان ۱۸/۷۵ کیلوگرم در هکتار، باعث افزایش ۵۱/۸۷ درصدی تعداد پنجه، ۱۸/۵۵ درصدی قطر میان گره، ۲۵/۷۴ درصدی ارتفاع ساقه و در نهایت ۱۸/۶۶ درصدی عملکرد نیشکر شد. تأثیر مثبت میکوریزا روی عملکرد نیشکر می‌تواند مربوط به تولید و ترشح ترکیبات تحریک کننده رشد گیاه و یا برخی هورمون‌های تنظیم کننده رشد از جمله سیتوکینین باشد که توسط قارچ میکوریزا در خاک تولید می‌شود (سیدیکیو و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین با گسترش کلونیزاسیون قارچ و رشد هیف‌های آن، جذب عناصر و انتقال آن‌ها از خاک به سمت ریشه‌های میزبان (نیشکر) افزایش می‌یابد. در این صورت می‌توان انتظار افزایش عملکرد در گیاه میزبان را نیز داشت (هایوس و همکاران، ۲۰۰۷). نتایج یک مطالعه‌ی دو ساله در مورد کشت مخلوط گندم، نخود، لوبیا، سیب زمینی با نیشکر در پاکستان نشان داد عملکرد نیشکر در سیستم کشت مخلوط بیش‌تر از کشت خالص بود و در هر دو سال مطالعه، سود خالص در سیستم مخلوط بالاتر از سیستم کشت خالص نیشکر شده بود (ابدول و همکاران، ۲۰۱۴). افزایش عملکرد نیشکر در تیمارهای کشت مخلوط با لوبیا چشم بلبلی به دلیل تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در خاک توسط لوبیا چشم بلبلی و در اختیار قرار گرفتن نیتروژن بیش‌تر در محیط ریشه نیشکر می‌باشد. این موضوع در جدول ۳-۱ نیز قابل مشاهد می‌باشد. با توجه به جدول ۴-۴ مشاهده می‌شود عملکرد نیشکر و لوبیا چشم بلبلی در مکان اول بهتر از مکان دوم بود که این موضوع با توجه به جدول ۳-۱ به خصوصیات بهتر خاک (از نظر نیتروژن تثبیت شده و مواد آلی موجود در خاک، سطح آب زیر زمینی و همچنین ویژگی‌های میکروبی خاک از جمله تنفس میکروبی خاک) در مکان اول مربوط می‌شود. اثر متقابل مکان در تیمار در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری روی عملکرد نیشکر داشت. در جدول ۴-۵ مشاهده می‌شود بیش‌ترین عملکرد نیشکر در تیمار کشت مخلوط نیشکر با لوبیا چشم بلبلی که نیشکر با قارچ میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی با *باکتری رایزوبیوم لگومینوزاروم* تلقیح شده بودند در مکان اول و کم‌ترین میزان عملکرد نیشکر در کشت خالص نیشکر در مکان دوم به‌دست آمد که تفاوت

معنی‌داری با کشت مخلوط نیشکر و سویا (بیوپرایم و بدون بیوپرایم با رایزوبیوم) در همان مکان دوم نداشت.

۴-۱-۲- ارتفاع و قطر ساقه نیشکر

یکی از شاخص‌های مهم در برنامه واقعه نگاری گیاهی[1] صنعت نیشکر، ارتفاع ساقه است و در انجام مدیریت‌های مختلف از آن استفاده می‌گردد (کلمنتس،۱۹۸۰). تأثیر تیمارهای مختلف بر ارتفاع ساقه نیشکر، قطر میانگره وسط و قطر میانگره پایین ساقه نیشکر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و همچنین مکان‌های مختلف تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد روی قطر میانگره وسط ساقه نیشکر داشتند ولی تفاوت معنی‌داری روی ارتفاع ساقه و قطر میانگره پایین ساقه نیشکر نداشتند. اثر متقابل مکان‌ها و تیمارهای مختلف روی ارتفاع ساقه، قطر میانگره وسط و پایین ساقه نیشکر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴-۱). بیش‌ترین ارتفاع ساقه (۲۱۵/۶ سانتی‌متر) و قطر میانگره در وسط (۴۱ میلی‌متر) و قطر میانگره پایین ساقه نیشکر (۴۳/۸۸ میلی‌متر) در تیمار مخلوط نیشکر (تلقیح شده با قارچ) به‌همراه لوبیا چشم بلبلی (تلقیح شده با باکتری) به‌دست آمد (جدول ۴-۲). ارتفاع ساقه نیشکر در تیمارهای بیوپرایم شده با قارچ بیش‌تر از تیمارهای عدم بیوپرایم با قارچ و در تیمارهای مخلوط با لوبیا چشم بلبلی بیش‌تر از تیمارهای مخلوط با سویا و کشت خالص بود. قطر میانگره وسط ساقه نیشکر در مکان اول بیش‌تر از مکان دوم بود (جدول ۴-۴) که این موضوع می‌تواند به دلیل شرایط بهتر مکان اول از نظر از نظر هدایت الکتریکی و عناصر موجود در خاک، سطح آب زیر زمینی و تنفس میکروبی خاک و شرایط اقلیمی (از نظر رطوبت نسبی هوا) (جدول۳-۱) برای فتوسنتز و ذخیره مواد کربوهیدراتی در ساقه باشد. با توجه به جدول‌های ۳-۱ و ۴-۲ می‌توان اظهار کرد یکی از دلایل افزایش ارتفاع ساقه نیشکر در تیمارهای مخلوط با لوبیا چشم بلبلی، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط لوبیا چشم بلبلی می‌باشد (لوبیا چشم بلبلی در نیمه دوم آذرماه برداشت شد و با توجه به اینکه حدود ۲ ماه طول می‌کشد تا نیتروژن موجود در گره‌های تثبیت کننده نیتروژن آزاد شود و

1. Crop Logging

در اختیار ریشه نیشکر قرار گیرد بنابراین از نیمه دوم اسفند که فعالیت رشدی مجدد نیشکر آغاز می‌گردد، این نیتروژن مورد استفاده برای نیشکر قرار می‌گیرد و رشد نیشکری که از این نیتروژن بهره‌مند شده است نسبت به نیشکر در تیمار شاهد که لوبیا چشم بلبلی وجود نداشته، پیشی می‌گیرد.

نیتروژنی که توسط فرآیند تثبیت زیستی بقولات تولید و فراهم می‌شود، به دلیل این که به‌طور تدریجی آزاد می‌شود و میزان فراهمی آن نیز تا حد زیادی با نیاز گیاه غیر لگوم منطبق است، به مراتب تأثیر بیش‌تری بر افزایش عملکرد و اجزای عملکرد (ارتفاع) محصول خواهد داشت (سلیمان و فان- ترن، ۲۰۱۴). عدم تفاوت معنی‌دار ارتفاع ساقه نیشکر بین تیمارهای مخلوط نیشکر با سویا و کشت خالص نیشکر در این تحقیق، می‌تواند نشانه‌ای از عدم هم‌زیستی بین باکتری *برادی رایزوبیوم ژاپونیکوم* و ریشه سویا و در نتیجه عدم تثبیت نیتروژن توسط سویا باشد. این نتیجه همسو با یافته قدرتی (۱۳۹۰) در شمال استان خوزستان مبنی بر عدم هم‌زیستی باکتری *برادی رایزوبیوم ژاپونیکوم* با ریشه سویا و بر خلاف گزارش شکوه فر (شکوه فر و همکاران، ۱۳۸۷) مبنی بر هم‌زیست شدن باکتری با سویا می‌باشد. دلیل عدم هم‌زیستی باکتری با سویا در این تحقیق می‌تواند نا مساعد بودن شرایط منطقه از نظر خاک (با توجه به اینکه pH مناسب برای فعالیت باکتری‌های مفید هوازی، خنثی تا اسیدی می‌باشد) و یا دما (دمای مناسب برای فعالیت بیش‌تر باکتری‌های هوازی بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد) باشد. در مطالعه‌ای گزارش شد که در زمان استفاده از کود فسفره به میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار، تلقیح نیشکر با قارچ میکوریزا باعث افزایش ۱۵/۶۲ درصد ارتفاع ساقه نیشکر در ۱۲۵ روز پس از کشت شد (مگاری و همکاران، ۲۰۰۵). تأثیر مثبت میکوریزا روی ارتفاع ساقه گیاه می‌تواند مربوط به تولید و ترشح ترکیبات تحریک کننده رشد گیاه و یا برخی هورمون‌های تنظیم کننده رشد از جمله سیتوکینین باشد که توسط قارچ میکوریزا در خاک تولید می‌شود (سیدیکیو و همکاران، ۲۰۰۸). کیلی و همکاران (۲۰۰۵) نیز در مطالعه روی تأثیر قارچ میکوریزا بر نیشکر، بر تأثیر مثبت میکوریزا روی عملکرد و ارتفاع ساقه نیشکر تأکید نمودند که با نتایج تحقیق حاضر همسو می‌باشد. اثر مثبت هم افزایی حضور هم‌زمان قارچ و لوبیا چشم بلبلی در مورد افزایش ارتفاع و قطر

ساقه نیشکر مشهود است. این موضوع که تفاوت معنی‌داری بین اندازه قطر ساقه در تیمارهای مخلوط با سویا و کشت خالص دیده نمی‌شود نشانه‌ای از عدم هم‌زیست شدن باکتری با ریشه سویا می‌باشد. حرارت و خشکی مهمترین عواملی هستند که در جنوب خوزستان تثبیت نیتروژن را محدود می‌سازند. در استان خوزستان بروز دماهای بین ۵۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد برای خاک بسیار محتمل است بنابراین تنش حرارت از عوامل مهمی است که ممکن است تثبیت نیتروژن را تحت تأثیر قرار دهد. پس از اینکه تلقیح بذر سویا با باکتری انجام شد، در طول مدتی که بذر در خاک قرار می‌گیرد تا زمان سبز شدن، باکتری‌ها باید در محیط خاک، شرایط نا مناسب و تنش‌های احتمالی خاک را تحمل کرده و فعال بمانند و پتانسیل لازم برای هم‌زیستی با ریشه گیاه را حفظ نمایند، بالا بودن درجه حرارت خاک و هوا باعث کاهش بازده استفاده از این کودهای بیولوژیک می‌شود زیرا دمای بالا از فعالیت مناسب و کافی باکتری‌های *برادی ریزوبیوم ژاپونیکوم* و هم‌زیستی موثر آن‌ها با گیاه سویا و تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه جلوگیری می‌کند.

استفاده از کودهای بیولوژیک حامل باکتری رایزوبیوم برای کشت سویا در مناطق جنوبی کشور به دلیل تنش‌های محیطی گرما و شوری خاک و به دلیل نداشتن سویه مناسب و بومی باکتری هم‌زسیت با سویا که بومی خاک مناطق جنوبی باشند، تاثیر قابل توجهی بر میزان محصول نداشته‌اند (کرائی وهمکاران، ۱۳۹۲). برخی محققین مانند مانوار و آندولوم (۱۹۸۱) اقدام به تعیین حد بحرانی حرارت برای بقولات نموده‌اند، بر این اساس حد بحرانی حرارت برای سویا و لوبیا چشم بلبلی ۴۰-۳۵ درجه سانتی‌گراد تعیین شده است. هانگاریا و وانگاس (۲۰۰۰) دو حد بحرانی یکی برای غده بندی و دیگری برای تثبیت نیتروژن تعریف کرده‌اند. برای مثال این حدود برای سویا به ترتیب ۳۸ و ۳۲ درجه سانتی‌گراد ذکر شده است و اکثریت محققین در این امر اتفاق نظر دارند که مرحله تشکیل غده از سایر مراحل هم‌زیستی به حرارت حساس‌تر است. بر اساس جدول ۴-۵ می‌توان نتیجه گرفت که وجود لوبیا چشم بلبلی در تیمار مخلوط به دلیل تثبیت و در اختیار قرار دادن مقدار بیش‌تری نیتروژن در محیط ریشه نیشکر باعث افزایش قطر ساقه نیشکر می‌شود. نتایج این تحقیق در خصوص تأثیر

مثبت بقولات (لوبیا چشم بلبلی) روی افزایش ارتفاع و قطر ساقه نیشکر همسو با یافته‌های دیگر محققین می‌باشد چنانکه در تحقیقی گزارش شد لوبیا چشم بلبلی از طریق تثبیت زیستی، توانست مقداری از نیتروژن مورد نیاز گیاه ذرت را با حداقل تلفات در اختیار ریشه آن قرار داده و باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه غیر بقولات گردد (سالم زاده و همکاران، ۱۳۹۳). بیش‌ترین ارتفاع ساقه، بیش‌ترین قطر میانگره در وسط ساقه و بیش‌ترین قطر میانگره در پایین ساقه نیشکر در مکان اول و در تیمار مخلوط نیشکر (تلقیح شده با میکوریزا) به‌همراه لوبیا چشم بلبلی (تلقیح شده با رایزوبیوم) به‌دست آمد (جدول ۴-۵).

۴-۱-۳- وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی و سویا

با توجه به جدول ۴-۱ مشاهده می‌شود برعکس سویا که تیمارها تفاوت معنی‌داری در وزن هزار دانه آن ایجاد نکردند، تیمارهای مختلف در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری روی وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی داشتند. این موضوع می‌تواند نشان دهنده هم‌زیست نشدن باکتری رایزوبیوم با سویا باشد. این نتیجه همسو با نتیجه ارائه شده توسط قدرتی (قدرتی، ۱۳۹۰) و برخلاف نتایج مطالعات دیگر محققان (شریواستاوا و همکاران، ۲۰۰۹، سوگات، ۲۰۰۶، سیدی و شریفی، ۱۳۹۲) می‌باشد.

رایزوبیوم‌ها به‌صورت طبیعی در خاک‌ها وجود دارند ولی غالباً از حیث تعداد و یا مؤثر بودن برای برقراری یک هم‌زیستی موفقیت آمیز کافی نیستند و لذا لازم است به هنگام کشت گیاهان بقولات جمعیت کافی از رایزوبیوم‌های هم‌زیست به بذور آن‌ها تلقیح گردد. این الزام به هنگام کشت یک گیاه جدید از بقولات و یا وجود تنش‌های خاکی و محیطی که سبب کاهش تعداد رایزوبیوم‌ها در خاک می‌گردد، شدیدتر می‌شود (آیانابا و برومفیلد، ۲۰۰۳). شاید یکی از دلایل عدم هم‌زیستی رایزوبیوم با سویا در مطالعه حاضر، کاهش شدید سویه بومی *برادی رایزوبیوم ژاپونیکوم* در خاک مناطق مورد مطالعه در اهواز باشد. مکان‌های مختلف تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی داشتند و تأثیر معنی‌داری روی وزن هزار دانه سویا نداشتند. باکتری‌های رایزوبیومی افزون بر نقش بسیار با اهمیت خود در موازنه نیتروژن بیوسفر می‌توانند با استفاده از

سازوکارهای دیگر، باعث افزایش اجزای عملکرد و عملکرد نهایی گیاهان شوند که از جمله آن می‌توان به توانایی تبدیل فسفات معدنی به آلی، ساخت سیدروفور، آزاد کردن متابولیت‌ها و تولید هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین، کاهش ساخت اتیلن در گیاه اشاره کرد (سینگ و همکاران، ۲۰۱۱، رمضانیان، ۱۳۸۴). با توجه به جدول ۴-۲ بیش‌ترین وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی به تیمارهای تلقیح با باکتری رایزوبیوم، و کم‌ترین وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی به تیمار بدون تلقیح مربوط بود. در بین تیمارهای تلقیح شده با باکتری رایزوبیوم نیز وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی در تیمارهای کشت مخلوط با نیشکر بیش‌تر از تیمار کشت خالص لوبیا چشم بلبلی بود. این موضوع را می‌توان به دلیل نقش مثبت گیاه نیشکر در کاهش تنش‌های محیطی (بادهای گرم منطقه) برای لوبیا چشم بلبلی دانست. نتایج یک مطالعه نشان داد تنش‌های خاکی و یا محیطی از قبیل اسیدی بودن زیاد خاک، فقیر بودن خاک از نظر عناصر بویژه فسفر و تنش خشکی (کاهش رطوبت و باد گرم) موجب کاهش اجزای عملکرد (وزن هزار دانه) در بقولات می‌شوند (آنجوم، ۲۰۱۶). جدول ۴-۴ نشان می‌دهد که وزن هزار دانه لوبیا و سویا در مکان اول بهتر از مکان دوم بود. این موضوع می‌تواند مربوط به خصوصیات اولیه بهتر خاک (تنفس میکروبی خاک، سطح آب زیر زمینی، EC خاک و pH) در مکان اول نسبت به مکان دوم باشد که در جدول ۳-۱ این تفاوت مشاهده می‌شود.

۴-۱-۴- طول غلاف و تعداد غلاف در بوته لوبیا چشم بلبلی و سویا

جدول ۴-۱ نشان می‌دهد که تیمارهای مختلف در سطح احتمال یک درصد روی تعداد غلاف لوبیا چشم بلبلی و در سطح پنج درصد روی تعداد غلاف سویا تأثیر معنی‌داری داشتند. مکان‌های مختلف روی تعداد غلاف در بوته لوبیا چشم بلبلی در سطح پنج درصد تأثیر معنی‌دار داشتند درصورتیکه روی طول و تعداد غلاف سویا تأثیر معنی‌دار نداشتند. بر اساس جدول ۴-۲ در می‌یابیم تعداد غلاف در بوته سویا در تیمارهای کشت مخلوط با نیشکر (چه در حالت تلقیح چه عدم تلقیح سویا با باکتری) بیش‌تر از کشت خالص سویا (چه در حالت تلقیح چه عدم تلقیح سویا با باکتری) شد. بنابراین احتمالاً وجود نیشکر در تیمارهای کشت مخلوط شرایط محیطی را برای سویا قدری بهتر

کرده و با کاهش تنش‌های احتمالی (بادهای گرم منطقه) محیط باعث بهبود صفت ذکر شده گردیده است. جدول ۴-۲ نشان می‌دهد بیش‌ترین تعداد غلاف در لوبیا چشم بلبلی در تیمارهای تلقیح شده با باکتری و کم‌ترین آن‌ها در تیمارهای عدم تلقیح به‌دست آمد که این موضوع تأکیدی بر هم‌زیست شدن رایزوبیوم با ریشه لوبیا چشم بلبلی می‌باشد، و نقش مثبت رایزوبیوم در تأمین نیتروژن بیش‌تر برای لوبیا چشم بلبلی و در نتیجه افزایش رشد رویشی و افزایش صفات کمی در لوبیا چشم بلبلی می‌باشد. فاریاس و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش دادند بیوپرایم لوبیا چشم بلبلی با رایزوبیوم باعث افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه و محتوای نیتروژن در دانه شد. همچنین نتایج این مطالعه همسو با یافته‌های دیگر محققین (بهات و همکاران، ۲۰۱۰، دهمرده و همکاران، ۲۰۱۰) می‌باشد. به نظر می‌رسد که باکتری مزوریزوبیوم باعث افزایش ساخت فیتوهورمون‌ها به ویژه اکسین در پیرامون ریشه می‌شوند که این هورمون در توسعه سیستم ریشه و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه میزبان مؤثر است (پائول، ۲۰۰۷). جدول‌های ۳-۱ و ۴-۴ بهتر بودن شرایط مکان اول نسبت به مکان دوم را که باعث بهبود صفات بالا می‌شود را تأیید می‌کنند.

۴-۱-۵- تعداد دانه در غلاف لوبیا چشم بلبلی و سویا

بر اساس نتایج جدول ۴-۱، تعداد دانه در غلاف لوبیا چشم بلبلی و غلاف سویا تفاوت معنی‌داری در مکان‌ها و تیمارهای مختلف با هم نداشتند. بنابراین می‌توان بیان داشت که این صفت در عملکرد نهایی لوبیا چشم بلبلی یا مؤثر نبوده و یا تأثیر بسیار کم‌تری نسبت به وزن هزار دانه و یا تعداد غلاف در بوته لوبیا چشم بلبلی داشت. در مورد سویا نیز با توجه به عدم هم‌زیست شدن باکتری با ریشه سویا این موضوع قابل درک می‌باشد.

۴-۱-۶- تعداد و وزن خشک گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در ریشه لوبیا چشم بلبلی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر بین مکان‌ها و تیمارهای مختلف از نظر تعداد و وزن خشک گره‌های ریشه لوبیا چشم بلبلی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴-۱). جدول ۴-۳ نشان می‌دهد بهترین مقادیر این صفات در تیمارهای شامل بیوپرایم با باکتری رایزوبیوم که دارای بیش‌ترین تعداد گره (۱۳۲۶ عدد در متر مربع) و بیش‌ترین وزن خشک گره (۱۰/۱۶ گرم در متر مربع) بودند در تیمار کشت مخلوط نیشکر (تلقیح با قارچ) و لوبیا چشم بلبلی (تلقیح با باکتری) به‌دست آمد. بنابراین رایزوبیوم از طریق هم‌زیست شدن با ریشه لوبیا چشم بلبلی باعث افزایش تثبیت زیستی نیتروژن و افزایش تعداد و وزن گره‌ها در ریشه لوبیا چشم بلبلی شد. نتایج مطالعه کنونی همسو با یافته‌های بسیاری از محققین دیگر می‌باشد. مایه کوبی بذور لوبیا چشم بلبلی با باکتری رایزوبیوم بیش‌ترین تعداد و وزن گره ریشه را به دنبال داشت (فرانزینی و همکاران، ۲۰۱۰). باکتری‌ها با تولید اکسین و سیتوکنین باعث افزایش تعداد و رشد گره ریشه در لوبیا چشم بلبلی شدند (نیهوریمبیر و همکاران، ۲۰۱۱). در مایه زنی لوبیا چشم‌بلبلی با باکتری رایزوبیوم طول دوره رشد گیاه بیش‌تر از حالت عدم تلقیح با باکتری رایزوبیوم می‌شود (میشرا، ۲۰۱۰). در تحقیق دیگری نیز گزارش شده است که مایه‌زنی نخود با باکتری رایزوبیوم در افزایش تشکیل گره بر روی ریشه گیاه مؤثر می‌باشد (علیمددی و همکاران، ۱۳۸۹). در آزمایشی دیگر مشخص شد که مایه‌زنی با باکتری مزوریزوبیوم تعداد گره بیش‌تری در گیاه نخود نسبت به عدم استفاده از باکتری ایجاد می‌کند (توسلی و همکاران، ۲۰۱۱). برهم‌کنش مکان در تیمار در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری روی تعداد گره‌ها در ریشه و در سطح پنج درصد روی وزن خشک گره‌های ریشه لوبیا چشم بلبلی داشت. جدول ۴-۵ نشان می‌دهد که بیش‌ترین وزن خشک و تعداد گره در ریشه لوبیا چشم بلبلی در تیمارهای تلقیح شده با *باکتری رایزوبیوم لگومینوزاروم* و در مکان اول و کم‌ترین مقدار این صفات در تیمارهای عدم تلقیح با باکتری و در مکان دوم به‌دست آمد. در هیچ‌کدام از تیمارهای کشت سویا، روی ریشه سویا گره زایی مشاهده نشد.

جدول ۴-۱- تجزیه واریانس مرکب عملکرد و برخی اجزای عملکرد در لوبیا چشم بلبلی و سویا، وزن خشک و تعداد گره در ریشه لوبیا چشم بلبلی، تحت تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف

		میانگین مربعات										
منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد غلاف در لوبیا چشم بلبلی	تعداد غلاف در سویا	وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی	وزن هزار دانه سویا	طول غلاف در لوبیا چشم بلبلی	طول غلاف در سویا	تعداد دانه در غلاف لوبیا چشم بلبلی	تعداد دانه در غلاف سویا	تعداد گره در ریشه لوبیا چشم بلبلی	وزن خشک گره در ریشه لوبیا چشم بلبلی	عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی	عملکرد دانه سویا
مکان	۱	۲۹۱۴/۰۸۳ *	۱/۰۲۱ ns	۵۰/۰۲۱ **	۸۹۲/۶۸۸ ns	۹/۹۰۱ ns	۰/۰۸۳ ns	۱۹/۱۲۷ ns	۰/۰۰۱ ns	۶۴۳۳۳۸/۵۲۱ **	۱۸/۰۰۷ **	۱/۷۲۹ **	۰/۰۱۱ ns
تکرار (مکان)	۶	۳۰۸/۳۶۱	۴۵/۹۶۵	۱۴۰/۲۹۹	۲۵/۶۸۸	۰/۱۳۴	۱/۷۴۸	۴/۲۷۵	۰/۰۴۳	۱۱۶۱۰/۱۶	۰/۲۴۶	۰/۰۹	۰/۰۰۲
تیمار	۵	۳۱۷۴/۰۵ **	۷/۳۷۱ *	۸۵۱/۲۸۸ **	۲۵/۵۷۱ ns	۹/۳۳۷ ns	۰/۱۷۱ ns	۳/۸۸۵ ns	۰/۰۲ ns	۱۷۲۶۹۹۲/۱۸۸ **	۲۱/۳۹۵ **	۲/۱۱۴ **	۰/۰۰۸ ns
تیمار × مکان	۵	۵۰/۵۸۳ ns	۴/۰۷۱ ns	۴۲/۸۲۱ ns	۱/۲۳۸ ns	۰/۱۸۷ ns	۰/۱۵۹ ns	۵/۵۲۱ ns	۰/۰۱۹ ns	۵۰۵۰۸/۱۲۱ **	۰/۵۳۳ *	۰/۰۱۴ ns	۰/۰۰۱ ns
خطای آزمایش	۳۰	۵۷/۷۲۸	۲/۸۷	۴۰/۹۸۲	۱۶/۰۴	۰/۳۳۶	۰/۰۷۲	۳/۸۷۳	۰/۰۳	۲۰۷۷/۳۴۳	۰/۱۶۲	۰/۰۲	۰/۰۰۴
ضریب تغییرات (درصد)	-	۷/۲۸	۵/۸۹	۲/۸۴	۲/۵۳	۳/۰۹	۵/۱۰	۱۴/۷۷	۶/۱۹	۱۰/۲۴	۶/۷۷	۱۰/۴۶	۹/۶۵

*، **و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار.

ادامه جدول ۴-۱- تجزیه واریانس مرکب عملکرد و برخی اجزای عملکرد نیشکر تحت تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف

		میانگین مربعات			
		عملکرد نیشکر	ارتفاع ساقه نیشکر	قطر میانگره در وسط ساقه نیشکر	قطر میانگره در پایین ساقه نیشکر
منابع تغییر	درجه آزادی				
مکان	۱	۲۲۳۳/۴۴۱ **	۷/۸۱ ns	۱۵۲/۶۲ **	۰/۹ ns
تکرار (مکان)	۶	۵/۴۵۴	۱۰۷۰/۳۲	۷/۴۲	۵/۰۹
تیمار	۹	۸۳/۸۸۱ **	۱۵۸۶/۹۱ **	۲۱۵/۲۱ **	۲۱۳/۶۸ **
مکان × تیمار	۹	۲/۶۴۳ **	۹۰/۲۵ **	۵/۸۶ **	۳/۸۴ **
خطای آزمایش	۵۴	۰/۳۸	۱۷/۷۳	۰/۷	۰/۹۱
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۵/۵۷	۱۰/۳۱	۱۱/۷۳	۱۰/۸۷

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۴-۲- مقایسه میانگین عملکرد و برخی اجزای عملکرد نیشکر و بقولات تحت تأثیر تیمارهای مختلف

تیمارها	عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی (تن در هکتار)	تعداد غلاف در لوبیا چشم بلبلی (در متر مربع)	وزن هزار دانه در لوبیا چشم بلبلی (گرم)	تیمارها	تعداد غلاف در یک بوته سویا	تیمارها	عملکرد نیشکر (تن در هکتار)	ارتفاع ساقه نیشکر (سانتی‌متر)	قطر میانگره در وسط ساقه نیشکر (میلی‌متر)	قطر میانگره در پایین ساقه نیشکر (میلی‌متر)
خالص لوبیا	۱/۷۴ ^{c*}	۵۸۶/۴ ^{c}	۲۱۸/۴ ^{b}	خالص سویا	۳۷/۲۵ ^{c}	خالص نیشکر	۱۰۳/۳ ^{d}	۱۸۰/۸ ^{c}	۳۲/۶۱ ^{I}	۳۵/۱۲ ^{I}
خالص لوبیا+ باکتری	۲/۲۶ ^{a}	۶۲۷/۱ ^{a}	۲۳۲/۴ ^{a}	خالص سویا+ باکتری	۳۷/۲۱ ^{c}	خالص نیشکر + میکوریزا	۱۰۹/۲۳ ^{bc}	۲۰۷/۲ ^{b}	۳۸/۰ ^{c}	۴۱/۴۴ ^{c}
مخلوط نیشکر و لوبیا	۱/۷۶۱ ^{bc}	۵۷۵/۸ ^{d}	۲۱۲/۶ ^{b}	مخلوط نیشکر و سویا	۳۸/۵ ^{abc}	مخلوط نیشکر و لوبیا	۱۰۷/۶ ^{c}	۲۰۳/۵ ^{b}	۳۴/۹۴ ^{e}	۳۹/۳۱ ^{e}
مخلوط نیشکر و لوبیا+باکتری	۲/۲۴ ^{a}	۶۰۴/۶ ^{b}	۲۳۵/۶ ^{a}	مخلوط نیشکر و سویا+باکتری	۳۹/۱۳ ^{ab}	مخلوط نیشکر و سویا	۱۰۴/۳ ^{d}	۱۷۹/۸ ^{c}	۳۲/۵۸ ^{I}	۳۵/۲۵ ^{I}
مخلوط نیشکر+ میکوریزا و لوبیا	۱/۸۵ ^{b}	۵۷۶/۹ ^{d}	۲۱۷/۴ ^{b}	مخلوط نیشکر+ میکوریزا و سویا	۳۹/۵۳ ^{a}	مخلوط نیشکر و لوبیا+ باکتری	۱۰۷/۵ ^{c}	۲۰۷/۳ ^{b}	۳۷/۵۶ ^{d}	۴۱/۳۸ ^{d}
مخلوط نیشکر+ میکوریزا و لوبیا+ باکتری	۲/۲۷ ^{a}	۶۰۴/۵ ^{b}	۲۳۵/۵ ^{a}	مخلوط نیشکر+ میکوریزا و سویا+ باکتری	۳۹/۱۳ ^{ab}	مخلوط نیشکر و سویا+ باکتری	۱۰۴/۳۷ ^{d}	۱۸۰/۱ ^{c}	۳۲/۲۱ ^{I}	۳۵/۳۱ ^{I}
						مخلوط نیشکر+ میکوریزا و لوبیا	۱۱۱/۰ ^{a}	۲۱۲/۵ ^{a}	۳۹/۳۱ ^{b}	۴۲/۵۴ ^{b}
						مخلوط نیشکر+ میکوریزا و سویا	۱۰۹/۳۹ ^{b}	۲۰۶/۶ ^{b}	۳۸/۶ ^{c}	۴۱/۵۶ ^{c}
						مخلوط نیشکر+ میکوریزا و سویا + باکتری	۱۰۹/۵۷ ^{b}	۲۰۷/۱ ^{b}	۳۸/۴ ^{c}	۴۱/۲۵ ^{cd}
						مخلوط نیشکر + میکوریزا و لوبیا + باکتری	۱۱۱/۶ ^{a}	۲۱۵/۱ ^{a}	۴۱/۰ ^{a}	۴۳/۸۸ ^{a}

* : اعدادی که در هر ستون حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

ادامه جدول ۴-۲-

تیمارها	عملکرد دانه سویا (تن در هکتار)	وزن هزار دانه سویا (گرم)
خالص سویا	۰/۹۶ [a]	۸۱/۰۰ [a]
خالص سویا+ باکتری	۱/۰۲ [c]	۷۹/۳ [a]
مخلوط نیشکر و سویا	۰/۹۵ [a]	۸۰/۷ [a]
مخلوط نیشکر و سویا+باکتری	۰/۹۷ [a]	۸۱/۲ [a]
مخلوط نیشکر+ میکوریزا و سویا	۰/۹۹ [a]	۸۰/۹ [a]
مخلوط نیشکر+ میکوریزا و سویا+ باکتری	۰/۹۳ [a]	۸۱/۳ [a]

* : اعدادی که در هر ستون حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ۴-۳- مقایسه میانگین تعداد و وزن خشک گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در ریشه لوبیا چشم بلبلی تحت تأثیر تیمارهای مختلف

تیمار	تعداد گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در لوبیا چشم بلبلی (در متر مربع)	وزن خشک گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در لوبیا چشم بلبلی (گرم در متر مربع)
خالص لوبیا چشم بلبلی	۴۲۳/۴ [c]	۶/۹ [c]
خالص لوبیا+ باکتری	۱۲۸۸/۰ [ab]	۹/۷۸ [b]
مخلوط نیشکر و لوبیا	۴۵۸/۹ [c]	۶/۹۶ [c]
مخلوط نیشکر و لوبیا+ باکتری	۱۲۶۸/۰ [b]	۹/۷۶ [b]
مخلوط نیشکر+ میکوریزا و لوبیا	۴۵۷/۴ [c]	۷/۰۵ [c]
مخلوط نیشکر+ میکوریزا و لوبیا+ باکتری	۱۳۲۶/۰ [a]	۱۰/۲۶ [a]

* : اعدادی که در هر ستون حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ۴-۴- مقایسه میانگین عملکرد و برخی صفات دیگر نیشکر، لوبیا چشم بلبلی تحت تأثیر مکان‌های مختلف

صفات	مکان اول	مکان دوم
عملکرد نیشکر (تن در هکتار)	۱۱۳/۱۴ [a]	۹۲/۵۱ [b]
قطر میانگره در وسط ساقه نیشکر (میلی‌متر)	۳۷/۰۷ [a]	۳۴/۳۱ [b]
عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی (تن در هکتار)	۲/۴۴ [a]	۲/۰۰ [b]
وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی (گرم)	۲۲۶/۵۳ [a]	۲۲۳/۲۲ [b]
تعداد غلاف در لوبیا چشم بلبلی (در متر مربع)	۶۰۳/۶۶ [a]	۵۸۸/۰۸ [b]
تعداد گره های تثبیت کننده در ریشه لوبیا (در متر مربع)	۹۸۵/۹۵ [a]	۷۵۴/۴۱ [b]
وزن خشک گره‌های تثبیت کننده در ریشه لوبیا (گرم در متر مربع)	۹/۱ [a]	۷/۸۴ [b]

* : اعدادی که در هر ردیف حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ۴-۵- مقایسه میانگین عملکرد و برخی اجزای عملکرد و وزن خشک ریشه نیشکر تحت اثرات متقابل تیمارها و مکان‌های مختلف

مکان	تیمار	عملکرد نیشکر (تن در هکتار)	ارتفاع ساقه نیشکر (سانتی‌متر)	قطر میانگره در وسط ساقه نیشکر (میلی‌متر)	قطر میانگره در پایین ساقه نیشکر (میلی‌متر)	وزن خشک ریشه نیشکر (گرم در متر مربع)
اول	خالص نیشکر	۱۰۴/۵ d*	۱۷۶/۴ g	۳۰/۱۳ h	۳۳/۰ j	۲۵۰/۸ c
اول	خالص نیشکر+میکوریزا	۱۰۹/۸۸ b	۲۰۹/۶ bcd	۳۷/۸ c	۴۴/۱۳ cd	۲۷۶/۲ a
اول	مخلوط نیشکر و لوبیا	۱۰۸/۷ c	۲۰۵/۵ cde	۳۶/۰ f	۴۰/۵ g	۲۵۰/۷ c
اول	مخلوط نیشکر و سویا	۱۰۶/۱ cd	۱۷۵/۹ g	۲۹/۸۸ hi	۳۳/۶۳ ij	۲۵۰/۸ c
اول	مخلوط نیشکر و لوبیا+باکتری	۱۰۸/۹۱ c	۲۰۷/۹ bcd	۳۶/۳۸ d	۴۱/۶۳ f	۲۵۰/۶ c
اول	مخلوط نیشکر و سویا+باکتری	۱۰۶/۵۲ cd	۱۷۵/۸ g	۲۹/۶۳ hi	۳۳/۶۳ ij	۲۵۰/۸ c
اول	مخلوط نیشکر+میکوریزا و لوبیا	۱۱۱/۱ a	۲۱۴/۹ ab	۳۹/۳۸ b	۴۴/۲۵ abc	۲۷۶/۳ a
اول	مخلوط نیشکر+میکوریزا و سویا	۱۱۰/۱ b	۲۰۹/۳ bcd	۳۷/۸۸ c	۴۳/۰ cde	۲۷۶/۱ a
اول	مخلوط نیشکر+میکوریزا و سویا+باکتری	۱۱۰/۳۳ b	۲۰۹/۹ bcd	۳۷/۸۸ c	۴۳/۳۸ cd	۲۷۶/۱ a
اول	مخلوط نیشکر+میکوریزا و لوبیا+باکتری	۱۱۲/۸ a	۲۱۶/۸ a	۴۰/۷۵ a	۴۵/۳۸ a	۲۷۶/۶ a
دوم	خالص نیشکر	۱۰۲/۱۰ e	۱۸۵/۳ f	۲۹/۵۵ hi	۳۲/۵ n	۲۴۲/۰ d
دوم	خالص نیشکر+میکوریزا	۱۰۸/۵۷ c	۲۰۶/۸ cde	۳۷/۱۳ ef	۴۲/۷۵ ef	۲۶۲/۳ b
دوم	مخلوط نیشکر و لوبیا	۱۰۶/۵۱ cd	۲۰۱/۵ e	۳۵/۵ g	۳۹/۱۳ g	۲۴۱/۶ d
دوم	مخلوط نیشکر و سویا	۱۰۲/۵ e	۱۸۵/۱ f	۲۸/۸۸ i	۳۲/۳۸ hi	۲۴۱/۹ d
دوم	مخلوط نیشکر و لوبیا+باکتری	۱۰۶/۱۰ cd	۲۰۴/۹ cde	۳۶/۱۳ f	۴۰/۱۳ f	۲۴۲/۱ d
دوم	مخلوط نیشکر و سویا+باکتری	۱۰۲/۲۲ e	۱۸۴/۹ f	۲۹/۴۳ hi	۳۲/۰ n	۲۴۲/۲ d
دوم	مخلوط نیشکر+میکوریزا و لوبیا	۱۰۹/۹ b	۲۱۰/۱ bc	۳۸/۲۵ de	۴۳/۵ bc	۲۶۲/۹ b
دوم	مخلوط نیشکر+میکوریزا و سویا	۱۰۸/۶۹ c	۲۰۶/۰ de	۳۶/۵ f	۴۲/۱۳ def	۲۶۳/۴ b
دوم	مخلوط نیشکر+میکوریزا و سویا+باکتری	۱۰۸/۸۱ c	۲۰۶/۴ cde	۳۶/۱۳ f	۴۱/۱۳ f	۲۶۳/۲ b
دوم	مخلوط نیشکر+میکوریزا و لوبیا+باکتری	۱۱۰/۴ b	۲۱۳/۴ ab	۳۷/۶۵ c	۴۴/۷۵ ab	۲۶۳/۰ b

* : اعدادی که در هر ستون حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

ادامه جدول ۴-۵- مقایسه میانگین تعداد و وزن خشک گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در ریشه لوبیا چشم بلبلی تحت اثرات متقابل تیمارها و مکان‌های مختلف

مکان	تیمار	تعداد گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در لوبیا (در متر مربع)	وزن خشک گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در لوبیا (گرم در متر مربع)
اول	خالص لوبیا	۴۶۹/۳ de	۷/۳۵ d
اول	خالص لوبیا+باکتری	۱۴۵۱/۰ a	۱۰/۴۸ b
اول	مخلوط نیشکر و لوبیا	۵۱۱/۰ d	۷/۴ d
اول	مخلوط نیشکر و لوبیا+باکتری	۱۴۸۳/۰ a	۱۰/۶ b
اول	مخلوط نیشکر+میکوریزا و لوبیا	۴۹۴/۵ d	۷/۳۵ d
اول	مخلوط نیشکر+میکوریزا و لوبیا+باکتری	۱۵۰۷/۰ a	۱۱/۲۳ a
دوم	خالص لوبیا	۳۷۷/۵ f	۶/۴۵ e
دوم	خالص لوبیا+باکتری	۱۱۲۶/۰ b	۹/۱ c
دوم	مخلوط نیشکر و لوبیا	۴۰۶/۸ ef	۶/۵۳ e
دوم	مخلوط نیشکر و لوبیا+باکتری	۱۰۵۳/۰ c	۸/۹۳ c
دوم	مخلوط نیشکر+میکوریزا و لوبیا	۴۲۰/۳ ef	۶/۷۵ e
دوم	مخلوط نیشکر+میکوریزا و لوبیا+باکتری	۱۱۴۴/۰ b	۹/۳ c

* : اعدادی که در هر ستون حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

۴-۱-۷- شاخص برداشت برای عملکرد نی، عملکرد شکر و عملکرد باگاس در نیشکر و شاخص برداشت در لوبیا چشم بلبلی و سویا

شاخص برداشت نشان دهنده‌ی توزیع مواد فتوسنتزی بین دانه و سایر قسمت‌های گیاه و به عبارت دیگر، نسبت عملکرد اقتصادی به وزن کل گیاه است. این مؤلفه کارایی توزیع و انتقال آسیمیلات ساخته شده را در میان اندام‌های مختلف به ویژه اندام اقتصادی مورد نظر نشان می‌دهد. یعنی آن قسمت از عملکرد بیولوژیک که عملکرد اقتصادی را تشکیل می‌دهد به نام ضریب برداشت نامیده می‌شود (سوبارائو،

۱۳۷۵). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف از نظر شاخص برداشت برای عملکرد نی و عملکرد باگاس و همچنین تأثیر تیمارهای مختلف در شاخص برداشت برای عملکرد شکر در سطح یک درصد و تأثیر مکان‌های مختلف در شاخص برداشت شکر در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴-۶). بر اساس جدول ۴-۷ بهترین شاخص برداشت برای عملکرد نی و عملکرد شکر در تیمارهای شامل تلقیح با قارچ میکوریزا و بیش‌ترین شاخص برداشت برای عملکرد نی (۹۳/۸۱ درصد) و عملکرد شکر (۷/۳۴ درصد) در تیمار کشت مخلوط نیشکر (بیوپرایم با قارچ) و لوبیا چشم بلبلی (بیوپرایم با باکتری) و کم‌ترین شاخص برداشت برای عملکرد نی (۸۶/۴۱ درصد) و عملکرد شکر (۵/۷۵ درصد) در کشت خالص نیشکر بدون بیوپرایم با میکوریزا به‌دست آمد. شاخص برداشت برای عملکرد نی در تیمار کشت مخلوط نیشکر با لوبیا چشم بلبلی بیوپرایم شده با باکتری بیش‌تر از تیمارهای نیشکر خالص به‌همراه قارچ و حتی مخلوط نیشکر بیوپرایم شده با قارچ به‌همراه سویا شد که دلیل آن نقش مثبت لوبیا چشم بلبلی در افزایش عملکرد نی به دلیل تأمین نیتروژن بیش‌تر در محیط ریشه نیشکر پس از برداشت لوبیا چشم بلبلی می‌باشد. بنابراین با در نظر گرفتن معادله‌های ۳- ۱ و ۳- ۲ و نقش مثبت لوبیا چشم بلبلی در افزایش عملکرد نیشکر (عملکرد نی) و نقش مثبت قارچ میکوریزا در افزایش صفات کیفی نیشکر از جمله درصد خلوص شربت حاصل از ساقه‌ی نیشکر در افزایش عملکرد شکر، در می‌یابیم که افزایش عملکرد اقتصادی نیشکر (عملکرد نی و عملکرد شکر) بیش‌تر از افزایش عملکرد بیولوژیک نیشکر (سر نی و برگ) تحت تأثیر میکوریزا و همچنین لوبیا چشم بلبلی (در فراهم کردن نیتروژن بیش‌تر در محیط ریشه) بود. جدول ۴-۷ نشان می‌دهد بیش‌ترین شاخص برداشت عملکرد باگاس (۱۳/۰۴ درصد) در کشت خالص نیشکر به‌دست آمد که با تیمارهای کشت مخلوط نیشکر با سویا تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین شاخص برداشت عملکرد باگاس (۱۱/۵۲درصد) در کشت مخلوط نیشکر (تلقیح با میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی (تلقیح با رایزوبیوم) حاصل شد. تغییرات شاخص برداشت نی و باگاس برعکس یکدیگر بودند. در

تیماری که درصد رسیدگی (درجه خلوص شربت نیشکر) بیش‌تر بود، درصد فیبر آن کم‌تر بود بنابراین با در نظر گرفتن معادله ۳- ۳، طبیعی است که با افزایش شاخص برداشت نی و شکر، شاخص برداشت باگاس کاهش یابد. اثر متقابل مکان در تیمار در سطح یک درصد روی شاخص برداشت عملکرد نی و در سطح پنج درصد روی شاخص برداشت عملکردهای شکر و باگاس تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۴-۶). هر چه شاخص برداشت بالاتر باشد نشان دهنده آن است که گیاه درصد بیش‌تری از مواد فتوسنتزی را به قسمت محصول اقتصادی اختصاص داده است. البته شاخص برداشت بالا زمانی مناسب است که گیاه چه از لحاظ عملکرد اقتصادی (دانه) و چه از لحاظ عملکرد بیولوژیک به پتانسیل ژنتیکی خود نزدیک شده باشد و سهم عمده‌ای از عملکرد بیولوژیک، مربوط به عملکرد اقتصادی گیاه باشد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۸۲).

بیش‌ترین شاخص برداشت عملکرد نی (۹۵/۰۹ درصد) در مکان اول در تیمار کشت مخلوط نیشکر (بیوپرایم با میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی (بیوپرایم با رایزوبیوم) و کم‌ترین شاخص برداشت عملکرد نی (۸۶/۲۸ درصد) در کشت خالص نیشکر در مکان دوم به‌دست آمد (جدول ۴-۸). در مکان‌های مختلف بیش‌ترین شاخص برداشت عملکرد نی و شکر و کم‌ترین شاخص برداشت عملکرد باگاس در تیمارهایی که میکوریزا وجود دارد بخصوص تیمار کشت مخلوط نیشکر (بیوپرایم با میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی (بیوپرایم با رایزوبیوم) به‌دست آمد و کم‌ترین شاخص برداشت عملکرد نی و شکر و بیش‌ترین شاخص برداشت عملکرد باگاس در تیمارهای بدون حضور میکوریزا و بخصوص شاهد حاصل شد.

حمزه‌ئی و صادقی می آبادی (۱۳۹۳) گزارش دادند تلقیح سورگوم با قارچ میکوریزا *گلوموس موسه*، شاخص برداشت را نسبت به شاهد (بدون تلقیح با قارچ) به میزان ۱۴/۷ درصد افزایش داد که دلیل آن افزایش در عملکرد اقتصادی سورگوم بود. همچنین ابدالی (۱۳۸۲) نیز در پژوهش خود نشان داد که تلقیح

با قارچ میکوریزا نسبت به شاهد (بدون تلقیح)، شاخص برداشت ذرت را افزایش داد. این نتایج همسو با نتایج پژوهش کنونی می‌باشند.

براساس نتایج این پژوهش می‌توان اظهار کرد زمانی که میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی با هم در یک تیمار حضور داشته باشند تأثیر هم افزایی آن‌ها روی افزایش شاخص برداشت نی و شکر بیش‌تر می‌شود که این موضوع به دلیل نقش مثبت میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی در جذب عناصر و به دنبال آن افزایش شاخص سطح برگ و افزایش فتوسنتز و درنتیجه افزایش عملکرد اقتصادی نیشکر می‌باشد. با توجه به جدول ۴-۹ بیش‌ترین شاخص برداشت برای عملکرد نی و شکر و به دنبال آن کم‌ترین شاخص برداشت برای عملکرد باگاس در مکان اول به‌دست آمد زیرا که بیش‌ترین عملکرد اقتصادی نیز (احتمالاً به دلیل خصوصیات بهتر خاک (جدول ۳-۱)) در مکان اول حاصل شد. در آزمایش‌های مختلفی گزارش شده که هم‌زیستی قارچ میکوریزا باعث افزایش فتوسنتز گیاه می‌شود که افزایش عملکرد و نهایتاً افزایش شاخص برداشت را به دنبال دارد (کوماتا و همکاران، ۲۰۰۶).

بر اساس جدول ۴-۶ تیمارهای مختلف روی شاخص برداشت لوبیا چشم بلبلی و سویا تأثیر معنی‌داری نداشتند و مکان‌های مختلف نیز فقط روی شاخص برداشت سویا در سطح یک درصد مؤثر بودند و روی شاخص برداشت لوبیا چشم بلبلی تأثیر معنی‌دار نداشتند. این موضوع احتمالاً به این دلیل است که تیمارهای مختلف روی عملکرد بیولوژیک بقولات تأثیر معنی‌دار نداشتند. این نتایج همسو با نتایج کاظمی (۱۳۸۹) مبنی بر عدم معنی‌دار شدن تأثیر باکتری رایزوبیوم روی شاخص برداشت لوبیا چشم بلبلی می‌باشد. برهم‌کنش مکان در تیمار در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری روی شاخص برداشت لوبیا چشم بلبلی داشت (جدول ۴-۶). با توجه به جدول ۴-۹ بیش‌ترین شاخص برداشت سویا در مکان اول به‌دست آمد زیرا که بیش‌ترین عملکرد اقتصادی نیز به دلیل خصوصیات بهتر خاک (جدول ۳-۱) در این محل حاصل شد. شاخص برداشت در لوبیا چشم بلبلی در هر دو مکان در تیمارهایی که بذر لوبیا چشم بلبلی با

باکتری تلقیح شده بود بیش‌تر از تیمار عدم تلقیح با باکتری بود که این موضوع اثر مثبت باکتری در افزایش عملکرد لوبیا چشم بلبلی را نشان می‌دهد. باکتری‌های رایزوبیوم از طریق سنتز فیتوهورمون‌ها باعث توسعه سیستم جذب ایندولی توسط سیستم ریشه‌ای گیاه و به‌دنبال آن افزایش جذب عناصر غذایی توسط لوبیا چشم بلبلی می‌گردند و باعث افزایش رشد و نمو بقولات می‌شوند (آنتون و کلوپیر، ۲۰۰۴).

جدول ۴-۶- تجزیه واریانس مرکب انواع شاخص برداشت در نیشکر و بقولات تحت تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف

		میانگین مربعات				
منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص برداشت عملکرد نی	شاخص برداشت عملکرد شکر	شاخص برداشت عملکرد باگاس	شاخص برداشت لوبیا چشم بلبلی	شاخص برداشت سویا
مکان	۱	۳۱۷/۱۲۷ **	۱/۰۷۹ *	۳۳/۱۲۷ *	۳۶/۴۱۸ ns	۸/۶۲۸ **
تکرار (مکان)	۶	۱۰/۱۵۸	۰/۱۷	۰/۲۷۶	۱۱/۲۰۴	۰/۰۰۲
تیمار	۹	۴۰/۴۸۴ **	۲/۷۶۲ **	۳/۱۱۶ **	۰/۵۷۹ ns	۰/۰۰۶ ns
مکان×تیمار	۹	۲/۰۶۹ **	۰/۰۱۹ *	۰/۰۶۸ *	۴/۳۴ **	۰/۰۰۱ ns
خطای آزمایش	۵۴	۰/۴۴۲	۰/۰۰۷	۰/۰۳۲	۰/۹	۰/۴
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۰/۷۳	۱۰/۳۲	۱۱/۴۸	۱۰/۲	۹/۱۲

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و معنی‌دار نیست.

جدول ۴-۷- مقایسه میانگین انواع شاخص برداشت، وزن خشک ریشه و شاخص کلروفیل در نیشکر تحت تأثیر تیمارهای مختلف

تیمارها	شاخص برداشت عملکرد نی (درصد)	شاخص برداشت عملکرد شکر (درصد)	شاخص برداشت عملکرد باگاس (درصد)	وزن خشک ریشه در نیشکر (گرم)	کلروفیل برگ‌ها در کانوپی بالا	کلروفیل برگ‌ها در کانوپی پایین
خالص نیشکر	۸۶/۴۱ d*	۵/۷۵ g	۱۳/۰۴ a	۲۴۶/۴ b	۴۲/۵۳ f	۴۴/۹ f
خالص نیشکر+ قارچ	۸۹/۷۷ bc	۶/۸۶ c	۱۱/۷۲ cd	۲۶۹/۳ a	۴۷/۳۹ e	۵۰/۴۱ e
مخلوط نیشکر و لوبیا	۹۲/۰۲ cd	۶/۲۳ f	۱۲/۳۵ b	۲۴۶/۱ b	۴۸/۳۵ d	۵۱/۸۱ d
مخلوط نیشکر و سویا	۸۶/۵۴ d	۵/۸۰ g	۱۳/۰۳ a	۲۴۶/۴ b	۴۴/۴۵ f	۴۶/۵۵ f
مخلوط نیشکر و لوبیا+باکتری	۹۱/۸۸ c	۶/۳۲ e	۱۲/۲۰ b	۲۴۶/۳ b	۴۹/۳۸ c	۵۲/۸ c
مخلوط نیشکر و سویا+باکتری	۸۶/۹۴ d	۵/۸۰ g	۱۲/۹۳ a	۲۴۶/۵ b	۴۴/۱۶ f	۴۶/۷۵ f
مخلوط نیشکر+قارچ و لوبیا	۹۳/۷۰ ab	۷/۱۶ b	۱۱/۶۰ de	۲۶۹/۵ a	۵۰/۹۶ b	۵۴/۴ b
مخلوط نیشکر+قارچ و سویا	۹۱/۸۰ bc	۶/۷۶ d	۱۱/۷۹ c	۲۶۹/۷ a	۴۷/۶۱ e	۵۰/۶۴ e
مخلوط نیشکر+قارچ و سویا+باکتری	۹۱/۱۴ bc	۶/۸۸ c	۱۱/۶۱ de	۲۶۹/۵ a	۴۷/۸۱ de	۵۰/۶۱ e
مخلوط نیشکر+قارچ و لوبیا+باکتری	۹۳/۸۱ a	۷/۳۴ a	۱۱/۵۲ e	۲۶۹/۸ a	۵۲/۲۹ a	۵۵/۷۵ a

* : اعدادی که در هر ستون حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ۴-۸- مقایسه میانگین شاخص برداشت در نیشکر و لوبیا تحت اثرات متقابل تیمارها و مکان‌های مختلف

مکان‌ها	تیمارها	شاخص برداشت عملکرد نی (درصد)	شاخص برداشت عملکرد شکر (درصد)	شاخص برداشت عملکرد باگاس (درصد)	مکان‌ها	تیمارها	شاخص برداشت لوبیا (درصد)
اول	خالص نیشکر	۸۶/۵۴ ^{g}	۵/۸۸ ^{i}	۱۳/۵۷ ^{a}	اول	خالص لوبیا	۴۱/۲۲ ^{d}
اول	خالص نیشکر+ قارچ	۹۱/۳۱ ^{u}	۶/۸۵ ^{ued}	۱۱/۴۹ ^{e}	اول	خالص لوبیا+باکتری	۴۴/۸۱ ^{a}
اول	مخلوط نیشکر و لوبیا	۹۲/۲۵ ^{uc}	۶/۳۳ ^{m}	۱۲/۵۳ ^{c}	اول	مخلوط نیشکر و لوبیا	۴۴/۱۸ ^{b}
اول	مخلوط نیشکر و سویا	۸۶/۶۳ ^{ig}	۵/۹۹ ^{kl}	۱۳/۵۶ ^{a}	اول	مخلوط نیشکر و لوبیا+باکتری	۴۴/۷۲ ^{b}
اول	مخلوط نیشکر و لوبیا+باکتری	۹۲/۴۳ ^{b}	۶/۳۸ ^{n}	۱۲/۴۹ ^{cu}	اول	مخلوط نیشکر+میکوریزا و لوبیا	۴۴/۳۵ ^{av}
اول	مخلوط نیشکر و سویا+باکتری	۸۷/۵۰ ^{ei}	۶/۰۰ ^{jk}	۱۲/۹۲ ^{b}	اول	مخلوط نیشکر+میکوریزا و لوبیا+باکتری	۴۴/۷۹ ^{a}
اول	مخلوط نیشکر+قارچ و لوبیا	۹۵/۰۱ ^{a}	۷/۲۹ ^{b}	۱۱/۱۶ ^{i}	.....	.....	.....
اول	مخلوط نیشکر+قارچ و سویا	۹۲/۶۱ ^{b}	۶/۹۴ ^{cde}	۱۲/۳۰ ^{cu}	.....	.....	.....
اول	مخلوط نیشکر+قارچ و سویا+باکتری	۹۱/۳۵ ^{cu}	۶/۹۵ ^{cu}	۱۲/۳۲ ^{cu}	.....	.....	.....
اول	مخلوط نیشکر+قارچ و لوبیا+باکتری	۹۵/۰۹ ^{a}	۷/۴۵ ^{a}	۱۱/۰۳ ^{ig}	.....	.....	.....
دوم	خالص نیشکر	۸۶/۲۸ ^{g}	۵/۶۳ ^{m}	۱۳/۴۵ ^{a}	دوم	خالص لوبیا	۴۱/۱۷ ^{u}
دوم	خالص نیشکر+ قارچ	۸۸/۲۴ ^{e}	۶/۷۸ ^{ig}	۱۲/۲۵ ^{u}	دوم	خالص لوبیا+باکتری	۴۴/۶۹ ^{a}
دوم	مخلوط نیشکر و لوبیا	۹۱/۷۹ ^{bcu}	۶/۲۶ ^{i}	۱۲/۴۲ ^{cu}	دوم	مخلوط نیشکر و لوبیا	۴۳/۵۸ ^{c}
دوم	مخلوط نیشکر و سویا	۸۶/۴۵ ^{g}	۵/۶۲ ^{m}	۱۲/۴۳ ^{cu}	دوم	مخلوط نیشکر و لوبیا+باکتری	۴۴/۶۷ ^{a}
دوم	مخلوط نیشکر و لوبیا+باکتری	۹۱/۲۸ ^{u}	۶/۱۲ ^{j}	۱۲/۴۱ ^{cu}	دوم	مخلوط نیشکر+میکوریزا و لوبیا	۴۳/۴۸ ^{c}
دوم	مخلوط نیشکر و سویا+باکتری	۸۶/۳۸ ^{g}	۵/۶۰ ^{m}	۱۳/۰۳ ^{b}	دوم	مخلوط نیشکر+میکوریزا و لوبیا+باکتری	۴۴/۷ ^{a}
دوم	مخلوط نیشکر+قارچ و لوبیا	۹۲/۴۲ ^{b}	۷/۰۲ ^{c}	۱۰/۹۷ ^{ig}	.....	.....	.....
دوم	مخلوط نیشکر+قارچ و سویا	۹۱/۱۴ ^{u}	۶/۸۲ ^{ei}	۱۰/۹۱ ^{gh}	.....	.....	.....
دوم	مخلوط نیشکر+قارچ و سویا+باکتری	۹۰/۹۲ ^{u}	۶/۶۸ ^{g}	۱۱/۶۶ ^{e}	.....	.....	.....
دوم	مخلوط نیشکر+قارچ و لوبیا+باکتری	۹۲/۵۵ ^{b}	۷/۲۲ ^{b}	۱۰/۷۲ ^{n}	.....	.....	.....

* : اعدادی که در هر ستون حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ۴-۹- مقایسه میانگین انواع شاخص برداشت در نیشکر و سویا، درصد پروتئین دانه لوبیا چشم بلبلی، وزن خشک ریشه و کلونیزاسیون ریشه نیشکر تحت تأثیر مکان‌های مختلف

صفات	مکان اول	مکان دوم
شاخص برداشت عملکرد نی (درصد)	۹۲/۵۱ [a]	۸۸/۵۳ [b]
شاخص برداشت عملکرد شکر (درصد)	۶/۶۶ [a]	۵/۳۴ [b]
شاخص برداشت عملکرد باگاس (درصد)	۱۱/۵۳ [b]	۱۲/۸۲ [a]
شاخص برداشت سویا (درصد)	۴۹/۶ [a]	۴۸/۷ [b]
وزن خشک ریشه نیشکر (گرم در متر مربع)	۲۶۳/۴۷ [a]	۲۵۲/۴۶ [b]
کلونیزاسیون ریشه (درصد)	۳۱/۹۱ [a]	۳۰/۷۱ [b]
پروتئین دانه لوبیا چشم بلبلی (درصد)	۲۱/۳۰۵ [a]	۲۰/۳۳۱ [b]

* : اعدادی که در هر ردیف حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

۴-۱-۸- پروتئین در دانه لوبیا چشم بلبلی و سویا

نتایج تجزیه واریانس نشان داد مکان‌ها و تیمارهای مختلف در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری روی درصد پروتئین دانه لوبیا چشم بلبلی داشتند. مکان‌ها و تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری روی درصد پروتئین دانه سویا نداشتند. اثر متقابل مکان‌ها و تیمارهای مختلف نیز روی درصد پروتئین دانه لوبیا چشم بلبلی و سویا معنی‌دار نبود (جدول ۴-۱۰). بیش‌ترین درصد پروتئین دانه لوبیا چشم بلبلی (۲۱/۴۰ درصد) در تیمار کشت خالص لوبیا چشم بلبلی بیوپرایم شده با رایزوبیوم حاصل شد که با دیگر تیمارهایی که لوبیا چشم بلبلی با رایزوبیوم تلقیح شده بود تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین درصد پروتئین دانه لوبیا چشم بلبلی در تیمارهایی حاصل شد که لوبیا چشم بلبلی با رایزوبیوم تلقیح نشده بود (جدول ۴-۱۱).

نیتروژن در تشکیل ماده خشک و شکل گیری اجزاء اساسی از جمله نوکلئیک اسیدها، آمینو اسیدها، آنزیم‌ها و رنگدانه‌های فتوسنتزی نقش تعیین کننده دارد (بونگارد و همکاران، ۱۹۹۹). با توجه به این‌که نیتروژن از اجزای اساسی تشکیل دهنده‌ی پروتئین می‌باشد، می‌توان بیان کرد که میزان پروتئین با غلظت نیتروژن در بافت‌های گیاهی رابطه مستقیم دارد، بنابراین با افزایش میزان نیتروژن در بافت‌های گیاهی در اثر تلقیح با باکتری رایزوبیوم، پروتئین در دانه لوبیا چشم بلبلی افزایش یافت. بنابراین در این پژوهش نقش مثبت رایزوبیوم در تأمین نیتروژن بیش‌تر برای لوبیا چشم بلبلی که باعث افزایش درصد پروتئین در دانه این گیاه شده است مشاهده می‌شود. درصد پروتئین دانه لوبیا چشم بلبلی در مکان اول ۴/۵۷ درصد بیش‌تر از مکان دوم بود (جدول ۴-۹) که این موضوع به دلیل شرایط مناسب‌تر مکان اول برای هم‌زیست بیش‌تر رایزوبیوم با لوبیا چشم بلبلی و کارکرد بهتر رایزوبیوم از نظر تأمین نیتروژن بیش‌تر در گیاه می‌باشد. صفت درصد پروتئین بیش‌تر تحت تأثیر پارامترهای ژنتیکی و ژنوتیپ لاین‌ها می‌باشد (قدرتی، ۱۳۹۰). با توجه به جدول ۴-۱۱ مشاهده می‌شود درصد پروتئین دانه سویا بیش‌تر از دانه لوبیا چشم بلبلی بود. که این موضوع نیز تحت تأثیر فاکتورهای ژنتیکی گیاهان مختلف می‌باشد.

۴-۱-۹- وزن خشک ریشه نیشکر

تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک ریشه نیشکر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴-۱۰). بیش‌ترین وزن خشک ریشه نیشکر (۲۶۹/۸ گرم در متر مربع) در مخلوط نیشکر (بیوپرایم شده با قارچ) به همراه لوبیا چشم بلبلی (بیوپرایم شده با باکتری) به‌دست آمد که ۸/۷۸ درصد بیش‌تر از خالص نیشکر بود، البته با دیگر تیمارهایی که نیشکر با میکوریزا تلقیح شد تفاوتی نداشت (جدول **۴-۷**). وزن خشک ریشه نیشکر در تیمارهای دارای میکوریزا بیش‌تر از دیگر تیمارها و همچنین در مکان اول بیش‌تر از مکان دوم (جدول‌های **۴-۵** و **۴-۹**) بود. افزایش وزن خشک ریشه در تیمارهای تلقیح شده با میکوریزا نسبت به تیمارهای عدم تلقیح به دلیل نقش مثبت میکوریزا در

هم‌زیستی با ریشه نیشکر می‌باشد. در اثر تلقیح قارچ میکوریزا آرباسکولار، انتقال مواد فتوسنتزی از اندام هوایی به سمت ریشه‌ها افزایش می‌یابد. در واقع اندام‌های قارچ به عنوان مخزن دریافت کربوهیدرات‌های فتوسنتزی گیاه عمل کرده که سبب تحریک فعالیت فتوسنتزی به میزان بیش‌تری می‌گردد و این خود به دلیل افزایش تولید هورمون جیبرلین در گیاه میزبان است (کلاسینس و همکاران، ۲۰۱۷). این موضوع می‌تواند یکی از دلایل افزایش وزن ریشه نیشکر در تیمار تلقیح شده با قارچ باشد. برتری مکان اول نسبت به مکان دوم می‌تواند ناشی از شرایط مناسب‌تر خاک و محیطی در مکان اول (جدول ۳-۱) برای فعالیت میکوریزا (دامنه فعالیت مناسب برای میکوریزا از نظر pH، اسیدی و از نظر EC، ۰/۷ تا ۴ می‌باشد) باشد. بر اساس یافته‌های این پژوهش می‌توان بیان کرد که هم‌زیستی قارچ میکوریزا باعث افزایش جذب عناصر توسط ریشه نیشکر و افزایش شاخص سطح برگ و به تبع آن افزایش فتوسنتز در نیشکر شد و به‌دنبال آن اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نیشکر نسبت به تیمار عدم تلقیح با قارچ افزایش یافت. نتایج این تحقیق با یافته‌های مرزبان (مرزبان و همکاران، ۱۳۹۳)، در خصوص افزایش وزن خشک ریشه لوبیا چشم بلبلی در اثر تلقیح با میکوریزا و با نتایج ارائه شده توسط بهات و همکاران (۲۰۱۱) در مورد ریشه لوبیا سبز همسو می‌باشند. در پژوهشی گزارش شد که تلقیح رقم‌های مختلفی (PS864, KK, PS881, BL and VMC) از قلمه‌های نیشکر با میکوریزا، در سطح احتمال یک درصد باعث افزایش وزن خشک ریشه، سطح ریشه، قطر و طول ریشه نیشکر نسبت به تیمار شاهد (بدون تلقیح با میکوریزا) شد (سولیسشنو و همکاران، ۲۰۱۷). در تحقیقی دیگر نیز گزارش شد وزن خشک ریشه نیشکر در تیمارهای تلقیح شده با میکوریزا در سطح احتمال یک درصد نسبت به تیمارهای عدم تلقیح با میکوریزا افزایش یافت (کیلی و همکارن، ۲۰۰۵).

۴-۱-۱۰- کلونیزاسیون قارچ میکوریزا در ریشه نیشکر

مندرجات جدول ۴-۱۰ نشان می‌دهد که مکان‌های مختلف در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری روی درصد کلونیزاسیون میکوریزا در ریشه نیشکر داشتند. تیمارهای مختلفی که عملیات بیوپرایمینگ قلمه نیشکر با قارچ میکوریزا در آن‌ها انجام شده بود و همچنین اثر متقابل تیمارها و مکان‌ها روی درصد کلونیزاسیون میکوریزا در ریشه نیشکر تأثیر معنی‌داری نداشتند. لازم به ذکر است که تیمار خالص نیشکر بدون تلقیح شدن با میکوریزا (چون درصد کلونیزاسیون صفر بود) در تجزیه واریانس وارد نشد و فقط تیمارهایی که نیشکر با میکوریزا تلقیح شده بود مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند بنابراین با توجه به جدول ۴-۱۱، عدم معنی‌دار بودن تأثیر تیمارها روی درصد کلونیزاسیون، نشان دهنده این واقعیت می‌باشد که عملیات تلقیح به‌درستی انجام شده بود و هم‌زیستی بین ریشه نیشکر و قارچ میکوریزا به‌خوبی بوجود آمده بود. شاخص کلونی زایی بالا در میکوریزا به شرایط هم‌زیستی گیاهان میزبان و گونه‌های قارچ آربسکولار میکوریزا بستگی دارد (اصغری و همکاران، ۲۰۰۵). علیزاده، (۱۳۸۶) گزارش کرد نیتروژن جزء عناصری است که درصد کلونیزاسیون میکوریزایی را بالا می‌برد. بنابراین استفاده از لوبیا چشم بلبلی به دلیل تثبیت نیتروژن و در اختیار قرار دادن نیتروژن بیش‌تر در محیط ریشه نیشکر، احتمال درصد کلونیزاسیون میکوریزایی بیش‌تر می‌شود. جدول **۴-۹** نشان می‌دهد درصد کلونیزاسیون در ریشه نیشکر در مکان اول بیش‌تر از مکان دوم بود. شاید این موضوع به دلیل بهتر بودن شرایط مکان اول نسبت به مکان دوم از نظر EC و pH مناسب خاک و کم بودن میزان فسفر قابل جذب برای گیاه در خاک در مکان اول نسبت به مکان دوم باشد (جدول ۳-۱). در تحقیقی گزارش شد در تیمارهایی که کلونیزاسیون میکوریزا در ریشه نیشکر انجام شد، مقدار زیادی اسپور قارچ در ریشه نیشکر مشاهده شد و کلونیزاسیون میکوریزا در ریشه نیشکر باعث افزایش ارتفاع ساقه و عملکرد نیشکر شد (سورندران و وانی، ۲۰۱۳). در تحقیقی دیگر اعلام شد بیش‌ترین درصد کلونیزاسیون میکوریزا در ریشه نیشکر در تیمار استفاده از ۱۲/۵

کیلوگرم در هکتار میکوریزا به‌همراه سه تن در هکتار شاخ و برگ نیشکر پس از برداشت (حاصل از برداشت سبز) به‌دست آمد که باعث افزایش صفات کمی و کیفی نیشکر شد (اوشا و رنت، ۲۰۱۳). این نتایج همسو با نتایج مطالعه کنونی می‌باشند. با توجه به اینکه ریشه‌های گیاهان، اسیدهای آمینه و قندها را به بیرون تراوش می‌کنند، قارچ‌ها در نزدیک سطح ریشه‌ها تجمع کرده تا از این مواد مترشحه به‌عنوان منبع غذایی استفاده کنند و هرچه تعداد گونه گیاهی در یک مکان بیش‌تر باشد (کشت مخلوط) مقدار این ترشحات در ریشه سپهر افزایش می‌یابد و در نهایت تعداد و تنوع ریزجانداران از جمله قارچ آربسکولار میکوریزا در خاک افزایش می‌یابد و باعث افزایش کلونیزاسیون ریشه می‌شود. همچنین به نظر می‌رسد در کشت مخلوط بقولات با غلات، بقولات روی ریشه غلات تأثیر مثبت داشته و پس از برداشت بقولات، نیتروژن تثبیت شده توسط بقولات در اختیار ریشه غله قرار می‌گیرد، به همین دلیل ریشه گیاه غله رشد بهتری را نسبت به زمانی که به صورت خالص کشت شده است دارا می‌باشد و این برتری کشت مخلوط بقولات با غلات را نسبت به کشت خالص ثابت می‌کند (کوچکی و همکاران، ۱۳۹۲).

جدول ۴-۱۰- تجزیه واریانس مرکب درصد پروتئین در دانه لوبیا چشم بلبلی و سویا، وزن خشک ریشه نیشکر و درصد کلونیزاسیون قارچ میکوریزا در ریشه نیشکر تحت تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف

		میانگین مربعات				
منابع تغییر	درجه آزادی	پروتئین دانه لوبیا چشم بلبلی	درجه آزادی	پروتئین دانه سویا	وزن خشک ریشه نیشکر	کلونیزاسیون میکوریزا در ریشه نیشکر
مکان	۱	۱۱/۳۷۸ **	۱	۰/۲۳۷ ns	۲۴۲۵/۰۶ **	۱۳/۹۴۸ **
تکرار (مکان)	۶	۰/۵۶۴	۶	۶/۱۷	۱۱/۰۲	۰/۱۱
تیمار	۵	۲/۳۳۹ **	۹	۲/۷۵۱ ns	۱۲۰۰/۸۴ **	۰/۱۶۷ ns
مکان×تیمار	۵	۰/۰۰۳ ns	۹	۰/۰۰۹ ns	۱۱/۵۴ **	۰/۰۶۸ ns
خطای آزمایش	۳۰	۰/۲۵۹	۵۴	۰/۸۶۳	۱/۰۰۴	۰/۲۳۷
ضریب تغییرات (درصد)	-	۲/۴۴	-	۲/۶۴	۱۱/۶۹	۱/۵۶

*، **و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۴-۱۱- مقایسه میانگین پروتئین دانه بقولات و کلونیزاسیون میکوریزا در ریشه نیشکر تحت تأثیر تیمارهای مختلف

تیمار	پروتئین دانه لوبیا (درصد)	تیمار	پروتئین دانه سویا (درصد)	تیمار	کلونیزاسیون میکوریزا در ریشه نیشکر (درصد)
خالص لوبیا	۲۰/۵۶ b	خالص سویا	۳۶/۱۸ a	خالص نیشکر + میکوریزا	۳۱/۴۶ a
خالص لوبیا + باکتری	۲۱/۴۰ a	خالص سویا + باکتری	۳۶/۲۲ a	مخلوط نیشکر + میکوریزا و لوبیا	۳۱/۲۶ a
مخلوط نیشکر و لوبیا	۲۰/۲۵ b	مخلوط نیشکر و سویا	۳۶/۲۵ a	مخلوط نیشکر + میکوریزا و سویا	۳۱/۱۸ a
مخلوط نیشکر و لوبیا + باکتری	۲۱/۲۸ a	مخلوط نیشکر وسویا + باکتری	۳۶/۳۱ a	مخلوط نیشکر + میکوریزا و سویا + باکتری	۳۱/۱۶ a
مخلوط نیشکر + میکوریزا و لوبیا	۲۰/۲۲ b	مخلوط نیشکر + میکوریزا و سویا	۳۶/۲۰ a	مخلوط نیشکر + میکوریزا و لوبیا + باکتری	۳۱/۴۴ a
مخلوط نیشکر + میکوریزا و لوبیا + باکتری	۲۱/۲۰ a	مخلوط نیشکر + میکوریزا و سویا + باکتری	۳۶/۱۶ a	.....	.....

* : اعدادی که در هر ستون حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

۴-۱-۱۱- نسبت برابری زمین (LER)

در زراعت مخلوط اگر نسبت برابری زمین بیش‌تر از یک باشد به عبارتی اگر LER =1+x باشد به این مفهوم است که مقدار X (در واحد سطح) زمین اضافه در کشت خالص مورد نیاز است تا بتوان همان مقدار محصولی که در واحد سطح از کشت مخلوط به‌دست آمده است برداشت نمود (مظاهری، ۱۳۷۳). به طور مثال نسبت برابری ۲/۰۶۸ در تیمار مخلوط نیشکر + میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی (جدول ۴-۱۴) بیانگر این مطلب می‌باشد که برای تولید مقدار محصول نیشکر و لوبیا چشم بلبلی در این تیمار مخلوط در یک هکتار نیاز به ۲/۰۸۱ هکتار زمین در حالت کشت خالص این دو می‌باشد که بیانگر کاهش زمین مورد نیاز از ۲/۰۸۱ هکتار در سیستم کشت خالص این دو محصول به یک هکتار در کشت مخلوط این دو گیاه

می‌باشد که نشان دهنده افزایش راندمان بهره وری از زمین و بقیه نهاده‌های کشاورزی در کشت مخلوط نیشکر با لوبیا چشم بلبلی و نیشکر با سویا می‌باشد. نتایج یک مطالعه‌ی دو ساله در پاکستان در مورد کشت مخلوط نیشکر با گیاهان زراعی نشان داد در هر دو سال مطالعه، نسبت برابری زمین در مخلوط نیشکر+گندم برابر با ۱/۶۱ و در نیشکر+ نخود در سال اول و دوم به ترتیب ۱/۵۶ و ۱/۵۵ و در نیشکر+ سویا در دو سال ۱/۵۵ و در نیشکر+ سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در سال اول و دوم به ترتیب ۱/۵۳ و ۱/۵۴ شد. چون نسبت برابری زمین در تمام سیستم‌های مخلوط بیش‌تر از یک شد، این موضوع برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص نیشکر را اثبات می‌کند (ابدول و همکاران، ۲۰۱۴). با توجه به جدول ۴-۱۴ در این پژوهش نسبت برابری زمین در تمام تیمارهای مخلوط بیش‌تر از یک بود. دلیل آن می‌تواند وجود اختلافات مرفولوژیک دو گونه و در نتیجه ایجاد اشکوب‌های مختلف و بهره‌برداری بهینه از منابع باشد. نقش اختلافات مرفولوژیک در دستیابی به LER بیش‌تر از یک توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است. بعنوان مثال در آزمایشی گزارش شد که نسبت برابری زمین در کشت مخلوط کنجد (*Sesamum indicum*) - لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) در نسبت کاشت ۵۰:۵۰ در مقایسه با کشت خالص آن‌ها ۱/۰۳ بود (امینی فر و همکاران، ۱۳۹۵). در تحقیق دیگری نیز گزارش شد نسبت برابری زمین در کشت مخلوط لوبیا چشم بلبلی - آفتابگردان در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ برابر با ۱/۱۵ گردید که نشان می‌دهد این نسبت دارای سودمندی ۱۵ درصد در مقایسه با کشت خالص بود (قلی پور و شریفی، ۱۳۹۷). نتایج ارائه شده در پژوهش کشت مخلوط آفتابگردان و ماش (*Vigna radiate* L.) (سالیم و همکاران، ۲۰۰۵) و در کشت مخلوط سیب زمینی و لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.) (دووا و همکاران، ۲۰۰۵) با نتایج مطالعه کنونی مطابقت دارند. سینگ (۲۰۰۷) نیز اعلام کرد با کشت مخلوط آفتابگردان و لوبیا چشم بلبلی مقدار LER به ۱/۲۵ رسید. در پژوهشی دیگر نیز گزارش شد که با کشت مخلوط آفتابگردان و سویا مقدار LER به ۱/۳۷ رسید (سودی و ایلمتوالی، ۲۰۰۹).

مشاهده می‌شود که مقدار LER به‌دست آمده در این مطالعه در مقایسه با بسیاری از تحقیقات دیگر بیش‌تر نیز می‌باشد که این موضوع حاکی از مثبت بودن کشت مخلوط نیشکر با بقولات می‌باشد.

۴-۱-۱۲- میزان کلروفیل در برگ نیشکر و بقولات

غلظت کلروفیل به عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت منبع شناخته می‌شود، زیرا غلظت کلروفیل برگ یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک گیاه است (جنگپروما و همکاران، ۲۰۱۰). تیمارهای مختلف در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری روی میزان کلروفیل برگ‌های بالا و پایین کنوپی نیشکر و لوبیا چشم بلبلی و سویا داشتند (لازم به ذکر است که با هدف مطالعه‌ی تغیرات میزان کلروفیل در اشکوب بالا و پایین کانوپی، سنجش شاخص کلروفیل توسط SPAD در بخش بالا و پایین کانوپی انجام شد). مکان‌های مختلف نیز تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد روی میزان کلروفیل برگ‌های نیشکر و لوبیا چشم بلبلی و تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد روی میزان کلروفیل برگ‌های سویا داشتند (جدول‌های ۴-۱۲ و ۴-۱۳). در آزمایشی گزارش شد که اثر متقابل بین نوع رقم نیشکر و تنش خشکی در میزان کلروفیل برگ در نیشکر معنی‌دار بود و با افزایش تنش خشکی، میزان کلروفیل نسبت به زمانی که آب کافی در اختیار نیشکر بود کاهش یافت اما این پاسخ در ارقام مختلف نیشکر متفاوت بود (جنگپروما و همکاران، ۲۰۱۰).

بیش‌ترین میزان کلروفیل در کانوپی پایین نیشکر (۵۵/۷۵) و در کانوپی بالای نیشکر (۵۲/۲۹) در تیمار مخلوط نیشکر (تلقیح شده با میکوریزا) به‌همراه لوبیا چشم بلبلی (تلقیح شده با رایزوبیوم) و کم‌ترین آن‌ها (۴۴/۹ در کانوپی پایین) و (۴۲/۵۳ در کانوپی بالا) در کشت خالص نیشکر به‌دست آمد (جدول **۴-۷**). در جدول ۴-۱۵ نتیجه مشابهی در مورد لوبیا چشم بلبلی مشاهده می‌شود که بیش‌ترین کلروفیل در کانوپی بالا و پایین لوبیا چشم بلبلی در تیمار مخلوط نیشکر (تلقیح شده با میکوریزا) به‌همراه لوبیا چشم بلبلی (تلقیح شده با رایزوبیوم) و کم‌ترین کلروفیل در کانوپی بالا و پایین لوبیا چشم بلبلی در تیمار

مخلوط نیشکر و لوبیا چشم بلبلی به‌دست آمد. بیش‌ترین کلروفیل در کانوپی بالا و پایین سویا به ترتیب در تیمار مخلوط نیشکر (تلقیح شده با میکوریزا) به‌همراه سویا و مخلوط نیشکر (تلقیح شده با میکوریزا) به‌همراه سویا (تلقیح شده با رایزوبیوم) حاصل شد. دلیل این‌که کلروفیل در کانوپی لوبیا چشم بلبلی در کشت خالص لوبیا چشم بلبلی (تلقیح با رایزوبیوم) مقداری بیش‌تر از تیمار مخلوط آن با نیشکر شده بود می‌تواند به دلیل جذب نیتروژن بیش‌تر توسط لوبیا چشم بلبلی باشد. حمزه‌ئی و صادقی می آبادی (۱۳۹۳) گزارش دادند که تلقیح سورگوم با قارچ *گلوموس موسه* غلظت کلروفیل برگ را ۳۳/۲ درصد نسبت به شاهد (بدون تلقیح با قارچ) افزایش داد. همچنین تانگ و همکاران (۲۰۰۹)، در بررسی خود روی گیاه ذرت مشاهده کردند که مایه زنی ذرت با قارچ *گلوموس موسه* سنتز، کلروفیل در گیاه را بهبود بخشید و فتوسنتز گیاه را افزایش داد. آن‌ها علت این امر را به افزایش جذب نیتروژن توسط گیاهان میکوریزایی نسبت دادند. فتوسنتز یکی از فرآیندهای مهم فیزیولوژیکی گیاه است. نیتروژن از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید محصولات زراعی است (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۲). تأمین نیتروژن کافی از طریق کودهای زیستی باعث افزایش میزان فتوسنتز و همچنین میزان تولید کلروفیل گردید و همچنین به نظر می‌رسد فراهمی فسفر تأثیر معنی‌داری بر افزایش کلروفیل برگ داشت و کمبود فسفر باعث کاهش کلروفیل برگ و فلورسانس آن می‌گردد (لیما و همکاران، ۱۹۹۹). این نتیجه همسو با یافته‌های این پژوهش می‌باشد.

با توجه به اینکه بین میزان کلروفیل کل برگ و میزان نیتروژن آن رابطه مستقیم وجود دارد می‌توان استنباط کرد که هر قدر دسترسی گیاه به نیتروژن مناسب‌تر باشد کلروفیل برگ نیز افزایش می‌یابد و میزان فتوسنتز آن بهبود می‌یابد. بنابراین با توجه به یافته‌های این پژوهش و با توجه به اهمیت نیتروژن در ساختار کلروفیل و آنزیم ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز، می‌توان بیان کرد میکوریزا به ریشه نیشکر در جذب آب و عناصر فسفر و نیتروژن کمک کرده و این مزیت در حضور لوبیا چشم بلبلی به دلیل تأمین

نیتروژن بیش‌تر در محیط ریشه نیشکر، بیش‌تر آشکار می‌شود. بنابراین وجود میکوریزا و بقولات می‌تواند این امکان را به نیشکر بدهد که زمان طولانی‌تری عمل فتوسنتز را توسط برگ‌هایی که از نظر کلروفیل شرایط مناسبی دارند، انجام دهد. بنابراین میزان کلروفیل در تیمارهایی که میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی در کنار نیشکر وجود داشتند به دلیل افزایش جذب عناصر بویژه نیتروژن توسط ریشه نیشکر و احتمالاً به تبع آن افزایش فتوسنتز، افزایش یافت. در این تحقیق مشخص شد که میزان کلروفیل در هر سه گیاه در برگ‌های بالای کانوپی (جوان) کم‌تر از برگ‌های پایین کانوپی (پیر) می‌باشد. این موضوع می‌تواند به دلیل انباشت عناصر (به خصوص نیتروژن و فسفر) بیش‌تر در برگ‌های پیر نسبت به برگ‌های جوان و همچنین موضوع نور زدگی (سولاریزیشن) در برگ‌های بالای کانوپی باشد. (با توجه به عمر کوتاه کلروفیل، در شرایط اقلیمی اهواز با توجه به شدت نور زیاد در بالای کانوپی، احتمالاً تأثیر شدت نور روی سرعت تجزیه و سنتز کلروفیل بیش‌تر بوده). بنابراین رنگ روشن‌تر برگ‌های جوان نسبت به برگ‌های بالغ‌تر باعث شد دستگاه SPAD عدد کم‌تری را نشان دهد. این نتیجه همسو با یافته‌های سنجای و سوجیت (۲۰۱۴) می‌باشد. بیش‌ترین مقدار کلروفیل در بالا و پایین کنوپی نیشکر در مکان اول حاصل شد (جدول ۴-۱۵). این نتیجه بهتر بودن شرایط رشد و نمو در مکان اول را نشان می‌دهد. بیش‌ترین میزان کلروفیل در برگ‌های لوبیا چشم بلبلی در تیمارهای تلقیح شده با رایزوبیوم به‌دست آمد. چون رایزوبیوم با ریشه لوبیا چشم بلبلی هم‌زیست شده و به ریشه در جذب عناصر غذایی و نهایتاً تثبیت بیولوژیکی نیتروژن کمک کرده و باعث افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌ها می‌شود. این موضوع در سویا دیده نشد که می‌تواند حاکی از عدم هم‌زیست شدن باکتری با ریشه سویا باشد. میزان کلروفیل در کانوپی بالا و پایین هر سه جزء مخلوط در مکان اول بیش‌تر از مکان دوم بود (جدول ۴-۱۶).

جدول ۴-۱۲- تجزیه واریانس مرکب میزان کلروفیل در برگ نیشکر تحت تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف

		میانگین مربعات	
		کلروفیل برگ‌ها در کانوپی بالا	کلروفیل برگ‌ها در کانوپی پایین
منابع تغییر	درجه آزادی		
مکان	۱	۳۰/۵ *	۹۹/۹ *
تکرار (مکان)	۶	۲/۵۳	۹/۷۱
تیمار	۹	۶۴/۴۴ **	۸۳/۲۱ **
مکان×تیمار	۹	۱/۱۱ **	۲/۰۸ **
خطای آزمایش	۵۴	۰/۴	۰/۵۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۰/۳۹	۱۰/۴۴

*، **و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۴-۱۳- تجزیه واریانس مرکب میزان کلروفیل در برگ لگوم‌ها تحت تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف

		میانگین مربعات			
منابع نغییر	درجه آزادی	کلروفیل برگ‌ها در کانوپی بالای لوبیا چشم بلبلی	کلروفیل برگ‌ها در کانوپی بالای سویا	کلروفیل برگ‌ها در کانوپی پایین لوبیا چشم بلبلی	کلروفیل برگ‌ها در کانوپی پایین سویا
مکان	۱	۱۱/۵ *	۱۳/۵۴ **	۱۳/۹۷ *	۱۲/۴ **
تکرار (مکان)	۶	۱/۷۸	۰/۱۱	۱/۲۱	۰/۰۶
تیمار	۵	۶۶/۶۷ **	۰/۵۲ **	۷۳/۵۳ **	۱/۷۸ **
مکان×تیمار	۵	۰/۰۲ ns	۰/۰۰۷ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۴ ns
خطای آزمایش	۳۰	۰/۲۲	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۰۷
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۰/۹۸	۹/۷۱	۱۲/۷۷	۱۱/۶۳

*، **و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۴-۱۴- مقادیر نسبت برابری زمین (LER) در تیمارهای مختلف

تیمار	عملکرد نیشکر (تن در هکتار)	عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی (تن در هکتار)	LER	تیمار	عملکرد نیشکر (تن در هکتار)	عملکرد دانه سویا (تن در هکتار)	LER
خالص نیشکر	۱۰۲/۸	.....	.....	خالص نیشکر	۱۰۲/۸	.....	.....
خالص لوبیا	.....	۱/۷۴	.....	خالص سویا	.....	۰/۹۶	.....
خالص لوبیا + باکتری	.....	۲/۲۶	.....	خالص سویا + باکتری	.....	۱/۰۲	.....
خالص نیشکر + میکوریزا	۱۰۸/۸	.....	.....	خالص نیشکر + میکوریزا	۱۰۸/۸	.....	.....
مخلوط نیشکر و لوبیا	۱۰۶/۱	۱/۷۶۱	۲/۰۶۸	مخلوط نیشکر و سویا	۱۰۳/۸	۰/۹۵	۱/۹۹۱
مخلوط نیشکر و لوبیا+ باکتری	۱۰۶/۳	۲/۲۴	۲/۰۵۶	مخلوط نیشکر و سویا + باکتری	۱۰۴/۱	۰/۹۷	۱/۹۴۹
مخلوط نیشکر + میکوریزا و لوبیا	۱۱۰/۸	۱/۸۵	۲/۰۶۶	مخلوط نیشکر + میکوریزا و سویا	۱۰۹/۰	۰/۹۹	۲/۰۱۹
مخلوط نیشکر + میکوریزا و لوبیا + باکتری	۱۱۲/۸	۲/۲۷	۲/۰۳۷	مخلوط نیشکر + میکوریزا و سویا + باکتری	۱۰۹/۱	۰/۹۳	۱/۹۰۳

جدول ۴-۱۵- مقایسه میانگین میزان کلروفیل در برگ‌های لگوم‌ها تحت تأثیر تیمارهای مختلف

تیمار	شاخص کلروفیل در کانوپی بالای لوبیا چشم بلبلی (SPAD)	شاخص کلروفیل در کانوپی پایین لوبیا چشم بلبلی (SPAD)	تیمار	شاخص کلروفیل در کانوپی بالای سویا (SPAD)	شاخص کلروفیل در کانوپی پایین سویا (SPAD)
خالص لوبیا	۴۴/۵۸ ^{c}	۴۸/۴۲ ^{d}	خالص سویا	۳۸/۷۴ ^{c}	۴۲/۰۱ ^{c}
خالص لوبیا + باکتری	۵۰/۱۵ ^{a}	۵۴/۲۵ ^{b}	خالص سویا + باکتری	۳۸/۶۳ ^{c}	۴۲/۰۰ ^{c}
مخلوط نیشکر و لوبیا	۴۵/۳۱ ^{b}	۴۹/۴۱ ^{c}	مخلوط نیشکر و سویا	۳۸/۸۵ ^{bc}	۴۲/۱۳ ^{c}
مخلوط نیشکر و لوبیا + باکتری	۵۰/۳۵ ^{a}	۵۴/۶ ^{a}	مخلوط نیشکر و سویا + باکتری	۳۹/۰۸ ^{ab}	۴۲/۰۰ ^{c}
مخلوط نیشکر + میکوریزا و لوبیا	۴۵/۴۵ ^{b}	۴۹/۲۴ ^{c}	مخلوط نیشکر + میکوریزا و سویا	۳۹/۳۱ ^{a}	۴۲/۴۱ ^{b}
مخلوط نیشکر + میکوریزا و لوبیا + باکتری	۵۰/۵۵ ^{a}	۵۴/۹۳ ^{a}	مخلوط نیشکر+ میکوریزا و سویا+ باکتری	۳۹/۰۹ ^{ab}	۴۳/۲۰ ^{a}

* : اعدادی که در هر ستون حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی دار نمی‌باشند.

جدول ۴-۱۶- مقایسه میانگین میزان کلروفیل در برگ‌های نیشکر تحت اثرات متقابل تیمارها و مکان‌های گوناگون

مکان	تیمار	شاخص کلروفیل برگ‌ها در کانوپی بالای نیشکر (SPAD)	شاخص کلروفیل برگ‌ها در کانوپی پایین نیشکر (SPAD)
اول	نیشکر خالص	۴۳/۹۵ ^{ı}	۴۷/۰۸ ^{ıj}
اول	نیشکر خالص + میکوریزا	۴۸/۱ ^{eı}	۵۱/۹۷ ^{e}
اول	مخلوط نیشکر و لوبیا	۴۹/۰۵ ^{u}	۵۳/۰۵ ^{u}
اول	مخلوط نیشکر و سویا	۴۴/۶۷ ^{ı}	۴۶/۹۵ ^{ıjк}
اول	مخلوط نیشکر و لوبیا + باکتری	۵۰/۱۷ ^{c}	۵۴/۴۲ ^{c}
اول	مخلوط نیشکر و سویا + باکتری	۴۴/۴ ^{ı}	۴۷/۴ ^{ı}
اول	مخلوط نیشکر + میکوریزا و لوبیا	۵۱/۵۵ ^{ɒ}	۵۵/۷۸ ^{ɒ}
اول	مخلوط نیشکر + میکوریزا و سویا	۴۸/۷۵ ^{ue}	۵۱/۵۳ ^{eı}
اول	مخلوط نیشکر + میکوریزا و سویا + باکتری	۴۸/۶۵ ^{ue}	۵۱/۹۲ ^{e}
اول	مخلوط نیشکر + میکوریزا و لوبیا + باکتری	۵۳/۲۸ ^{a}	۵۷/۵۳ ^{a}
دوم	نیشکر خالص	۴۳/۸۵ ^{ı}	۴۵/۹۷ ^{к}
دوم	نیشکر خالص + میکوریزا	۴۶/۶۷ ^{n}	۴۸/۸۵ ^{n}
دوم	مخلوط نیشکر و لوبیا	۴۷/۶۵ ^{ıg}	۵۰/۵۸ ^{ıg}
دوم	مخلوط نیشکر و سویا	۴۴/۲۲ ^{ı}	۴۶/۱۵ ^{jк}
دوم	مخلوط نیشکر و لوبیا + باکتری	۴۸/۵۸ ^{ue}	۵۱/۱۷ ^{eı}
دوم	مخلوط نیشکر و سویا + باکتری	۴۳/۹۲ ^{ı}	۴۶/۵ ^{ıjк}
دوم	مخلوط نیشکر + میکوریزا و لوبیا	۵۰/۳۸ ^{c}	۵۳/۰۳ ^{u}
دوم	مخلوط نیشکر + میکوریزا و سویا	۴۶/۴۷ ^{n}	۴۹/۷۵ ^{gn}
دوم	مخلوط نیشکر + میکوریزا و سویا + باکتری	۴۶/۹۷ ^{gn}	۴۹/۳ ^{n}
دوم	مخلوط نیشکر + میکوریزا و لوبیا + باکتری	۵۱/۳ ^{ɒ}	۵۳/۹۷ ^{cu}

* : اعدادی که در هر ستون حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

۴-۱-۱۳- درصد بریکس در شربت نیشکر

تأثیر تیمارهای مختلف بر درصد بریکس در شربت ساقه نیشکر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مکان‌های مختلف در سطح پنج درصد تأثیر معنی‌داری روی درصد بریکس داشتند ولی اثر متقابل مکان‌ها و تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری روی این صفت نداشتند (جدول ۴-۱۷). بیش‌ترین درصد بریکس ساقه نیشکر (۲۱/۸۸ درصد) مربوط به تیمار مخلوط نیشکر(بیوپرایم شده با میکوریزا) به‌همراه لوبیا چشم بلبلی (بیوپرایم شده با رایزوبیوم) بود که البته با دیگر تیمارهایی که میکوریزا با ریشه‌ی نیشکر هم‌زیست شده بود تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴-۱۸) که ۸/۰۴ درصد بیش‌تر از کشت خالص نیشکر بود. در تیمارهایی که لوبیا چشم بلبلی وجود داشت به دلیل تثبیت زیستی نیتروژن و در اختیار قرار دادن مقدار بیش‌تر آن برای ریشه نیشکر، درصد بریکس نیز بیش‌تر از شاهد شد که این موضوع برتری حضور لوبیا چشم بلبلی به‌عنوان لگوم در سیستم مخلوط با نیشکر را نشان می‌دهد که این افزایش بریکس به دنبال افزایش سطح نیتروژن و درنتیجه افزایش شاخص سطح برگ، فتوسنتز و وزن نی قابل آسیاب رخ داد. همچنین می‌توان اظهار کرد میکوریزا به دلیل نقش مثبتی که در افزایش جذب عناصر بویژه فسفر توسط ریشه نیشکر در رابطه هم‌زیستی دارد باعث بهبود صفت کیفی درصد بریکس در شربت نیشکر شد. درصد بریکس نیشکر در مکان اول بیش‌تر از مکان دوم بود (جدول ۴-۲۰) که این موضوع احتمالاً به دلیل شرایط بهتر مکان اول (جدول ۳-۱) می‌باشد. در تحقیقی گزارش شد تلقیح نیشکر با میکوریزا به میزان ۱۸/۵ کیلوگرم مایه تلقیح در هکتار باعث افزایش ۷/۵ درصد بریکس نسبت به شاهد شد (سورندران و وانی، ۲۰۱۳). در تحقیقی دیگر اعلام شد درصد بریکس در نیشکر در کشت مخلوط با شلغم، هویج، تربچه و سیب زمینی به ترتیب ۰/۲۱، ۰/۳، ۰/۲۴ و ۰/۰۹ بیش‌تر از کشت خالص نیشکر شد (سینگ و همکاران، ۲۰۱۸).

۴-۱-۱۴- درصد خلوص، درصد فیبر ساقه، درصد شکر سفید یا تصفیه شده (RS) در شربت نیشکر

درصد شکر قابل استحصال از مهم‌ترین شاخص‌های اقتصادی مورد توجه در صنعت نیشکر بوده و کم‌ترین تغییر در مقدار آن، در سطح وسیع می‌تواند چشم‌گیر باشد (آبو- ایل- همد، ۲۰۱۳). نتایج نشان دادند که تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف روی درصد خلوص، درصد فیبر و درصد RS در شربت نیشکر در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل مکان‌ها و تیمارها نیز روی درصد خلوص در سطح یک درصد معنی‌دار شدند درصورتیکه روی درصد فیبر و درصد RS معنی‌دار نبودند (جدول ۴-۱۷). در تحقیقی گزارش شد، در صورت تداوم رشد رویشی، بیش‌ترین درصد قند اینورت که شامل گلوکز و فروکتوز است، در میانگره‌های بالای ساقه انباشته شده و در صورت توقف رشد، این قند به ساکارز تبدیل و به‌صورت افزایش در میزان پل نمایان می‌شود (بوتا و مور، ۲۰۱۴). با توجه به این موضوع، افزایش بریکس و پل را می‌توان به توقف رشد در اثر از بین رفتن مریستم انتهایی، سبز ماندن برگ‌ها و تبدیل قندها نسبت داد. بیش‌ترین درصد خلوص (۸۹/۹۴ درصد در مکان اول و ۸۹/۵ درصد در مکان دوم) در کشت مخلوط نیشکر (تلقیح با میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی (تلقیح با رایزوبیوم) و کم‌ترین درصد خلوص (۸۱/۵۱ درصد در مکان اول و ۸۱/۰۳ درصد در مکان دوم) در کشت خالص نیشکر به‌دست آمد (جدول ۴-۱۹). بیش‌ترین درصد خلوص (۸۷/۲۸ درصد) در تیمار کشت مخلوط نیشکر تلقیح با میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی تلقیح شده با رایزوبیوم مشاهده شد که با دیگر تیمارهای بیوپرایم شده با میکوریزا تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴-۱۸). درصد خلوص در تیمارهایی که میکوریزا با ریشه نیشکر هم‌زیست شده بود بیش‌تر از سایر تیمارها شد. میکوریزا به دلیل نقش مثبتی که در تأمین فسفر بیش‌تر برای ریشه داشت باعث گسترش بیش‌تر ریشه و جذب عناصر و آب بیش‌تر توسط ریشه و به تبع آن فتوسنتز بیش‌تر در اندام هوایی نیشکر و افزایش عملکرد نی و به دنبال آن افزایش وزن نی قابل آسیاب شد که برایند این عوامل

باعث افزایش بریکس و پل و در نهایت افزایش درصد خلوص در شربت نیشکر شد. زمانیکه میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی با هم در یک تیمار حضور داشتند نقش مثبت هم افزایی آن‌ها روی افزایش درصد خلوص و RS بیش‌تر شد (جدول‌های ۴-۱۸ و ۴-۱۹). زیرا در تیماری که قبلاً لوبیا چشم بلبلی حضور داشته باعث تثبیت نیتروژن بیش‌تر در خاک در زمان اوج داشت نیشکر (نیمه دوم خرداد تا نیمه دوم تیر) شده و به‌دنبال آن افزایش شاخص سطح برگ، فتوسنتز و رشد بیش‌تر صورت گرفت که در نهایت منجر به تولید ساقه‌های با وزن بیش‌تر و قابلیت آسیاب بهتر و افزایش صفات کیفی در شربت نیشکر شد.

در تحقیقی گزارش شد کلونیزاسیون میکوریزا در ریشه نیشکر باعث افزایش درصد خلوص و بریکس در شربت حاصل از ساقه نیشکر شد (سورندران و وانی، ۲۰۱۳). همچنین در تحقیق دیگری گزارش شد که بیش‌ترین درصد خلوص در تیمار کاربرد هم‌زمان میکوریزا و شاخ و برگ حاصل از برداشت سبز نیشکر به‌دست آمد (اوشا رنت، ۲۰۱۳). این نتایج همسو با نتایج پژوهش کنونی می‌باشند.

نتایج یک پژوهش دو ساله در مصر نشان داد که بیش‌ترین درصد خلوص (۸۴/۳۸ درصد) و پل (۱۴/۹۸ درصد) در شربت نیشکر در کشت مخلوط ۱۰۰ درصد نیشکر به‌همراه ۳۰ درصد سویا در کشت یک ردیفه به‌دست آمد (مورسی و همکاران، ۲۰۱۷).

به‌طور معمول درصد شکر قابل استحصال از گیاه نیشکر ۱۰ درصد می‌باشد (ایگلستون و همکاران، ۲۰۰۴). بیش‌ترین RS (۱۱/۷۳ درصد) در تیمارهای کشت مخلوط نیشکر (تلقیح با میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی (تلقیح با رایزوبیوم و بدون تلقیح) و کم‌ترین RS (۱۰/۱۶ درصد) در کشت خالص نیشکر به‌دست آمد (جدول ۴-۱۸). مقدار فیبر نیشکر در ابتدای دوره زیاد و به مرور از مقدار آن کاسته می‌شود. استاندارد فیبر نیشکر بین ۱۲/۵ تا ۱۳ درصد می‌باشد (جمیسچین و چانگچون، ۱۹۹۳). بیش‌ترین درصد فیبر (۱۳/۹۳ درصد) در تیمارهای مخلوط نیشکر و سویا (با و بدون بیوپرایم شده با رایزوبیوم) و کشت خالص نیشکر و کم‌ترین درصد فیبر (۱۲/۹۷ درصد) در تیمار کشت مخلوط نیشکر (بیوپرایم شده با

میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی (تلقیح با رایزوبیوم) حاصل شد (جدول ۴-۱۸). در واقع با کاهش فیبر، ساکارز در شربت بیش‌تر می‌شود که باعث افزایش درصد خلوص می‌شود. درصد خلوص و فیبر موجود در شربت استخراج شده از نی، نسبت عکس با یکدیگر داشتند. در تیماری که میکوریزا حضور نداشت در مقایسه با تیماری که با میکوریزا تلقیح شد، درصد خلوص کم‌تری داشت چون فیبر (الیاف) نی در آن تیمار بیش‌تر شده بود. میزان الیاف (فیبر) ساقه یکی از عواملی است که استخراج عصاره از نی را کاهش می‌دهد، اما تغییرات آن در مقایسه با تغییرات میزان قند، اهمیت کم‌تری دارد (کرملا چعب و همکاران، ۱۳۹۴). بر اساس جدول ۴-۲۰ در می‌یابیم که درصد RS در مکان اول بیش‌تر از مکان دوم و درصد فیبر در مکان اول کم‌تر از مکان دوم بود. این موضوع را می‌توان به شرایط عناصر غذایی بهتر موجود در خاک مکان اول نسبت داد که باعث افزایش درجه خلوص و به دنبال آن کاهش درصد فیبر می‌شود.

جدول ۴-۱۷- تجزیه واریانس مرکب صفات کیفی در نیشکر تحت اثر مکان‌ها و تیمارهای مختلف

		میانگین مربعات						
منابع تغییر	**درجه آزادی**	**بریکس در شربت**	**درصد خلوص در شربت**	**فیبر در شربت**	**RS در شربت**	**نیتروژن در پهنک برگ**	**فسفر در پهنک برگ**	**پتاسیم در پهنک برگ**
مکان	۱	۲۰/۷۱ *	۶۱۵/۵۵ **	۱۳/۸۸۶ **	۶۱/۲۵ **	۰/۲۱۵ *	۰/۰۲۱ **	۰/۰۰۴ ns
تکرار (مکان)	۶	۱/۸۵	۰/۲۳۰	۰/۰۷۷	۰/۵۶۵	۰/۰۱۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵
تیمار	۹	۵/۶۷ **	۱۷/۲۱۲ **	۱/۵۱۳ **	۴/۶۱۴ **	۰/۵۳۳ **	۰/۰۱۶ **	۰/۲۷۲ **
مکان×تیمار	۹	۰/۰۲ ns	۱/۰۰۹ **	۰/۰۲۷ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۲ ns
خطای آزمایش	۵۴	۰/۴۷	۰/۰۹۶	۰/۰۲۹	۰/۰۲۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۴/۵۴	۳/۳۶	۲/۱۷	۳/۱۲	۲/۵۴	۵/۴۹	۳/۳۹

*، **و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار.

ادامه جدول ۴-۱۷

		میانگین مربعات		
منابع تغییر	درجه آزادی	رطوبت در غلاف برگ	فسفر میانگره پنجم ساقه	فسفر خاک در پای بوته
مکان	۱	۱۹/۱۳۹ **	۰/۰۰۲ **	۷۴/۵۵۶ **
تکرار (مکان)	۶	۰/۰۹۵	۰/۰۰۱	۲/۰۳۶
تیمار	۹	۴۳/۸۲۴ **	۰/۰۰۸ **	۱۱/۸۳۷ **
مکان×تیمار	۹	۰/۰۲۳ ns	۰/۰۰۱ **	۱/۰۳ **
خطای آزمایش	۵۴	۰/۲۴	۰/۰۰۱	۰/۲۰۹
ضریب تغییرات (درصد)	-	۸/۳	۱۰/۴۸	۶/۰۴

*، **و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۴-۱۸- مقایسه میانگین صفات کیفی در نیشکر تحت تأثیر تیمارهای مختلف

تیمارها	درصد خلوص در شربت (درصد)	بریکس در شربت (درصد)	فسفر میانگره پنجم در ساقه (درصد)	فسفر خاک در پای بوته (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	نیتروژن در پهنک برگ (درصد)	فسفر در پهنک برگ (درصد)	پتاسیم در پهنک برگ (درصد)	رطوبت در غلاف برگ (درصد)	فیبر در شربت (درصد)	RS در شربت (درصد)
خالص نیشکر	۸۴/۲۴ b	۲۰/۱۲ d	۰/۰۳۴ c	۱۱/۱۵ c	۱/۵۹ f	۰/۱۶۳ b	۱/۴۷ c	۷۸/۷۱ d	۱۳/۹۳ a	۱۰/۱۶ c
خالص نیشکر+ قارچ	۸۷/۱۱ a	۲۱/۸۰ ab	۰/۰۸۹ b	۱۳/۴۸ a	۱/۸۲ de	۰/۲۴۶ a	۱/۸۰ b	۸۳/۶۵ a	۱۳/۰۵ c	۱۱/۵۸ b
مخلوط نیشکر و لوبیا	۸۴/۴۵ b	۲۱/۲۷ c	۰/۰۴۰ c	۱۱/۵۲ bc	۱/۸۳ d	۰/۱۷۰ b	۱/۵۰ c	۸۰/۰۸ b	۱۳/۷۰ b	۱۰/۲۷ c
مخلوط نیشکر و سویا	۸۴/۳۳ b	۲۰/۰۶ d	۰/۰۳۶ c	۱۱/۳۰ bc	۱/۶۰ f	۰/۱۶۷ b	۱/۴۸ c	۷۸/۸۷ d	۱۳/۹۳ a	۱۰/۲۳ c
مخلوط نیشکر و لوبیا+باکتری	۸۴/۴۹ b	۲۱/۱۱ c	۰/۰۴۱ c	۱۱/۷۰ b	۱/۹ c	۰/۱۷۲b	۱/۵۱ c	۷۹/۴۸ c	۱۳/۷۸ab	۱۰/۲۸ c
مخلوط نیشکر و سویا+باکتری	۸۴/۲۹ b	۲۰/۱۷ d	۰/۰۳۹ c	۱۱/۴۶ bc	۱/۶۰ f	۰/۱۶۸ b	۱/۵۰ c	۷۹/۰۷cd	۱۳/۹۱ a	۱۰/۲۳ c
مخلوط نیشکر+قارچ و لوبیا	۸۷/۱۹ a	۲۱/۸۶ a	۰/۰۹۶ b	۱۳/۹۰ a	۱/۹۹ b	۰/۲۵۲ a	۱/۸۳ b	۸۳/۶۹ a	۱۳/۰۵ c	۱۱/۷۳a
مخلوط نیشکر+قارچ و سویا	۸۷/۰۹ a	۲۱/۷۹ ab	۰/۰۹۴b	۱۳/۶۲ a	۱/۸۲ de	۰/۲۵۱ a	۱/۸۲ b	۸۳/۴۵ a	۱۳/۰۶ c	۱۱/۵۸ b
مخلوط نیشکر+قارچ و سویا+باکتری	۸۷/۰۱ a	۲۱/۸۰ ab	۰/۰۹۵ b	۱۳/۶۵ a	۱/۷۷ e	۰/۲۵۱ a	۱/۸۲ b	۸۳/۵۲ a	۱۳/۰۷ c	۱۱/۶۹ab
مخلوط نیشکر+قارچ و لوبیا+باکتری	۸۷/۲۸ a	۲۱/۸۸ a	۰/۱۱۶a	۱۳/۹۰ a	۲/۱ a	۰/۲۶۳ a	۱/۹۱ a	۸۳/۸۲ a	۱۲/۹۷ c	۱۱/۷۳ a

* : اعدادی که در هر ستون حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ۴-۱۹- مقایسه میانگین بهره‌وری آب و صفات کیفی در نیشکر تحت اثر متقابل تیمارها و مکان‌های مختلف

مکان‌ها	تیمارها	بهره‌وری آب (کیلوگرم در متر مکعب)	درصد خلوص در شربت (درصد)	فسفر میانگره پنجم در ساقه (درصد)	فسفر خاک در پای بوته (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
اول	خالص نیشکر	۳/۱ l*	۸۱/۵۰ e	۰/۰۴ e	۱۰/۸۲ e
اول	خالص نیشکر+ قارچ	۳/۲۵ k	۸۹/۳۹ b	۰/۰۹ bcd	۱۴/۹۴۵ a
اول	مخلوط نیشکر و لوبیا	۴/۳ c	۸۴/۷۳ d	۰/۰۴۱ e	۱۲/۳ bcd
اول	مخلوط نیشکر و سویا	۳/۹ gh	۸۱/۵۱ e	۰/۰۴ e	۱۲/۲۳ bcd
اول	مخلوط نیشکر و لوبیا+باکتری	۴/۳۷۵ c	۸۴/۷۹ d	۰/۰۴۲ e	۱۲/۲۳ bcd
اول	مخلوط نیشکر و سویا+باکتری	۳/۹۲ gh	۸۴/۵۳ d	۰/۰۴ e	۱۰/۹۶ e
اول	مخلوط نیشکر+قارچ و لوبیا	۴/۵۲ b	۸۹/۶۷ ab	۰/۱۰۲ b	۱۵/۱۳ a
اول	مخلوط نیشکر+قارچ و سویا	۴/۰۷ de	۸۷/۵۶ c	۰/۱ bc	۱۲/۵ bc
اول	مخلوط نیشکر+قارچ و سویا+باکتری	۴/۰۳ et	۸۷/۴۹ c	۰/۰۹۷ bc	۱۲/۳۸ bc
اول	مخلوط نیشکر+قارچ و لوبیا+باکتری	۴/۶۲ a	۸۹/۹۴ a	۰/۱۳ a	۱۵/۳ a
دوم	خالص نیشکر	۳/۰ m	۸۱/۰۳ f	۰/۰۳۱ e	۱۰/۵۹ e
دوم	خالص نیشکر+ قارچ	۳/۲۷ k	۸۷/۳۹ c	۰/۰۸۹ bcd	۱۲/۲۱ bcd
دوم	مخلوط نیشکر و لوبیا	۳/۸۷ h	۸۴/۶۲ d	۰/۰۴ e	۱۱/۹۷ cd
دوم	مخلوط نیشکر و سویا	۳/۵۷ j	۸۱/۱۸ et	۰/۰۳۷ e	۱۰/۶۴ e
دوم	مخلوط نیشکر و لوبیا+باکتری	۳/۹۷ fg	۸۴/۷۱ d	۰/۰۳۷ e	۱۱/۹۷ cd
دوم	مخلوط نیشکر و سویا+باکتری	۳/۵۷ j	۸۱/۱۲ et	۰/۰۳۳ e	۱۱/۷ d
دوم	مخلوط نیشکر+قارچ و لوبیا	۴/۱۵ d	۸۹/۴۹ b	۰/۱۰۲ b	۱۴/۷۵ a
دوم	مخلوط نیشکر+قارچ و سویا	۳/۷۲ i	۸۷/۴۶ c	۰/۰۸۷ cd	۱۲/۶۵ b
دوم	مخلوط نیشکر+قارچ و سویا+باکتری	۳/۷ i	۸۷/۳۵ c	۰/۰۸ d	۱۲/۳ bcd
دوم	مخلوط نیشکر+قارچ و لوبیا+باکتری	۴/۳ c	۸۹/۵۰ b	۰/۱۰۴ b	۱۴/۹۲ a

* : اعدادی که در هر ستون حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ۴-۲۰- مقایسه میانگین صفات کیفی در نیشکر تحت تأثیر مکان‌های مختلف

صفات	مکان اول	مکان دوم	صفات	مکان اول	مکان دوم
نیتروژن در پهنک برگ (درصد)	۲/۰۱ a	۱/۸۱ b	**رطوبت در غلاف برگ (درصد)**	۸۱/۹۴ a	۸۰/۸۴ b
فسفر در پهنک برگ (درصد)	۰/۲۴ a	۰/۱۸ b	**RS در شربت (درصد)**	۱۱/۸۱ a	۱۰/۰۶ b
فسفر در ریشه نیشکر (درصد)	۰/۲۱ a	۰/۱ b	**فیبر در شربت (درصد)**	۱۳/۰۲ a	۱۳/۸۶ b
پتاسیم در ریشه نیشکر (درصد)	۰/۲۹ a	۰/۱۸ b	**کلونیزاسیون ریشه (درصد)**	۳۱/۹۱ a	۳۰/۷۱ b
بریکس در شربت نیشکر (درصد)	۲۱/۴۴ a	۲۰/۴۲ b	**فسفر خاک در پای بوته نیشکر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)**	۱۳/۵۳ a	۱۱/۶ b
فسفر میانگره پنجم در ساقه نیشکر (درصد)	۰/۱ a	۰/۰۶ b			

* : اعدادی که در هر ردیف حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

۴-۱-۱۵- نیتروژن، فسفر، پتاسیم موجود در پهنک برگ و رطوبت غلاف برگ نیشکر

نتایج نشان دادند تیمارهای مختلف در سطح یک درصد تأثیر معنی‌دار روی درصد نیتروژن، فسفر، پتاسیم در پهنک برگ و رطوبت غلاف برگ داشتند. مکان‌های مختلف نیز روی درصد نیتروژن پهنک در سطح پنج درصد و روی درصد فسفر پهنک برگ و درصد رطوبت غلاف برگ در سطح یک درصد تأثیر معنی‌دار داشتند درصورتیکه روی پتاسیم پهنک تأثیر معنی‌دار نداشتند (جدول ۴-۱۷). بیش‌ترین رطوبت غلاف برگ نیشکر (۸۳/۸۲ درصد) در تیمار کشت مخلوط نیشکر (بیوپرایم شده با میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی (تلقیح با رایزوبیوم) به‌دست آمد که با بقیه تیمارهای دارای میکوریزا تفاوت معنی‌دار نداشت و کم‌ترین رطوبت غلاف برگ نیشکر (۷۸/۷۱ درصد) مربوط به کشت خالص نیشکر بود که با دیگر تیمارهای بدون تلقیح با میکوریزا تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۴-۱۸). این موضوع که همسو با یافته‌های دیگر

محققین (کیلی و همکاران، ۲۰۰۵، بهات و همکاران، ۲۰۱۱) می‌باشد توانایی و نقش مثبت میکوریزا در کمک به ریشه نیشکر در جذب آب از خاک را نشان می‌دهد. ریسه‌های میکوریزا به دو دسته تقسیم می شوند، تعدادی از ریسه‌های میکوریزا وارد سیستم ریشه گیاه شده و سبب کاهش غلظت آبسیزیک اسید گشته و میزان سیتوکنین را افزایش می‌دهند. این کار سبب افزایش جذب آب توسط سیستم ریشه‌ای گیاه می‌گردد همچنین میکوریزا سبب افزایش جذب نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، مس و روی از خاک می‌شود (اسمیت و رید، ۲۰۰۸). کم‌ترین درصد نیتروژن پهنک برگ نیشکر (۱/۵۹ درصد) در تیمار خالص نیشکر و بیش‌ترین آن (۲/۱ درصد) در تیمار کشت مخلوط نیشکر (تلقیح با میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی (تلقیح با رایزوبیوم) به‌دست آمد (جدول ۴-۱۸). در تیمارهایی که قبلاً لوبیا چشم بلبلی وجود داشت، نسبت به تیمارهایی که نه لوبیا چشم بلبلی و نه میکوریزا حضور نداشتند، درصد نیتروژن پهنک برگ نیشکر بیش‌تر شد. این موضوع علاوه بر نشان دادن نقش مثبت لوبیا چشم بلبلی در تأمین نیتروژن بیش‌تر در محیط ریشه نیشکر از طریق تثبیت زیستی نیتروژن، اثر هم افزایی میکوریزا (تلقیح شده با نیشکر) و لوبیا چشم بلبلی را روی افزایش نیتروژن پهنک برگ نشان می‌دهد. واکنش پتاسیم در پهنک برگ نیشکر نسبت به تیمارهای مختلف، همانند واکنش نیتروژن بود و کم‌ترین پتاسیم پهنک برگ (۱/۴۷) و بیش‌ترین آن (۱/۹۱) به ترتیب در تیمارهای خالص نیشکر و کشت مخلوط نیشکر (تلقیح با میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی (تلقیح با رایزوبیوم) مشاهده شد. با توجه به نقش اصلی قارچ میکوریزا در کمک به جذب عنصر فسفر توسط ریشه گیاه از خاک، در جدول ۴-۱۸ نقش میکوریزا در جذب فسفر به‌خوبی دیده می‌شود، بیش‌ترین میزان فسفر در پهنک برگ در تیمارهایی که نیشکر با این قارچ تلقیح شده بود و کم‌ترین آن در بقیه تیمارهایی که میکوریزا حضور نداشت به دست آمد. مقادیر نیتروژن، فسفر در پهنک و رطوبت غلاف برگ نیشکر در مکان اول بیش‌تر از مکان دوم بود (جدول ۴-۲۰) که این موضوع احتمالاً به دلیل شرایط بهتر خاک در مکان اول برای فعالیت میکوریزا، رشد و تثبیت نیتروژن بیش‌تر توسط لوبیا چشم بلبلی

می‌باشد. با توجه به اینکه اندازه‌گیری نیتروژن، فسفر، پتاسیم برگ و رطوبت غلاف برگ در زمان فعالیت رشدی نیشکر (هفته سوم خرداد ماه) انجام شد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت میکوریزا از طریق کمک به ریشه‌ی نیشکر در جذب آب و عناصر بیش‌تر از خاک و همچنین نقش مثبت لوبیا چشم بلبلی در تأمین نیتروژن بیش‌تر در محیط ریشه نیشکر در تیمار مخلوط با نیشکر، شرایط مناسبی برای رشد رویشی نیشکر از طریق افزایش فتوسنتز فراهم شد که در نهایت منجر به عملکرد کمی و کیفی بیش‌تر نسبت به تیمارهای شاهد شد.

در پژوهشی که بر روی الگوی کشت (کشت شبدر بین ردیف‌های نیشکر و کشت شبدر بین و داخل ردیف‌های نیشکر) و میزان بذر مصرفی (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوگرم بذر شبدر در هکتار) در کشت مخلوط با نیشکر (رقم Cp57-614) انجام شد، مشخص شد حضور شبدر در کشت مخلوط با نیشکر باعث تداوم و ثبات نیتروژن در پهنک برگ نیشکر شد. در تیمارهای ۱۰ و ۴۰ کیلوگرم بذر مصرفی شبدر در هکتار، به ترتیب ۱/۶ درصد و ۲/۱ درصد نیتروژن در پهنک برگ نیشکر وجود داشت. ثبات نیتروژن بیش‌تر در پهنک برگ نیشکر در تیمار ۴۰ کیلوگرم بذر مصرفی شبدر در هکتار به این دلیل بود که تراکم بیش‌تر شبدر در بین ردیف‌های کشت نیشکر باعث کاهش تراکم علف‌های هرز و در نتیجه امکان بهره‌وری بیش‌تر نیشکر از میزان نیتروژن تثبیت شده بیش‌تر شد (حسن نژاد خسرو آبادی و همکاران، ۱۳۸۹). این نتایج همسو با نتایج پژوهش کنونی می‌باشند.

با توجه به این‌که رطوبت غلاف برگ یک پارامتر مهم برای تصمیم گیری در مورد زمان و میزان آبیاری و در نهایت بسیار مؤثر روی عملکرد نی می‌باشد در تحقیقی گزارش شد استفاده از ۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار میکوریزا به‌همراه سه تن در هکتار شاخ و برگ حاصل از برداشت سبز نیشکر اثر معنی‌داری در سطح پنج درصد روی درصد رطوبت غلاف برگ و همچنین میزان فسفر موجود در پهنک برگ دارد (اوشا رنت، ۲۰۱۳).

۴-۱-۱۶- فسفر موجود در میانگره پنجم ساقه و فسفر خاک در محیط ریشه نیشکر

نتایج تجزیه واریانس نشان دادند که تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف و اثر متقابل آن‌ها روی فسفر موجود در میانگره پنجم ساقه نیشکر و فسفر موجود در خاک محیط ریشه همان بوته مورد آزمایش، در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴-۱۷). جدول ۴-۱۸ حاکی از بیش‌تر بودن فسفر در میانگره پنجم ساقه نیشکر در تیمارهای دارای میکوریزا نسبت به تیمارهای فاقد میکوریزا می‌باشد به گونه‌ای که کم‌ترین میزان فسفر در میانگره پنجم ساقه (۰/۰۳۴ درصد) در کشت خالص نیشکر و بیش‌ترین آن (۰/۱۱۶ درصد) در تیمار کشت مخلوط نیشکر (تلقیح با میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی (تلقیح با رایزوبیوم) به‌دست آمد. بیش‌ترین میزان فسفر در میانگره پنجم ساقه (۰/۱۳) درصد در مکان اول در تیمار مخلوط نیشکر (تلقیح با میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی (بیوپرایم شده با رایزوبیوم) و کم‌ترین آن (۰/۰۳) درصد در مکان دوم در تیمارهایی مشاهده شد که نیشکر با میکوریزا تلقیح نشده بود (جدول ۴-۱۹). این موضوع هم‌زیستی خوب نیشکر با قارچ میکوریزا را نشان می‌دهد. در تیمارهایی که میزان فسفر در میانگره پنجم ساقه (که هفته دوم مرداد ماه اندازه‌گیری شد) افزایش یافت، در خاک محیط ریشه (پای بوته نیشکر که ۱۵ تا ۲۰ خرداد ماه اندازه‌گیری شد) نیز بیش‌تر بود. به نظر می‌رسد فسفر فراهم خاک در تیمارهای دارای میکوریزا، افزایش یافته باشد که دلیل آن می‌تواند انحلال فسفر توسط هیف‌های قارچی باشد. ترشح اسیدهای آلی و آنزیم های فسفاتاز ترشح شده توسط هیف‌های قارچی، موجب انحلال فسفر خاک می‌گردند و به همین دلیل میزان فسفر در خاک افزایش یافت و همین موضوع باعث افزایش جذب فسفر از خاک توسط ریشه‌ی نیشکر تلقیح شده با میکوریزا شد (فسفر خاک انحلال یافته در تیمارهای دارای میکوریزا نسبت به تیمارهای بدون میکوریزا بیش‌تر از تفاوت بین میزان جذب فسفر توسط ریشه نیشکر در تیمارهای دارای میکوریزا با تیمارهای بدون میکوریزا بود). تورک و همکاران (۲۰۰۶) بیان نمودند که نقش اصلی قارچ‌های میکوریزی تأمین فسفر برای ریشه گیاه است، زیرا فسفر در خاک عنصری فوق العاده

کم تحرک است. حتی در صورتی‌که فسفر به شکل محلول به خاک اضافه شود به سرعت در اشکال فسفات کلسیم یا دیگر اشکال تثبیت شده و به صورت غیر متحرک در می‌آید. همچنین تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز توسط ریسه‌های میکوریزا باعث می‌شود که فسفات غیرمحلول و تثبیت شده در خاک به فرم محلول در آید و برای ریشه قابل جذب گردد. بنابراین، قارچ‌های میکوریزا در افزایش جذب مواد معدنی به ویژه فسفر و تجمع زیست توده بسیاری از محصولات در خاک‌های با فسفر کم، تأثیر مثبت دارند. در جدول ۴-۱۹ مشاهده می‌شود در تمام تیمارها، در مکان اول میزان فسفر موجود در میانگره پنجم ساقه نیشکر بیش‌تر از مکان دوم و همچنین میزان فسفر موجود در خاک محیط ریشه همان بوته نیشکر بیش‌تر از مکان دوم بود. با توجه به جدول ۴-۲۰ می‌توان بیان کرد فعالیت میکوریزا در مکان اول بیش‌تر از مکان دوم بوده که باعث افزایش فسفر در خاک محیط ریشه‌ی نیشکر تلقیح شده با میکوریزا، و افزایش فسفر در ساقه نیشکر شد. با افزایش مصرف کودهای فسفره در کشاورزی و به مرور زمان افزایش فسفر تثبیت شده در خاک، باعث تشکیل لایه‌های سخت گردیده و عمق خاک زراعی را کم نموده، نفوذ و توسعه ریشه گیاه را در خاک محدود می‌کند و از جذب سایر عناصر غذایی تا حدودی جلوگیری می‌کند. بنابراین اگر بتوان راه کاری ارایه نمود که اولاً کود فسفره کم‌تری مصرف شود و از طرف دیگر بتوان از فسفر تثبیت شده در خاک استفاده نمود می‌توان گام مؤثری در کاهش هزینه‌ها، حفظ منابع معدنی، حفظ محیط زیست، استفاده بهینه از کود و جلوگیری از تخریب خاک برداشت، که این امر یکی از شاخه‌های بسیار اساسی در بحث کشاورزی پایدار می‌باشد، که قارچ‌های میکوریزا در این جهت نقش عمده‌ای ایفا می‌کنند (میشرا، ۲۰۱۰).

۴-۱-۱۷- نیتروژن، فسفر، پتاسیم موجود در ریشه‌ی نیشکر

نتایج تجزیه واریانس نشان دادند که تأثیر تیمارهای مختلف روی درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجود در ریشه‌ی نیشکر در سطح یک درصد معنی‌دار بود. مکان‌های مختلف روی درصد فسفر و پتاسیم

در ریشه‌ی نیشکر در سطح پنج درصد تأثیر معنی‌دار داشتند ولی روی درصد نیتروژن تأثیر معنی‌دار نداشتند. اثر متقابل تیمارها و مکان‌های مختلف نیز تأثیر معنی‌داری روی هیچکدام از صفات ذکر شده نداشتند (جدول ۴-۲۱). کم‌ترین نیتروژن موجود در ریشه‌ی نیشکر (۰/۴۸۴ درصد) در کشت خالص نیشکر و بیش‌ترین نیتروژن موجود در ریشه‌ی نیشکر (۰/۶۷۲ درصد) در تیمار مخلوط نیشکر (تلقیح با میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی (تلقیح با رایزوبیوم) به‌دست آمد که البته با دیگر تیمارهای کشت مخلوط نیشکر با لوبیا چشم بلبلی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴-۲۲) این موضوع برتری گیاه لوبیا چشم بلبلی در تأمین نیتروژن بیش‌تر در محیط ریشه نیشکر و همچنین اثر مثبت هم افزایی میکوریزا در ریشه نیشکر و حضور لوبیا چشم بلبلی در یک تیمار را تأیید می‌کند. تعدادی از ریسه‌های قارچ میکوریزا خارج از سیستم ریشه می‌باشند، این ریسه‌ها اسیدهای آلی حل کننده فسفر مانند اسید مالیک تراوش کرده که جذب فسفر در ریشه گیاه را افزایش می‌دهد (اسمیت و رید، ۲۰۰۸). افزایش جذب فسفر به وسیله تسهیل انتقال فسفر از خاک به ریشه‌ی گیاهان و محلول ساختن فسفر به‌وسیله فسفاتاز صورت می‌گیرد (اسمیت و رید، ۲۰۰۸). در این پژوهش در تیمارهایی که قارچ میکوریزا وجود داشت، میزان فسفر موجود در ریشه نیشکر بیش‌تر از تیمارهای فاقد میکوریزا بود. بیش‌ترین فسفر در ریشه‌ی نیشکر (۰/۲۲۲ درصد) در تیمار مخلوط نیشکر (بیوپرایم شده با میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی (بیوپرایم شده با رایزوبیوم) به‌دست آمد (جدول ۴-۲۲). این موضوع نشان دیگری از فعالیت و نقش مثبت قارچ میکوریزا در هم‌زیستی با نیشکر می‌باشد.

در پژوهشی مشخص شد که میزان فسفر جذب شده توسط نیشکر و سرعت فتوسنتز گیاه تلقیح شده با قارچ آربسکولار میکوریزا در مقایسه با گیاه بدون میکوریزا بیش‌تر بود (جمال و همکاران، ۲۰۰۶)، که این نتیجه همسو با نتایج تحقیق حاضر می‌باشد. پتاسیم نیز واکنشی مشابه نیتروژن و فسفر از خود نشان داد و مقدار آن در ریشه نیشکر در تیمارهایی که میکوریزا وجود داشت بیش‌تر از تیمارهای عدم وجود

میکوریزا بود (جدول ۴-۲۲). با توجه به جدول ۴-۲۰، میزان فسفر و پتاسیم ریشه‌ی نیشکر در مکان اول بیش‌تر از مکان دوم بود که این موضوع را احتمالاً می‌توان به شرایط بهتر خاک مکان اول برای فعالیت میکوریزا نسبت داد.

جدول ۴-۲۱- تجزیه واریانس مرکب صفات کیفی در ریشه نیشکر تحت اثر مکان‌ها و تیمارهای مختلف

		میانگین مربعات		
منابع تغییر	**درجه آزادی**	**نیتروژن در ریشه نیشکر**	**فسفر در ریشه نیشکر**	**پتاسیم در ریشه نیشکر**
مکان	۱	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۱ *	۰/۳۳۸ *
تکرار (مکان)	۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۲۵
تیمار	۹	۰/۱۰۶ **	۰/۰۵۴ **	۰/۳۲۸ **
مکان×تیمار	۹	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۱۶ ns
خطای آزمایش	۵۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱۸
ضریب تغییرات (درصد)	-	۲/۹۴	۶/۶۴	۶/۷۶

*، **و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۴-۲۲- مقایسه میانگین نیتروژن، فسفر و پتاسیم در ریشه نیشکر تحت اثر تیمارهای مختلف

تیمار	نیتروژن در ریشه نیشکر (درصد)	فسفر در ریشه نیشکر (درصد)	پتاسیم در ریشه نیشکر (درصد)
خالص نیشکر	۰/۴۸۴ d*	۰/۰۶۲ e	۰/۲۱۰ c
خالص نیشکر + قارچ	۰/۵۵۴ b	۰/۲۱۷ b	۰/۳۲۱ b
مخلوط نیشکر و لوبیا	۰/۶۶۹ a	۰/۰۶۶ d	۰/۲۱۵ c
مخلوط نیشکر و سویا	۰/۵۰۹ c	۰/۰۶۷ d	۰/۲۱۲ c
مخلوط نیشکر و لوبیا+باکتری	۰/۶۷۰ a	۰/۰۷۰ c	۰/۲۱۶ c
مخلوط نیشکر و سویا+باکتری	۰/۵۰۹ c	۰/۰۶۱ e	۰/۲۱۱ c
مخلوط نیشکر+قارچ و لوبیا	۰/۶۶ a	۰/۲۲۰ a	۰/۳۲۸ ab
مخلوط نیشکر+قارچ و سویا	۰/۵۵۶ b	۰/۲۲۱ a	۰/۳۲۵ b
مخلوط نیشکر+قارچ و سویا+باکتری	۰/۵۵۱ b	۰/۲۱۹ ab	۰/۳۲۶ ab
مخلوط نیشکر+قارچ و لوبیا+باکتری	۰/۶۷۲ a	۰/۲۲۲ a	۰/۳۳۶ a

* : اعدادی که در هر ستون حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

۴-۱-۱۸- تراکم و وزن ماده خشک علف‌های هرز

نتایج نشان دادند که تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی تراکم و وزن ماده خشک علف‌های هرز داشتند. در صورتیکه مکان‌های مختلف تأثیر معنی‌داری بر تراکم و وزن خشک علف‌های هرز نشان ندادند (جدول ۴-۲۳). گونه‌های غالب علف هرز در این پژوهش شامل پنیرک، چچم و ترشک بود. بیش‌ترین تراکم (۴/۲۵ عدد در متر مربع) و وزن ماده خشک علف‌های هرز (۱۲۸۸/۰ گرم در متر مربع) مربوط به کشت خالص نیشکر (البته با تیمار خالص نیشکر تلقیح شده با میکوریزا تفاوت

معنی‌داری نداشت) و کم‌ترین تراکم علف‌های هرز (۰/۵۷۵ عدد در متر مربع) و وزن ماده خشک علف‌های هرز (۳۹/۶۳ گرم در متر مربع) مربوط به کشت مخلوط نیشکر تلقیح شده با قارچ + لوبیا چشم بلبلی تلقیح شده با باکتری بود که البته با تیمار کشت مخلوط نیشکر تلقیح شده با قارچ + لوبیا چشم بلبلی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴-۲۶). برخی از گونه‌های گیاهی با میکوریزا رابطه هم‌زیستی ندارند که به این گیاهان، گیاهان غیر میکوریزایی گفته می‌شود. برخی علف‌های هرز متعلق به این گروه‌ها هستند (Brassicaceae, Polygonaceae, Amaranthaceae, Caryophyllaceae). به نظر می‌رسد در برخی علف‌های هرز رابطه بین میکوریزا و علف‌هرز از نوع منفی باشد که از این خاصیت میکوریزا می‌توان در مدیریت علف‌های هرز در کشاورزی پایدار استفاده کرد (ویگا و همکاران، ۲۰۱۳). با توجه به نقش اصلی میکوریزا در افزایش جذب آب و عناصر غذایی توسط ریشه گیاه میزبان (نیشکر)، باعث شده نیشکر در رقابت با علف‌هرز برای جذب عناصر غذایی توان بیش‌تری داشته باشد و باعث مغلوب شدن علف‌هرز در جذب آب و عناصر شده و از طرفی در کشت مخلوط به دلیل پوشش بیش‌تر سطح خاک نسبت به کشت خالص، نور کم‌تری از کانوپی عبور کرده و به سطح خاک رسیده و درنتیجه جوانه زنی علف‌های هرز کم‌تر می‌شود. در واقع کشت مخلوط از طریق ایجاد پوشش بهتر و متراکم‌تر زمین و رقابت بیش‌تر برای استفاده از منابع موجود نسبت به کشت خالص، باعث کاهش میزان خسارت علف‌های هرز می‌شود. در کشت مخلوط لوبیا چشم بلبلی با نیشکر و سویا با نیشکر و همچنین در کشت‌های خالص لوبیا چشم بلبلی و سویا، کم‌ترین تراکم و وزن خشک علف‌های هرز مربوط به کرت‌های شامل لوبیا چشم بلبلی و بیش‌ترین تراکم و وزن خشک علف‌های هرز مربوط به کرت‌های شامل سویا بود. که این موضوع به دلیل گسترش بهتر کانوپی لوبیا چشم بلبلی و پوشاندن بهتر سطح خاک توسط لوبیا نسبت به سویا بود که مانع رسیدن نور به زمین و در نتیجه باعث کاهش جوانه زنی بذر علف‌های هرز شد. در پژوهشی گزارش شد تأثیر کشت مخلوط لوبیا چشم بلبلی به‌صورت افزایشی در بین ردیف‌های نیشکر روی کنترل علف‌های هرز در سطح

پنج درصد معنی‌دار شد (پلاس و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج مشابهی در مورد کنترل علف‌های هرز در کشت مخلوط نیشکر با گندم (کومار و همکاران، ۲۰۱۷) و کشت مخلوط نیشکر با کلزا (کائور و همکاران، ۲۰۱۶) نیز اعلام شده است. گومز وگرویچ (۲۰۰۵) نیز در بررسی اثر کشت مخلوط ذرت و سویا بر کنترل علف‌های هرز دریافتند که خسارت علف‌های هرز در کشت مخلوط افزایشی بسیار کم‌تر از کشت خالص بود. تمام این نتایج همسو با نتایج این پژوهش در خصوص کنترل غیر شیمیایی علف‌های هرز می‌باشند.

جدول ۴-۲۳- تجزیه واریانس مرکب تراکم و وزن ماده خشک علف‌های هرز تحت تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف

		میانگین مربعات	
منابع تغییر	**درجه آزادی**	**تراکم علف‌های هرز**	**وزن خشک علف‌های هرز**
مکان	۱	۰/۰۴۳ ns	۱۳۲۳/۲۳۱ ns
تکرار (مکان)	۶	۰/۰۳	۴۵۸۹۷/۰۹۹
تیمار	۱۳	۱۰/۵۴۸ **	۱۳۹۵۶۴۶/۶۸ **
مکان × تیمار	۱۳	۰/۱۳۱ ns	۷۹۱۳/۲۰۱ ns
خطای آزمایش	۷۸	۰/۱۳	۸۴۵۲/۶۰۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۸/۸۷	۱۹/۸۸

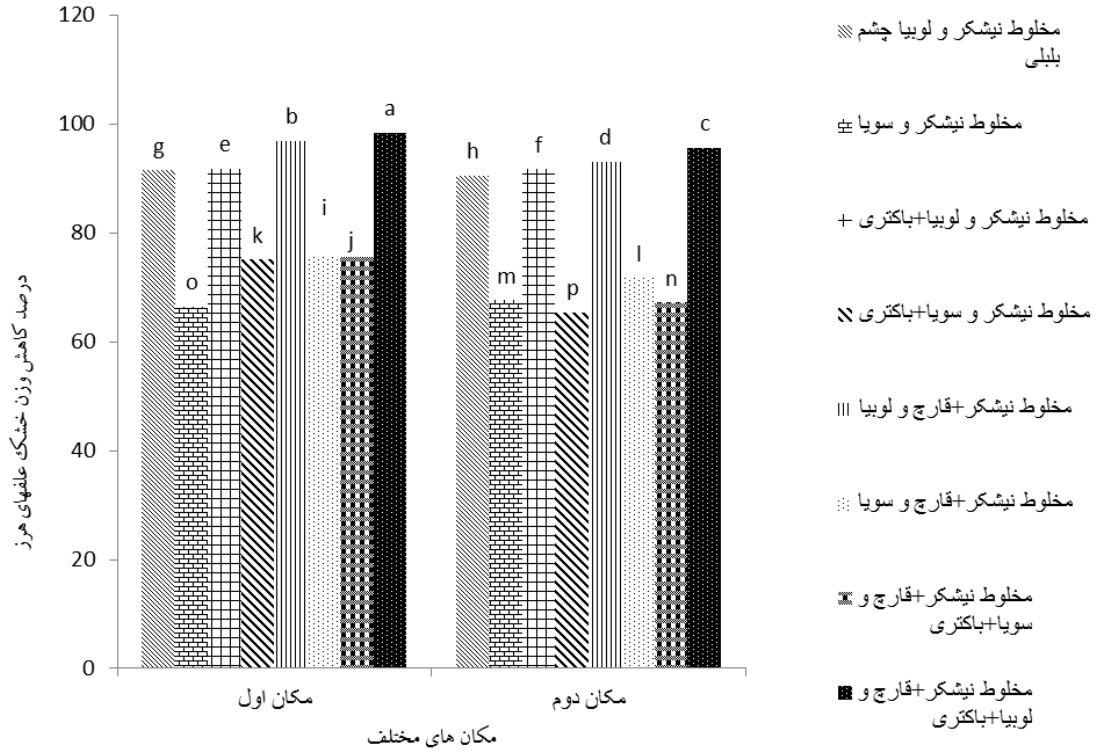
*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار.

۴-۱-۱۹- درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز

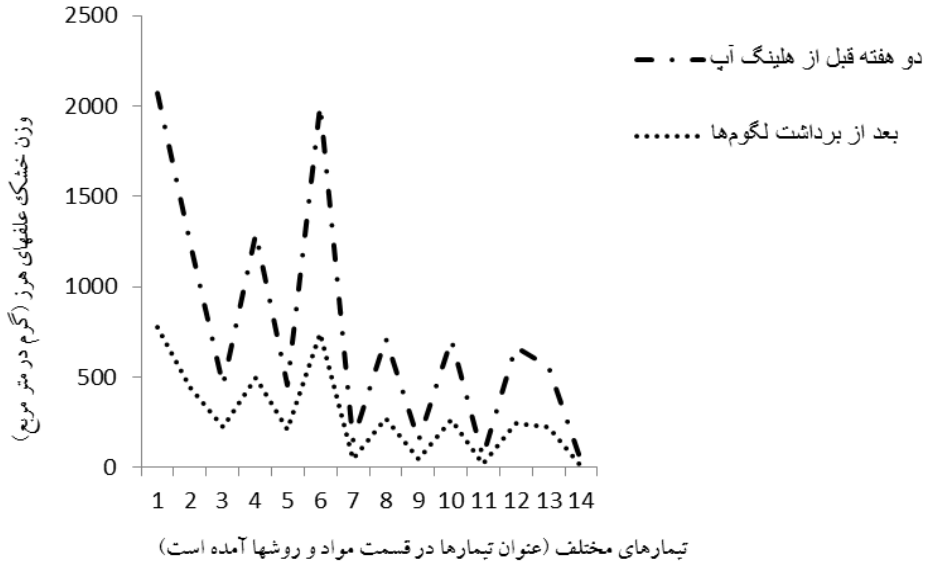
در شکل ۴-۱ مشاهده می‌شود در مکان اول درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، بیش‌تر از مکان دوم بود. در هر دو مکان بیش‌ترین درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز (۹۸/۳۲ درصد و ۹۵/۵۵ درصد) نسبت به کشت خالص، در کشت مخلوط نیشکر تلقیح شده با میکوریزا + لوبیا تلقیح شده با رایزوبیوم به‌دست آمد. کم‌ترین درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز در مکان اول (۶۶/۳۷ درصد) در تیمار کشت مخلوط نیشکر و سویا و در مکان دوم (۶۵/۳۴ درصد) در کشت مخلوط نیشکر و سویا تلقیح شده با باکتری مشاهده شد. این موضوع به دلیل بهتر بودن وضعیت رشد و

گسترش کانوپی گیاهان زراعی و استفاده بهتر از نور توسط گیاهان زراعی و در نتیجه عدم رسیدن نور کافی برای جوانه زنی و رشد علف‌های هرز به پایین کانوپی در تیمار در مکان اول (و به خصوص در تیمار کشت مخلوط نیشکر (تلقیح شده با میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی (تلقیح شده با رایزوبیوم) نسبت به مکان دوم می‌باشد. مفهوم شکل‌های ۴-۲ و ۴-۳ این است که مقدار وزن خشک علف‌های هرز در هر دو مکان مختلف در مرحله نمونه برداری قبل از عملیات هلینگ آپ بیش‌تر از مقدار آن‌ها در مرحله نمونه برداری بعد از برداشت گیاهان لگوم بود، زیرا عملیات هلینگ آپ حدود سه ماه بعد از برداشت گیاهان لگوم انجام شد و در این مدت علف‌های هرز رشد بیش‌تری کرده‌اند، اما نکته جالب این است که روند تغییرات وزن خشک علف‌های هرز در تیمارهای مختلف در نمونه برداری مرحله دوم همانند نمونه برداری مرحله اول بود، به نحوی که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار وزن خشک علف‌های هرز به ترتیب در کشت خالص نیشکر و کشت مخلوط نیشکر تلقیح شده با میکوریزا + لوبیا چشم بلبلبی تلقیح شده با رایزوبیوم به‌دست آمد. این موضوع برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص و این‌که هم‌زیست شدن میکوریزا با نیشکر و رایزوبیوم با لوبیا چشم بلبلی در این تحقیق باعث مغلوب شدن علف‌های هرز در رقابت با نیشکر و لوبیا در جذب عناصر شدند را اثبات می‌کند. در آزمایشی گزارش شد بیوماس و رشد سه علف هرز سوروف، چسبک و تاجریزی در تلقیح با میکوریزا کم شد و هیچ‌کدام از علف‌های هرز مذکور از وجود میکوریزا سود نبردند. درصورتیکه گیاه زراعی ذرت در مقایسه با علف‌های هرز مذکور از هم‌زیستی با میکوریزا سود برد و افزایش قدرت ذرت در رقابت بین جذب آب و عناصر غذایی با علف‌های هرز، دلیل کاهش رشد علف‌های هرز اعلام شد. در آزمایش مذکور میکوریزا حالت پارازیتی بر سوروف داشته است (ویگا و همکاران، ۲۰۱۱). در آزمایشی دیگر عصاره استخراج شده از خاک حاوی مسیلیوم میکوریزا مورد بررسی قرار گرفت و گزارش شد رشد علف‌های هرز غیر میکوریزیایی کاهش یافت. استفاده از کربن فعال در تیمارهای مربوطه، نظریه تأثیر مواد آللوپاتیک میکوریزا روی علف‌هرز گندمک را رد کرد و کاهش رشد در علف‌هرز گندمک (گیاه

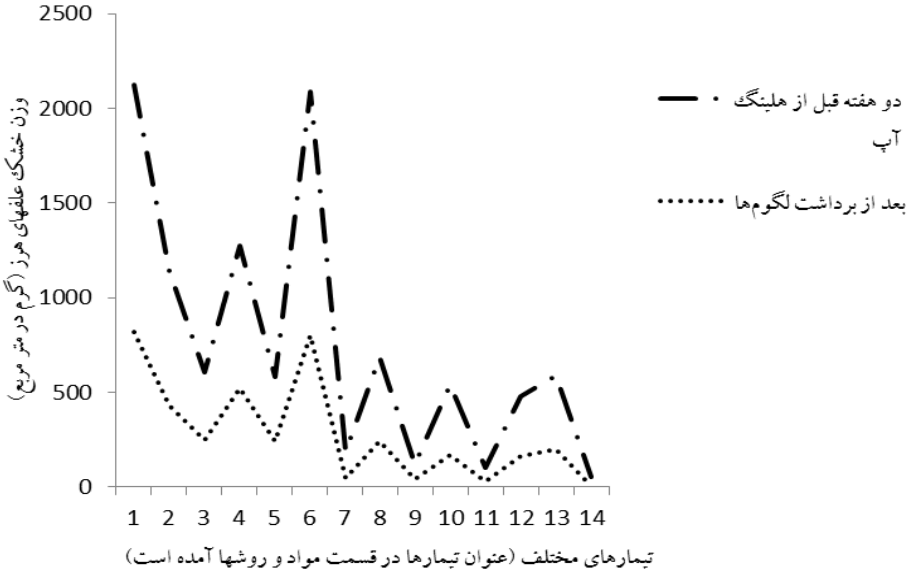
غیر میکوریزایی) در رقابت با گیاه زراعی گندم (میزبان مایکوریزا)، به دلیل اثرات آنتاگونیستی میکوریزا بود که مسیر جذب مستقیم فسفر را در گندمک مسدود کرده و عناصر غذایی بیش‌تری را به گندم تحویل داده است (ویگا و همکاران، ۲۰۱۲). این گزارشات همسو با نتایج این پژوهش از نظر تأثیر میکوریزا در مدیریت زیستی علف‌های هرز می‌باشند.



شکل ۴-۱- مقایسه میانگین درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز در تیمارهای مختلف کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در مکان‌های مختلف



شکل ۴-۲- مقایسه میانگین وزن خشک علف‌های هرز در تیمارهای مختلف در دو مرحله، بعد از برداشت گیاهان لگوم و قبل از هلینگ آپ (مکان اول)



شکل ۴-۳- مقایسه میانگین وزن خشک علف‌های هرز در تیمارهای مختلف در دو مرحله بعد از برداشت گیاهان لگوم و قبل از هلینگ آپ (مکان دوم)

۴-۱-۲۰- شاخص سطح برگ (LAI) و ضریب خاموشی نور (K)

شاخص سطح برگ بیان کننده نسبت سطح برگ به زمین اشغال شده توسط گیاه و بیان کننده ظرفیت فتوسنتزی گیاه است. تأثیر مکان‌های مختلف بر شاخص سطح برگ لوبیا چشم بلبلی و سویا به ترتیب درسطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود، ولی بر شاخص سطح برگ نیشکر تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۴-۲۴). این موضوع می‌تواند به ویژگی‌های فنولوژی لوبیا چشم بلبلی و سویا مربوط باشد چون ویژگی‌های فنولوژی معمولاً تحت تأثیر شرایط مختلف مکان‌های گوناگون قرار می‌گیرند. به دلیل حساس بودن بقولات نسبت به خصوصیات خاک بویژه هدایت الکتریکی خاک باشد که در مکان اول کم‌تر از مکان دوم بود و باعث شده در مکان اول سطح برگ بیش‌تری تولید شود درصورتیکه این موضوع روی نیشکر تفاوت معنی‌داری نداشته است. ضریب خاموشی نور نیز در لوبیا چشم بلبلی و سویا بر عکس ضریب خاموشی نور در نیشکر در مکان‌های مختلف تفاوت معنی‌داری داشت. تیمارهای مختلف بر شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نور در لوبیا چشم بلبلی و نیشکر در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری داشتند. دلیل تفاوت شاخص سطح برگ در بین تیمارهای مختلف می‌تواند تأثیر وجود یا عدم وجود میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی به‌همراه نیشکر و وجود یا عدم وجود رایزوبیوم در تلقیح با لوبیا چشم بلبلی باشد که باعث تغییر در شاخص سطح (تعداد و یا سطح یرگ) و همچنین تفاوت میزان نور جذب شده در بین تیمارهای کشت مخلوط با کشت خالص باشد و به تبع آن، ضریب خاموشی نور نیز متأثر از شاخص سطح برگ و تفاوت در میزان نور جذب شده می‌باشد. تیمارهای مختلف روی شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نور سویا تأثیر معنی‌دار نداشتند. این موضوع می‌تواند نشانه‌ای از عدم هم‌زیست شدن باکتری *برادی رایزوبیوم ژاپونیکوم* با ریشه سویا می‌باشد زیرا هم‌زیستی میکوریزا با نیشکر و *رایزوبیوم لگومینوزاروم* با لوبیا چشم بلبلی تأثیر مثبت روی این صفات داشت که در سویا چنین نتیجه‌ای حاصل نشد که این نتیجه همسو با یافته قدرتی (۱۳۹۰) در شمال استان خوزستان می‌باشد. با مشاهده جدول‌های ۴-۱ و ۴-

۳ و با توجه به این‌که در این پژوهش در ریشه سویا در هیچکدام از تیمارها، گره تثبیت کننده نیتروژن مشاهده نشد (بر عکس لوبیا چشم بلبلی) می‌توان اظهار کرد باکتری *رایزوبیوم لگومینوزاروم* (لوبیا چشم بلبلی) برعکس باکتری *برادی رایزوبیوم ژاپونیکوم* (سویا) با شرایط اهواز سازگاری دارد. در تحقیقی گزارش شد که تلقیح گیاه گل همیشه بهار با میکوریزا به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی باعث افزایش شاخص سطح برگ در گیاه می‌شود (اسچمید و سامفیر، ۲۰۱۵). نتایج این مطالعه همسو با این نتایج می‌باشند. بیش‌ترین شاخص سطح برگ لوبیا چشم بلبلی (۴/۶) در تیمارهای تلقیح شده با رایزوبیوم و بیش‌ترین شاخص سطح برگ نیشکر (۶/۷۱۳) در تیمار کشت مخلوط نیشکر (تلقیح شده با میکوریزا) به‌همراه لوبیا چشم بلبلی (تلقیح شده با رایزوبیوم) به‌دست آمد (جدول‌های ۴-۲۵ و ۴-۲۶). این موضوع به دلیل تأثیر مثبت قارچ میکوریزا روی ریشه نیشکر و باکتری رایزوبیوم روی ریشه لوبیا چشم بلبلی برای جذب بیش‌تر عناصر از زمین و تأثیر مثبت روی فتوسنتز و به دنبال آن افزایش تعداد برگ در گیاه می‌باشد. سطح برگ، به‌عنوان دریافت کننده نور خورشید و عضو فتوسنتز کننده، عاملی تأثیر گذار در سرعت رشد محصول، تجمع ماده و عملکرد گیاه محسوب می‌گردد. نتایج سایر تحقیقات نشان می‌دهد که با افزایش جذب عناصر غذایی، گیاه سریع‌تر تعداد و سطح برگ خود را افزایش داده که این امر موجب افزایش سرعت رشد محصول و در نهایت ماده خشک می‌گردد (سومار و همکاران، ۲۰۰۳). افزایش در جذب نیتروژن توسط گیاه در اثر استفاده از قارچ میکوریزا باعث افزایش شاخص سطح برگ و افزایش رشد رویشی و بالا رفتن تولید ماده خشک در ذرت شد (ایوب و همکاران، ۲۰۰۳). بر اساس یافته‌های این پژوهش، تأثیر هم افزایی حضور هم‌زمان میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی روی افزایش شاخص سطح برگ نیشکر مثبت بود. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، میزان فسفر جذب شده توسط گیاه و سرعت فتوسنتز در گیاه تلقیح شده با میکوریزا نسبت به گیاه بدون تلقیح با قارچ، بیش‌تر می‌شود (جمال و همکاران، ۲۰۰۶) که این موضوع باعث افزایش شاخص سطح برگ نیز می‌شود. در تحقیقی روی لوبیا، بیش‌ترین شاخص سطح برگ در سطح کودی ۴۰

کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و تلقیح با باکتری رایزوبیوم به‌دست آمد (جیها و سینگ، ۲۰۱۳). ضریب خاموشی نور (K) یکی از اجزای اصلی در قانون بیر[1] بوده که میزان ممانعت گیاه از عبور نور را نشان می‌دهد. ضریب خاموشی نور تحت تاثیر شاخص سطح برگ، شیب برگ، زاویه خورشید در بالاترین نقطه خود و زاویه برگ قرار دارد (تسوبو و همکاران، ۲۰۱۰). در این پژوهش تفاوت ویژگی‌های خاک و میکروکلیمای مکان‌های مختلف، باعث ایجاد تفاوت در مقادیر شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نور در لوبیا چشم بلبلی و سویا شد. بیش‌ترین مقدار شاخص سطح برگ و بیش‌ترین مقدار ضریب خاموشی نور در لوبیا چشم بلبلی و سویا در مکان اول مشاهده شد (جدول ۴-۲۷). بیش‌ترین ضریب خاموشی نور در نیشکر (۰/۴۷۳) در تیمار کشت مخلوط نیشکر (تلقیح شده با میکوریزا) به‌همراه لوبیا چشم بلبلی (تلقیح شده با رایزوبیوم) به‌دست آمد که نیشکر در این تیمار بیش‌ترین شاخص سطح برگ را داشت (جدول ۴-۲۶). بیش‌ترین ضریب خاموشی نور در لوبیا چشم بلبلی (۰/۵۹۵) در کشت خالص لوبیا چشم بلبلی تلقیح شده با رایزوبیوم به‌دست آمد که لوبیا چشم بلبلی در این تیمار بیش‌ترین شاخص سطح برگ را داشت (جدول ۴-۲۵). بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که در این پژوهش با افزایش شاخص سطح برگ (با یکسان در نظر گرفتن زاویه و آرایش برگ‌ها روی ساقه) نور بیش‌تری جذب کانوپی شده و در نتیجه ضریب استهلاک نور بیش‌تر شد.

1. Bear’s law

جدول ۴-۲۴- تجزیه واریانس مرکب شاخص سطح برگ (LAI)، ضریب خاموشی (K) و بهره‌وری آب تحت تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف

		میانگین مربعات					میانگین مربعات		
منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص سطح برگ لوبیا چشم بلبلی	شاخص سطح برگ سویا	ضریب خاموشی نور در لوبیا چشم بلبلی	ضریب خاموشی نور در سویا	درجه آزادی	شاخص سطح برگ نیشکر	ضریب خاموشی نور در نیشکر	بهره‌وری آب
مکان	۱	۰/۰۴۱ *	۰/۳۸۵ **	۰/۰۳ *	۰/۰۷۴ *	۱	۰/۱۰۵ ns	۰/۰۰۱ ns	۱/۷۴ **
تکرار (مکان)	۶	۰/۰۰۷	۰/۰۱۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹	۶	۰/۱۸۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶
تیمار	۵	۰/۴۸۷ **	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۳۴ **	۰/۳۸۵ ns	۹	۵/۹۹ **	۰/۰۱۲ **	۱/۵۸ **
مکان × تیمار	۵	۰/۰۰۶ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۴ ns	۹	۰/۰۷۳ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۴ **
خطای آزمایش	۳۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۵۴	۰/۰۴۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۵/۴۶	۵/۴۱	۷/۰۷	۵/۳۱	-	۶/۸۵	۱۰/۴۶	۹/۸۷

*، **و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۴-۲۵- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ (LAI)، ضریب خاموشی (K) در لوبیا چشم بلبلی تحت تأثیر تیمارهای مختلف

تیمار	شاخص سطح برگ در لوبیا چشم بلبلی	ضریب خاموشی نور در لوبیا چشم بلبلی
خالص لوبیا	۴/۱۶۲ b*	۰/۵۶ b
خالص لوبیا+ باکتری	۴/۶۱۲ a	۰/۵۹۵ a
مخلوط نیشکر و لوبیا	۴/۱۳۷ b	۰/۴۲۷ d
مخلوط نیشکر و لوبیا+ باکتری	۴/۵۸۸ a	۰/۵۸۸ b
مخلوط نیشکر+ میکوریزا و لوبیا	۴/۱۵ b	۰/۴۹۶ c
مخلوط نیشکر+ میکوریزا و لوبیا+ باکتری	۴/۶ a	۰/۵۹۴ a

*: اعدادی که در هر ستون حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

۴-۱-۲۱- بهره‌وری آب

مکان‌ها و تیمارهای مختلف و همچنین اثرات متقابل آن‌ها روی بهره‌وری آب در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری داشتند (جدول ۴-۲۴). بهره‌وری آب در کشت‌های مخلوط بیش‌تر از کشت خالص نیشکر بود و بیش‌ترین مقدار آن (۴/۴۶ کیلوگرم در متر مکعب) در تیمار مخلوط نیشکر (تلقیح شده با قارچ میکوریزا) به‌همراه لوبیا چشم بلبلی (بیوپرایم شده با باکتری رایزوبیوم) حاصل شد و کم‌ترین آن (۳/۰۵ کیلوگرم در متر مکعب) به کشت خالص نیشکر مربوط بود (جدول ۴-۲۶). بنابراین بهره‌وری آب در تیمار مخلوط نیشکر (تلقیح شده با قارچ میکوریزا) به‌همراه لوبیا چشم بلبلی (تلقیح شده با باکتری رایزوبیوم) ۳۱/۶۱ درصد بیش‌تر از کشت خالص نیشکر شد.

جدول ۴-۲۶- مقایسه میانگین تراکم و وزن ماده خشک علف‌های هرز، شاخص سطح برگ نیشکر، ضریب خاموشی نور در نیشکر و بهره‌وری آب تحت تأثیر تیمارهای مختلف

تیمار	تراکم علف‌های هرز (در متر مربع)	وزن خشک علف‌های هرز (گرم در متر مربع)	تیمار	شاخص سطح برگ در نیشکر	ضریب خاموشی نور در نیشکر	بهره‌وری آب (کیلوگرم در متر مکعب)
خالص نیشکر	۴/۲۵ a	۱۲۸۸/۰ a	خالص نیشکر	۴/۳۲۵ e	۰/۳۶۱ c	۳/۰۵ h
خالص سویا	۲/۶۲۵ b	۷۴۹/۸ b	خالص نیشکر + میکوریزا	۵/۷۲۵ d	۰/۴۰۱ bc	۳/۲۶ g
خالص لوبیا	۱/۲۵ d	۲۴۵/۴ d	مخلوط نیشکر و لوبیا	۶/۰۱۲ c	۰/۴۴۳ ab	۴/۰۹ d
خالص سویا + باکتری	۲/۴۳۸ b	۷۷۹/۶ b	مخلوط نیشکر و سویا	۴/۵ e	۰/۳۹۲ c	۳/۷۴ f
خالص لوبیا + باکتری	۱/۲۵ d	۲۲۹/۱ d	مخلوط نیشکر و لوبیا+ باکتری	۶/۳۶۲ b	۰/۴۵۱ a	۴/۱۷ c
خالص نیشکر + میکوریزا	۴/۱۲۵ a	۱۲۸۶/۰ a	مخلوط نیشکر و سویا+ باکتری	۴/۴۶۳ e	۰/۳۷۲ c	۳/۷۵ f
مخلوط نیشکر و لوبیا	۱/۱۲۵ d	۱۲۲/۱ e	مخلوط نیشکر+ میکوریزا و لوبیا	۶/۴۵ b	۰/۴۵۶ a	۴/۳۴ b
مخلوط نیشکر وسویا	۱/۸۷۵ c	۳۶۶/۱ c	مخلوط نیشکر+ میکوریزا و سویا	۵/۶۷۵ d	۰/۴۰ bc	۳/۹ e
مخلوط نیشکر و لوبیا+ باکتری	۰/۹۳۷۵ de	۹۰/۰ e	مخلوط نیشکر+ میکوریزا و سویا + باکتری	۵/۷۶۲ d	۰/۴۰۳ bc	۳/۸۶ e
مخلوط نیشکر و سویا+ باکتری	۱/۸۷۵ c	۳۶۸/۹ c	مخلوط نیشکر + میکوریزا و لوبیا + باکتری	۶/۷۱۳ a	۰/۴۷۳ a	۴/۴۶ a
مخلوط نیشکر+ میکوریزا و لوبیا	۰/۵۸۷۵ f	۵۱/۱۳ e	.....	.....	.....	.....
مخلوط نیشکر+ میکوریزا و سویا	۱/۹۳۸ c	۴۴۷/۴ c	.....	.....	.....	.....
مخلوط نیشکر + میکوریزا و سویا + باکتری	۱/۸۷۵ c	۴۱۲/۶ c	.....	.....	.....	.....
مخلوط نیشکر + میکوریزا و لوبیا + باکتری	۰/۵۷۵ ef	۳۹/۶۳ e	.....	.....	.....	.....

*: اعدادی که در هر ستون حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

بیش‌ترین بهره‌وری آب در هر دو مکان در تیمار کشت مخلوط نیشکر (تلقیح شده با قارچ میکوریزا) به‌همراه لوبیا چشم بلبلی (تلقیح شده با باکتری رایزوبیوم) به‌دست آمد (جدول ۴-۱۹)، اما میزان آن در مکان اول ۱۱/۸۸ درصد بیش‌تر از مکان دوم بود (جدول ۴-۲۷). بنابراین بهترین تیمار، مخلوط نیشکر (تلقیح شده با قارچ میکوریزا) به‌همراه لوبیا چشم بلبلی (تلقیح شده با باکتری رایزوبیوم) می‌باشد. با توجه به اینکه در تمام تیمارهایی که میکوریزا با نیشکر هم‌زیست شده بود افزایش بهره‌وری آب دیده شد، می‌توان اظهار کرد شرایط مکان اول برای هم‌زیست شدن میکوریزا با ریشه نیشکر بهتر از مکان دوم بوده است.

با توجه به این‌که میزان کل آب مصرفی در کرت‌های کشت مخلوط و کشت خالص یکسان (۲۸۶۰۰ متر مکعب در هکتار) بود و هیچ نوبت آبیاری اختصاصی برای نیشکر و یا برای بقولات به‌صورت جداگانه انجام نشد بنابراین می‌توان اظهار کرد ماده خشک تولید شده در کشت‌های مخلوط بیش‌تر از کشت خالص بود که باعث افزایش بهره‌وری آب در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص شد. یکی دیگر از دلایل افزایش بهره‌وری آب در کشت مخلوط نیشکر با بقولات را می‌توان کاهش تبخیر آب از سطح خاک (به‌خاطر وجود پوشش گیاهی بیش‌تر روی زمین) نسبت به کشت خالص دانست چون این موضوع باعث می‌شود ریشه نیشکر و بقولات در کرت‌های مخلوط بتوانند مدت زمان بیش‌تری از رطوبت موجود در خاک استفاده کنند. نتیجه یک پژوهش در خصوص کشت مخلوط سورگوم با لوبیا قرمز که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد نشان داد کشت مخلوط باعث افزایش کارایی مصرف آب به میزان ۲۹/۴ درصد در سورگوم و ۱۲/۲ درصد در لوبیا قرمز شد (خواجه خضری و همکاران.، ۱۳۹۷). نتایج تحقیق حاضر همسو با نتایج برخی پژوهشگران دیگر در خصوص افزایش کارایی مصرف آب در کشت مخلوط به دنبال افزایش عملکرد اقتصادی می‌باشد (رحمان و همکاران، ۲۰۱۷، خرمی وفا و همکاران، ۱۳۹۰). بهره‌وری آب در تیمارهایی که نیشکر با قارچ تلقیح شده بود بیش‌تر از همان تیمار در حالت بدون تلقیح با میکوریزا

می‌باشد (جدول ۴-۲۶). سیستم‌های ریشه‌ای گسترده قادرند رطوبت را از بخش‌های زیرین خاک با کارایی بالاتر جذب نمایند. بنابراین توسعه سیستم ریشه‌ای توسط قارچ میکوریزا، سبب افزایش بهره‌وری آب از خاک می‌شود. به این صورت که با گسترش کلونیزاسیون قارچ میکوریزا و رشد هیف‌های آن، جذب آب و عناصر غذایی و انتقال آن‌ها از خاک به سمت ریشه‌های میزبان (نیشکر) افزایش می‌یابد. می‌توان انتظار افزایش کارایی استفاده از آب موجود در مزرعه توسط گیاه میزبان (نیشکر) را نیز داشت (ایولینستین و همکاران، ۲۰۱۷).

جدول ۴-۲۷- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی نور در بقولات و بهره‌وری آب در نیشکر تحت تأثیر مکان‌های مختلف

صفات	مکان اول	مکان دوم
شاخص سطح برگ در لوبیا چشم بلبلی	۴/۶۴ a	۴/۱ b
ضریب خاموشی نور در لوبیا چشم بلبلی	۰/۵۶ a	۰/۳۱ b
شاخص سطح برگ در سویا	۱/۶۶ a	۱/۳۱ b
ضریب خاموشی نور در سویا	۱/۱۹ a	۰/۹۸ b
بهره‌وری آب (کیلوگرم در متر مکعب)	۴/۲۱ a	۳/۷۱ b

*: اعدادی که در هر ستون حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

۴- ۱- ۲۲- محتوای نسبی آب برگ (RWC)[1]

تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف و برهم‌کنش آن‌ها بر محتوای نسبی آب برگ در لوبیا چشم بلبلی و سویا معنی‌دار نبود. در صورتیکه تیمارهای مختلف بر محتوای نسبی آب برگ در نیشکر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی مکان‌های مختلف و برهم‌کنش مکان‌ها و تیمارها بر محتوای نسبی آب برگ در نیشکر معنی‌دار نشد (جدول ۴-۲۸). محتوای نسبی آب برگ در نیشکر در تیمارهایی که نیشکر با میکوریزا تلقیح شد بیش‌تر از تیمارهای عدم تلقیح نیشکر با میکوریزا بود. بیش‌ترین (۸۴/۷۷ درصد) در تیمار مخلوط نیشکر + قارچ میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی + باکتری رایزوبیوم و کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ در نیشکر (۸۱/۳۳ درصد) در تیمار خالص نیشکر حاصل شد (جدول ۴-۲۹). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که میکوریزا از طریق اندام‌های خود (گسترش هیف‌های خود) نقش بسیار مثبتی در افزایش جذب و ذخیره آب در اندام هوایی (برگ نیشکر) داشت. محتوی نسبی آب برگ در واقع به عنوان شاخصی برای نشان دادن آسیب‌های ناشی از تنش خشکی محسوب می‌شود. محتوای نسبی آب برگ بیش‌تر، باعث افزاش میزان فتوسنتز و در نتیجه افزایش عملکرد در شرایط تنش می‌شود (فاروخ و همکاران، ۲۰۰۹).

1. Relative water contents

جدول ۴-۲۸- تجزیه واریانس مرکب محتوای نسبی آب برگ در نیشکر و لوبیا چشم بلبلی و سویا تحت تأثیر مکان‌ها و تیمارهای مختلف

		میانگین مربعات			
منابع تغییر	درجه آزادی	RWC لوبیا	RWC سویا	درجه آزادی	RWC نیشکر
مکان	۱	۲/۹۱ ns	۲/۳۱ ns	۱	۰/۹۵ ns
تکرار (مکان)	۶	۷/۷۷	۷/۱۷	۶	۶/۵۸۲
تیمار	۵	۱/۴۸ ns	۰/۸۸ ns	۹	۲۴/۸۷ **
مکان×تیمار	۵	۰/۸۵۹ ns	۰/۲۶ ns	۹	۰/۱۰۳ ns
خطای آزمایش	۳۰	۰/۹۰۳	۰/۳۰۳	۵۴	۰/۱۲۶
ضریب تغییرات (درصد)	--	۱۶/۹۶	۱۴/۷۲	--	۱۵/۴۳

*، **و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۴-۲۹- مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ در نیشکر تحت اثر تیمارهای مختلف

تیمارها	RWC در نیشکر (درصد)
خالص نیشکر	۸۱/۳۳ b*
خالص نیشکر+ قارچ	۸۴/۶۷ a
مخلوط نیشکر و لوبیا	۸۱/۱۸ b
مخلوط نیشکر و سویا	۸۱/۳۱ b
مخلوط نیشکر و لوبیا+باکتری	۸۱/۱۴ b
مخلوط نیشکر و سویا+باکتری	۸۱/۴۰ b
مخلوط نیشکر+قارچ و لوبیا	۸۴/۵۴ a
مخلوط نیشکر+قارچ و سویا	۸۴/۵۵ a
مخلوط نیشکر+قارچ و سویا+باکتری	۸۴/۵۳ a
مخلوط نیشکر+قارچ و لوبیا+باکتری	۸۴/۷۷ a

*: اعدادی که در هر ستون حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف میانگین آن‌ها طبق آزمون LSD، در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

۴-۱-۲۳- کارایی مصرف نور

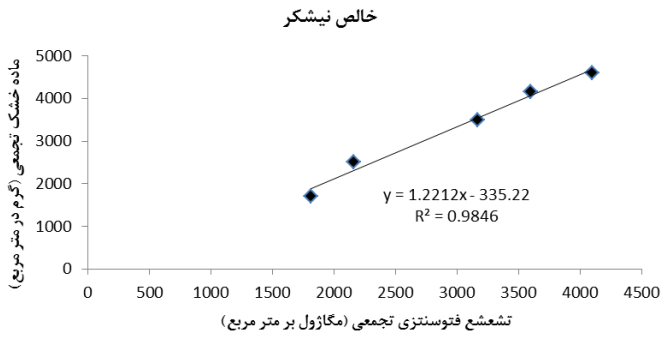
مقدار ماده خشک تولید شده بر حسب گرم به ازای هر مگاژول تشعشع خورشیدی دریافت شده در طول دوره فصل رشد، کارایی مصرف نور نامیده می‌شود (ایوانجیلوس و همکاران، ۲۰۱۲). شیب رابطه‌ی بین تجمع ماده خشک با میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی در تیمارهای کشت مخلوط و کشت خالص، بیانگر کارایی مصرف نور بوده و می‌توان نتیجه گرفت که کارایی مصرف نور در گیاه نیشکر نسبت به بقولات (لوبیا چشم بلبلی و سویا) بیش‌تر بود (شکل‌های ۴-۴ تا ۴-۹)، زیرا نیشکر دارای سیستم فتوسنتزی چهار کربنه بوده و کارایی مصرف نور و توان فتوسنتزی در گیاهان چهار کربنه بیش‌تر از گیاهان سه کربنه می‌باشد. در مطالعات دیگر نیز نتایج مشابه به‌دست آمد (ناچیگیرا و همکاران، ۲۰۱۰). بهبود بهره‌وری استفاده از نور هم می‌تواند در اثر بیش‌تر شدن جذب نور و هم بالاتر رفتن کارایی مصرف نور باشد. به طور معمول جذب نور در شرایط کشت مخلوط به جای کشت خالص افزایش می‌یابد، چون هم زمان بیش‌تری و هم از نظر مکانی فضای بیش‌تری تحت پوشش گیاه زراعی قرار می‌گیرد (تسوبو و همکاران، ۲۰۱۰). در هر سه جزء مخلوط، کارایی مصرف نور در تیمارهای کشت مخلوط بیش‌تر از کشت خالص بود، زیرا در سیستم کشت خالص، مقداری از تشعشع فتوسنتزی به‌دلیل وجود فضای خالی در سایه‌انداز تلف شد، اما در کشت مخلوط به دلیل پوشش بیش‌تر و مناسب‌تر سطح خاک، این تلفات کاهش یافت و در نتیجه میزان جذب تشعشع کل نسبت به سیستم کشت خالص بیش‌تر شد. در مورد لوبیا چشم بلبلی و سویا، تیمارهای کشت مخلوط باعث افزایش عملکرد و در نتیجه بالا رفتن کارایی مصرف نور نسبت به تیمارهای کشت خالص گردید. در مورد نیشکر نیز در تیمارهایی که لوبیا چشم بلبلی (به دلیل در اختیار قرار دادن نیتروژن بیش‌تر در محیط ریشه نیشکر) در کنار نیشکر وجود داشته و یا قارچ میکوریزا با نیشکر هم‌زیست شده بود (به دلیل فراهم کردن عناصر غذایی و آب بیش‌تر در محیط ریشه نیشکر) باعث افزایش عملکرد و در نهایت افزایش کارایی مصرف نور در نیشکر گردیدند. راندمان مصرف نور برای

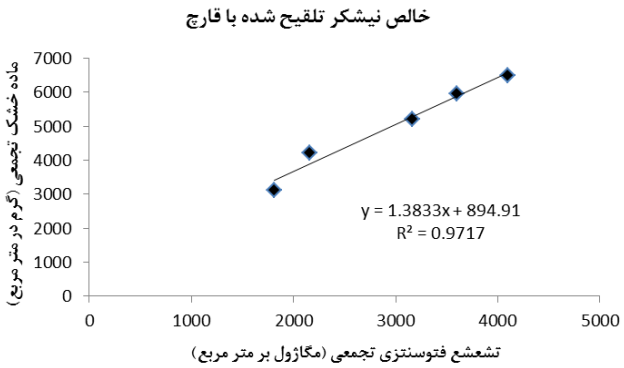
گونه‌های سه کربنه مناطق معتدله بین ۱ تا ۱/۵ گرم بر مگاژول و برای گونه های سه کربنه مناطق گرمسیری بین ۱/۵ تا ۱/۷ گرم بر مگاژول تغییر می‌کند. برای لگوم‌های دانه ای گرمسیری از قبیل سویا بین ۰/۸۸ تا ۱/۲ گرم بر مگاژول، لوبیا چشم بلبلی بین ۰/۸ تا ۱/۰۵ گرم بر مگاژول و ماش بین ۰/۸ تا ۰/۹۶ گرم بر مگاژول گزارش شده است. شرایطی مانند میزان تابش، کمبود آب، تنش مواد غذائی، بیماری‌ها و دمای کم، عامل تغییرات راندمان مصرف نور می‌باشد (هاتیلد، ۲۰۱۴). در این تحقیق بیش‌ترین کارایی مصرف نور در نیشکر در مکان اول (۲/۲۱ گرم بر مگاژول) و در مکان دوم (۱/۸۳ گرم بر مگاژول) در تیمار کشت مخلوط نیشکر تلقیح شده با قارچ به‌همراه لوبیا چشم بلبلی تلقیح شده با باکتری و کم‌ترین میزان کارایی مصرف نور در نیشکر در مکان اول (۱/۲۲ گرم بر مگاژول) و در مکان دوم (۱/۱۲ گرم بر مگاژول) در کشت خالص نیشکر به‌دست آمد (شکل‌های ۴-۴ و ۴-۷). بنابراین تأثیر مثبت هم افزایی حضور هم‌زمان قارچ میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی در تیمار مربوطه روی افزایش کارایی مصرف نور مشاهده شد. کارایی مصرف نور در تیمار کشت خالص نیشکر تلقیح شده با میکوریزا با اختلاف اندکی از تیمار کشت خالص بدون تلقیح بیش‌تر شد. این موضوع به‌دلیل اثرات مثبت میکوریزا در رابطه هم‌زیستی با ریشه نیشکر و جذب عناصر غذایی بیش‌تر از خاک می‌باشد.

بیش‌ترین کارایی مصرف نور در لوبیا چشم بلبلی در مکان اول (۱/۱۶ گرم بر مگاژول) و در مکان دوم (۱/۱۴ گرم بر مگاژول) مربوط به تیمار کشت مخلوط نیشکر تلقیح شده با میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی تلقیح شده با رایزوبیوم و کم‌ترین کارایی مصرف نور لوبیا چشم بلبلی در مکان اول (۰/۵۵ گرم بر مگاژول) و در مکان دوم (۰/۵۴ گرم بر مگاژول) مربوط به کشت خالص لوبیا چشم بلبلی بود (شکل‌های ۴-۵ و ۴-۸). بیش‌ترین کارایی مصرف نور در سویا در مکان اول (۰/۸۵ گرم بر مگاژول) مربوط به تیمار کشت مخلوط نیشکر تلقیح شده با میکوریزا و سویا تلقیح شده با باکتری و بیش‌ترین کارایی مصرف نور در سویا در مکان دوم (۰/۸۳ گرم بر مگاژول) مربوط به تیمار کشت مخلوط نیشکر تلقیح شده با میکوریزا و سویا و

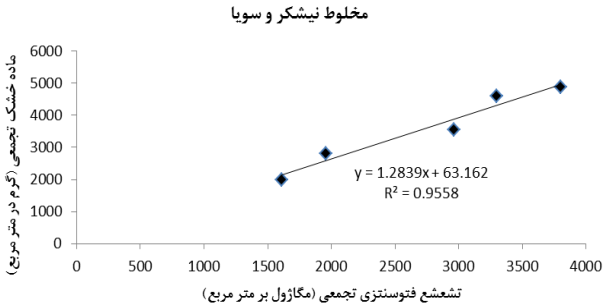
کم‌ترین کارایی مصرف نور سویا در مکان اول (۰/۵۰ گرم بر مگاژول) و در مکان دوم (۰/۴۹ گرم بر مگاژول) مربوط به کشت خالص سویا بود (شکلهای ۴-۶ و ۴-۹). بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت در تیمارهای کشت مخلوط لوبیا چشم بلبلی با نیشکر و کشت مخلوط سویا با نیشکر، در اواخر فصل داشت لگوم‌ها به دلیل سایه اندازی جزئی نیشکر روی لگوم‌ها، تشعشع فتوسنتزی تجمعی کاهش یافت این در حالی بود که ظاهراً مقدار سایه اندازی کم نیشکر باعث کاهش فتوسنتز در بقولات نشد زیرا عملکرد بقولات در تیمارهای کشت مخلوط نه تنها کاهش نیافت بلکه به دلیل تیمار تلقیح با رایزوبیوم (باکتری فقط در لوبیا چشم بلبلی مؤثر بود) و قیم بودن نیشکر برای بقولات نسبت به تیمارهای کشت خالص بیش‌تر شد و در نهایت کارایی مصرف نور در تیمارهای کشت مخلوط بیش‌تر از کشت خالص شد.

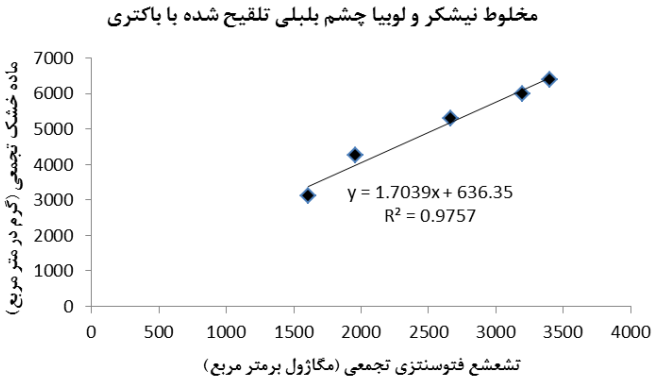
در این پژوهش کارایی مصرف نور نیشکر در کشت مخلوط با لوبیا چشم بلبلی بیش‌تر از کشت مخلوط با سویا شد. با عنایت به اینکه در ریشه سویا در این تحقیق گره تثبیت کننده نیتروژن مشاهد نشد، بیش‌تر بودن کارایی مصرف نور نیشکر در کشت مخلوط با لوبیا چشم بلبلی می‌تواند به دلیل نقش مثبت لوبیا چشم بلبلی در تثبیت نیتروژن در خاک نسبت به سویا باشد. با توجه به شکل‌های ۴-۵ و ۴-۶ و ۴-۸ و ۴-۹ کارایی مصرف نور در لوبیا چشم بلبلی بیش‌تر از سویا می‌باشد که این موضوع به‌دلیل گسترش بهتر کانوپی و عملکرد بیش‌تر لوبیا چشم بلبلی در مناطق مورد آزمایش نسبت به سویا بود.

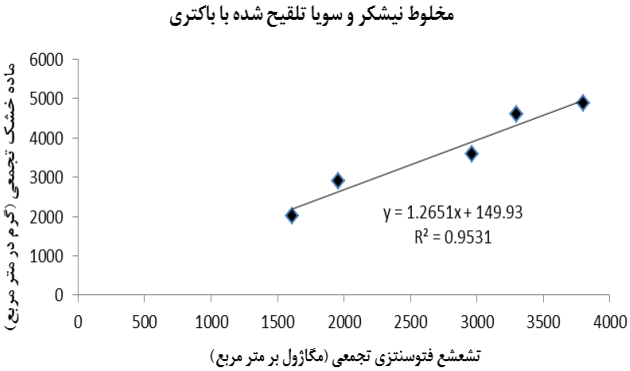

خالص نیشکر
ماده خشک تجمعی (گرم در متر مربع)
y = 1.2212x - 335.22
R² = 0.9846
تشعشع فتوسنتزی تجمعی (مگاژول بر متر مربع)


خالص نیشکر تلقیح شده با قارچ
ماده خشک تجمعی (گرم در متر مربع)
y = 1.3833x + 894.91
R² = 0.9717
تشعشع فتوسنتزی تجمعی (مگاژول بر متر مربع)

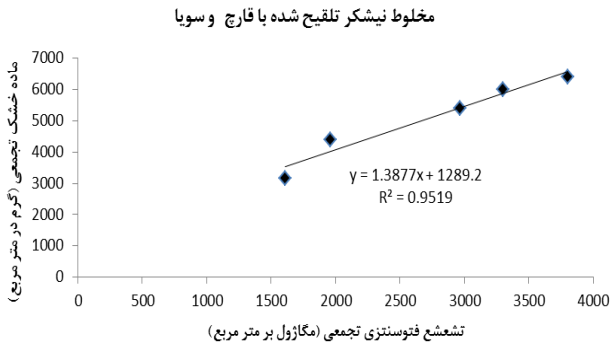
مخلوط نیشکر و لوبیا چشم بلبلی
ماده خشک تجمعی (گرم در متر مربع)
y = 1.6936x + 626.82
R² = 0.9737
تشعشع فتوسنتزی تجمعی (مگاژول بر متر مربع)

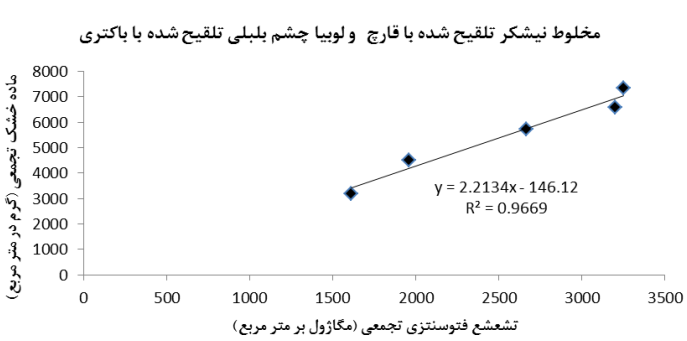

مخلوط نیشکر و سویا
ماده خشک تجمعی (گرم در متر مربع)
y = 1.2839x + 63.162
R² = 0.9558
تشعشع فتوسنتزی تجمعی (مگاژول بر متر مربع)

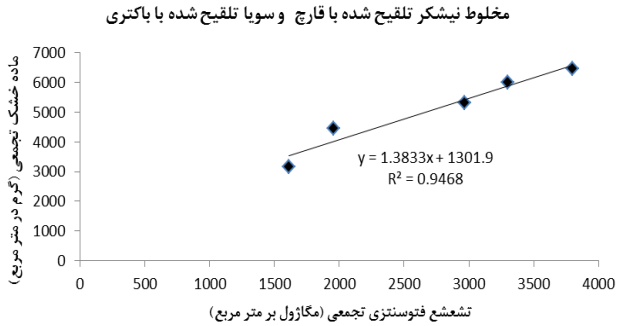

مخلوط نیشکر و لوبیا چشم بلبلی تلقیح شده با باکتری
ماده خشک تجمعی (گرم در متر مربع)
y = 1.7039x + 636.35
R² = 0.9757
تشعشع فتوسنتزی تجمعی (مگاژول برمتر مربع)


مخلوط نیشکر و سویا تلقیح شده با باکتری
ماده خشک تجمعی (گرم در متر مربع)
y = 1.2651x + 149.93
R² = 0.9531
تشعشع فتوسنتزی تجمعی (مگاژول بر متر مربع)

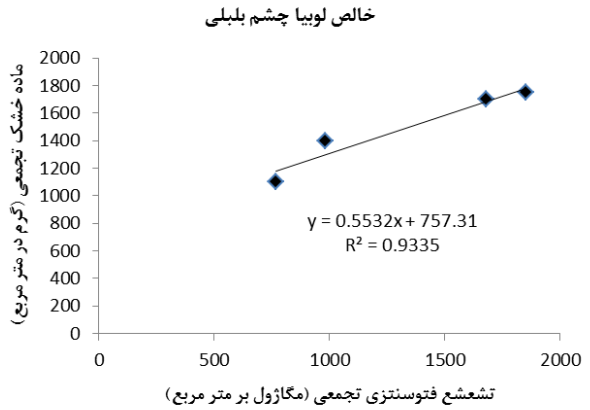
مخلوط نیشکر تلقیح شده با قارچ و لوبیا چشم بلبلی
ماده خشک تجمعی (گرم در متر مربع)
y = 2.1571x - 120.15
R² = 0.9559
تشعشع فتوسنتزی تجمعی (مگاژول بر متر مربع)

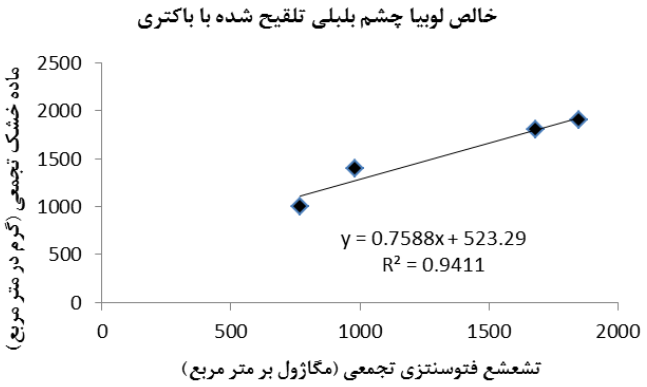

مخلوط نیشکر تلقیح شده با قارچ و سویا
ماده خشک تجمعی (گرم در متر مربع)
y = 1.3877x + 1289.2
R² = 0.9519
تشعشع فتوسنتزی تجمعی (مگاژول بر متر مربع)

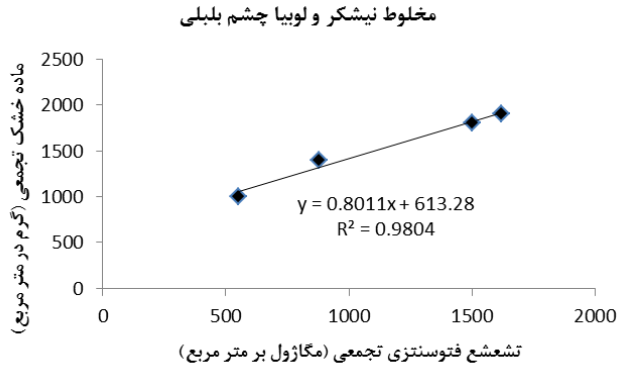


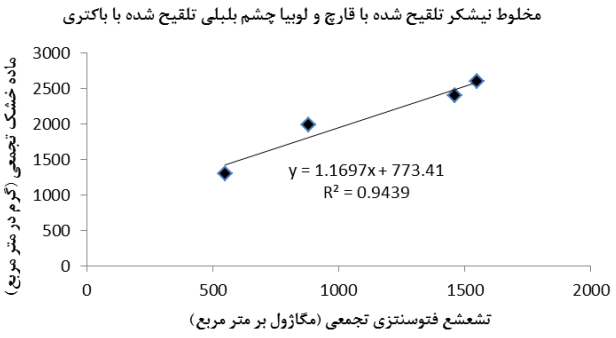


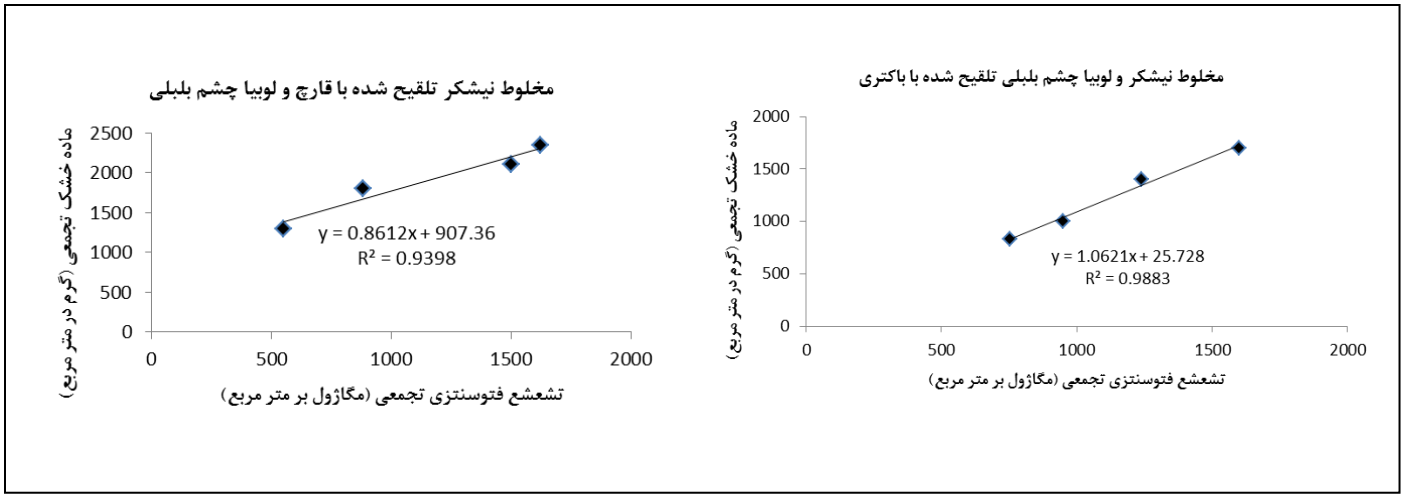
شکل۴-۴- رابطه رگرسیونی بین تجمع ماده خشک و میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی برای گیاه نیشکر در تیمارهای مختلف کشت مخلوط و کشت خالص در مکان اول (شیب این رابطه بیانگر کارایی مصرف نور توسط گیاه نیشکر می‌باشد)



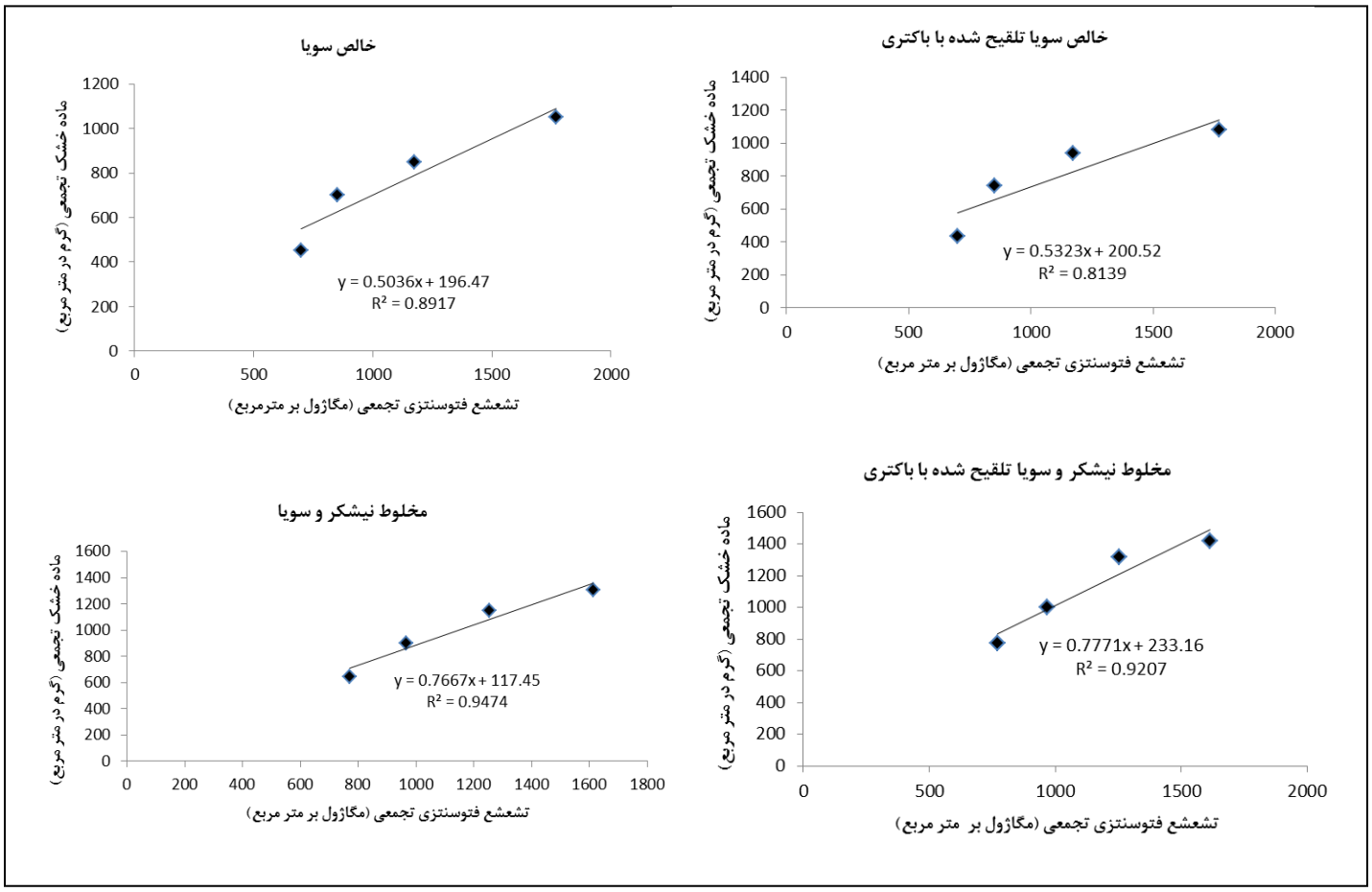


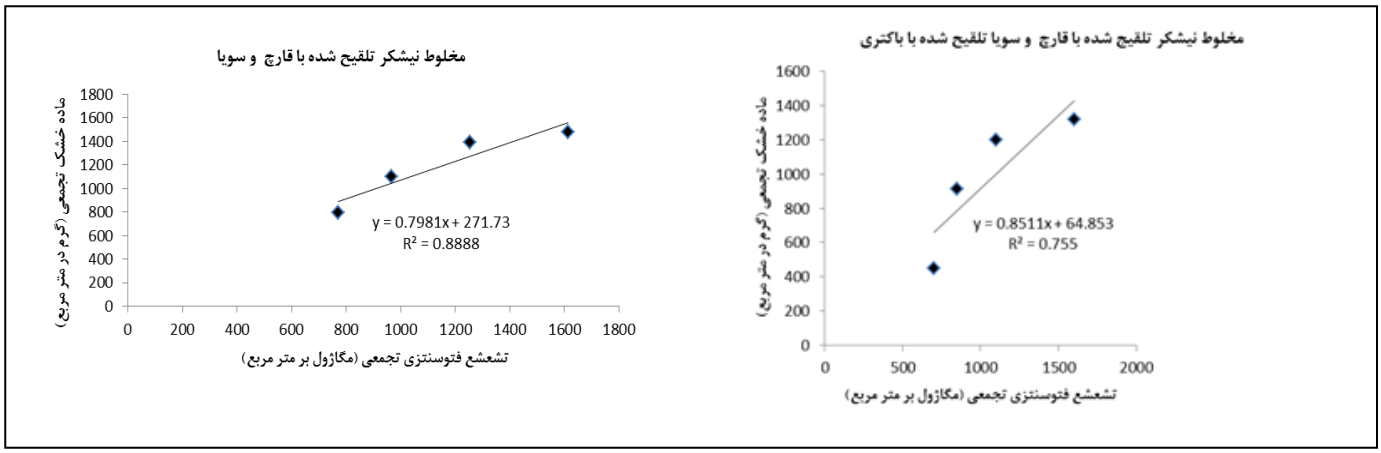




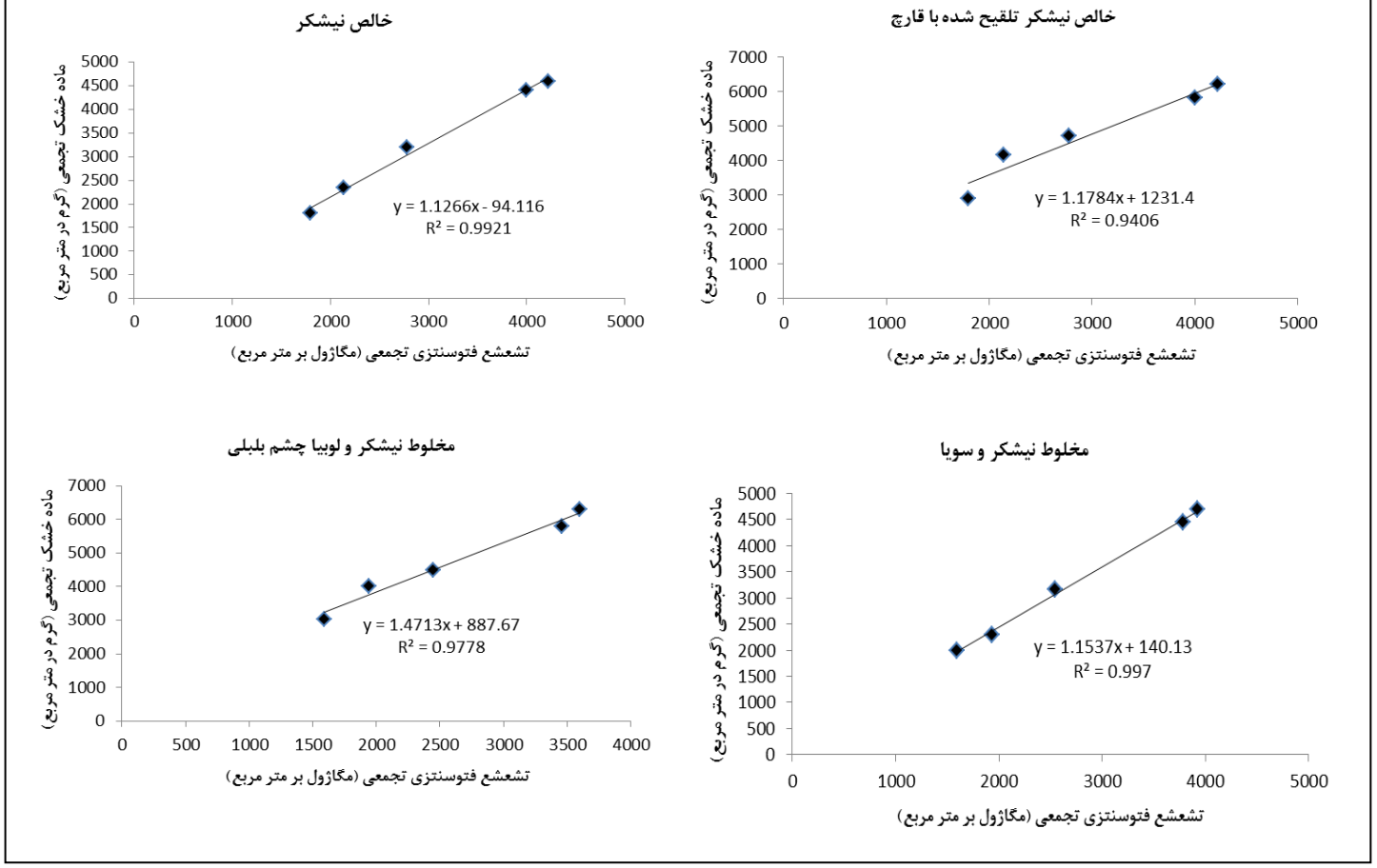


شکل ۴-۵- رابطه رگرسیونی بین تجمع ماده خشک و میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی برای گیاه لوبیا چشم بلبلی در تیمارهای مختلف کشت مخلوط و کشت خالص در مکان اول (شیب این رابطه بیانگر کارایی مصرف نور توسط گیاه لوبیا چشم بلبلی می‌باشد)

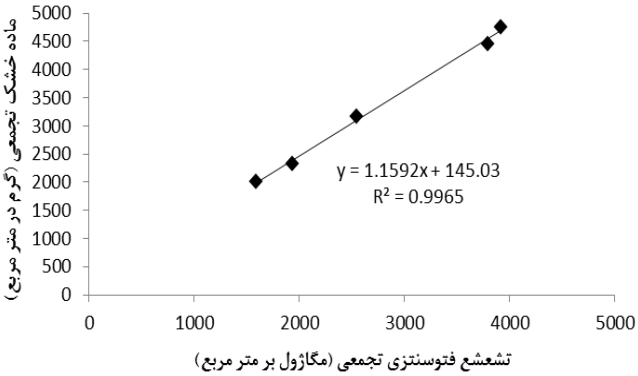




شکل ۴-۶- رابطه رگرسیونی بین تجمع ماده خشک و میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی برای گیاه سویا در تیمارهای مختلف کشت مخلوط و کشت خالص در مکان اول (شیب این رابطه بیانگر کارایی مصرف نور توسط گیاه سویا می‌باشد)

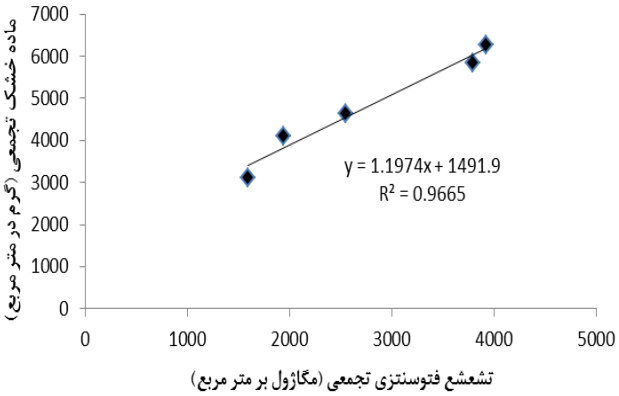


مخلوط نیشکر و سویا تلقیح شده با باکتری

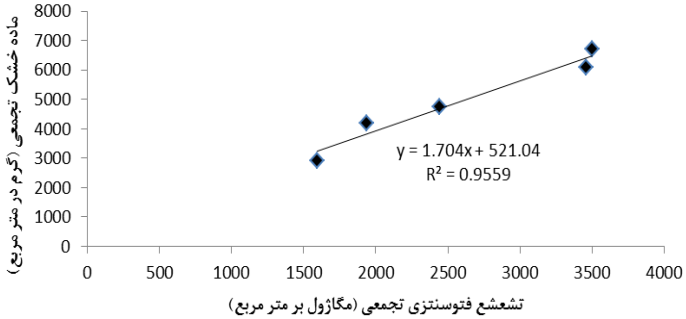


مخلوط نیشکر و لوبیا چشم بلبلی تلقیح شده با باکتری

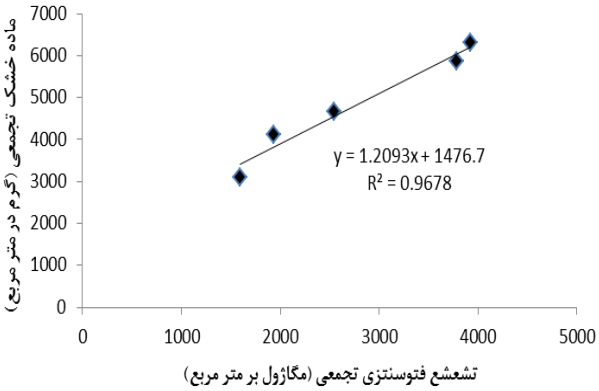
مخلوط نیشکر تلقیح شده با قارچ و سویا



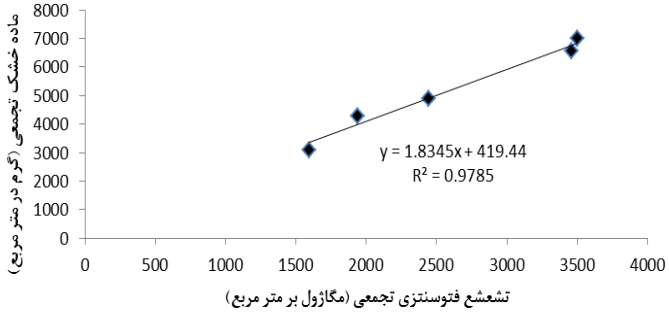
مخلوط نیشکر تلقیح شده با قارچ و لوبیا چشم بلبلی



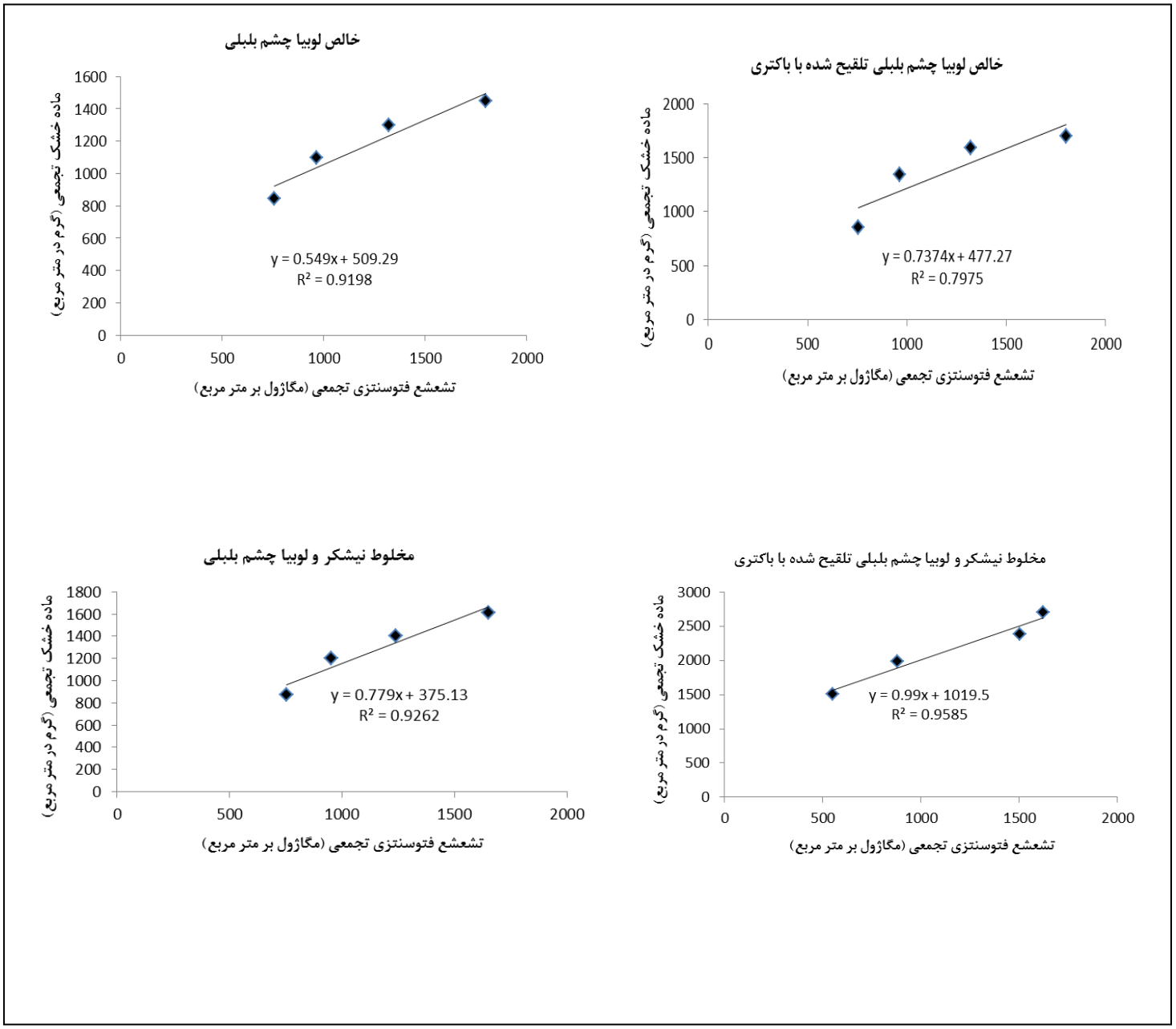
مخلوط نیشکر تلقیح شده با قارچ و سویا تلقیح شده با باکتری

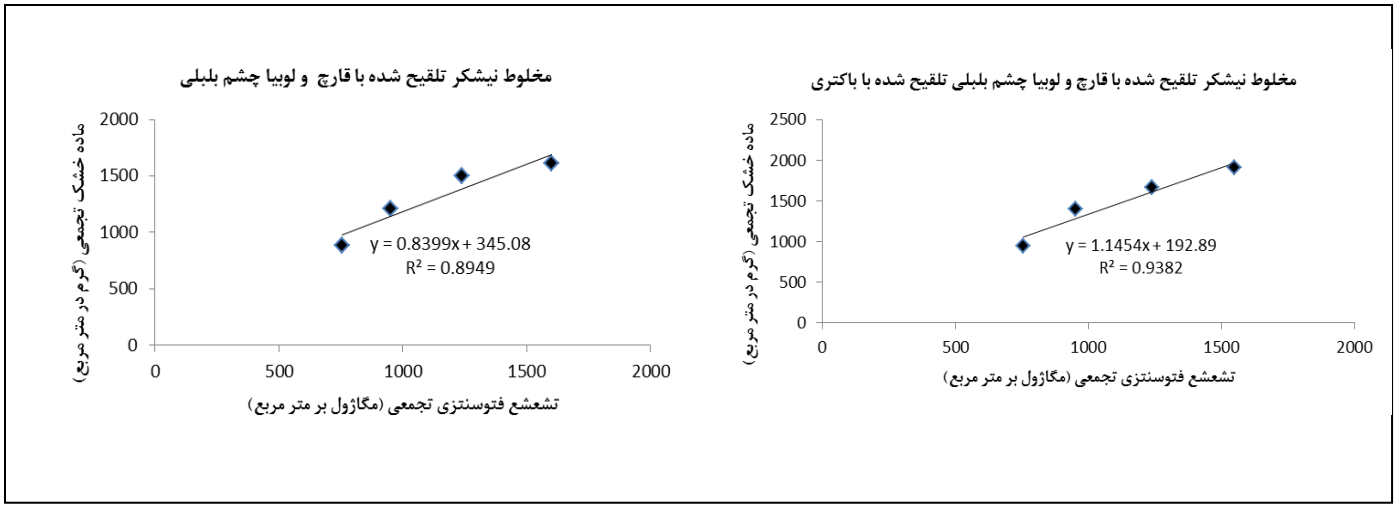


مخلوط نیشکر تلقیح شده با قارچ و لوبیا چشم بلبلی تلقیح شده با باکتری

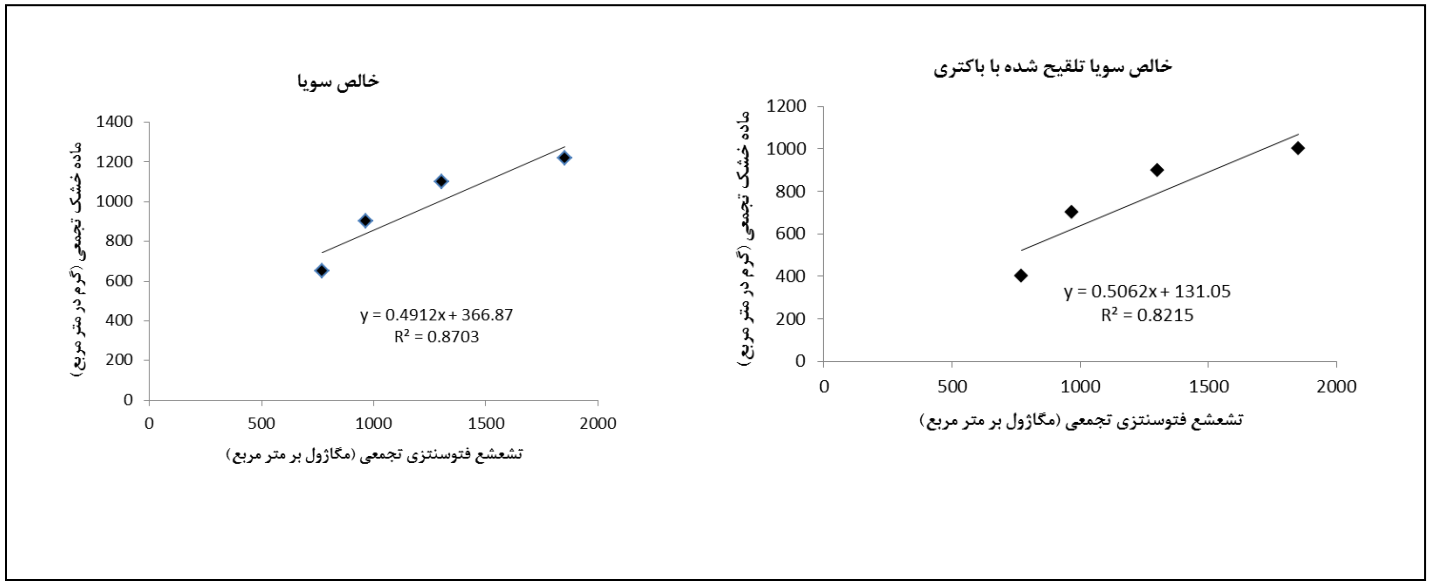


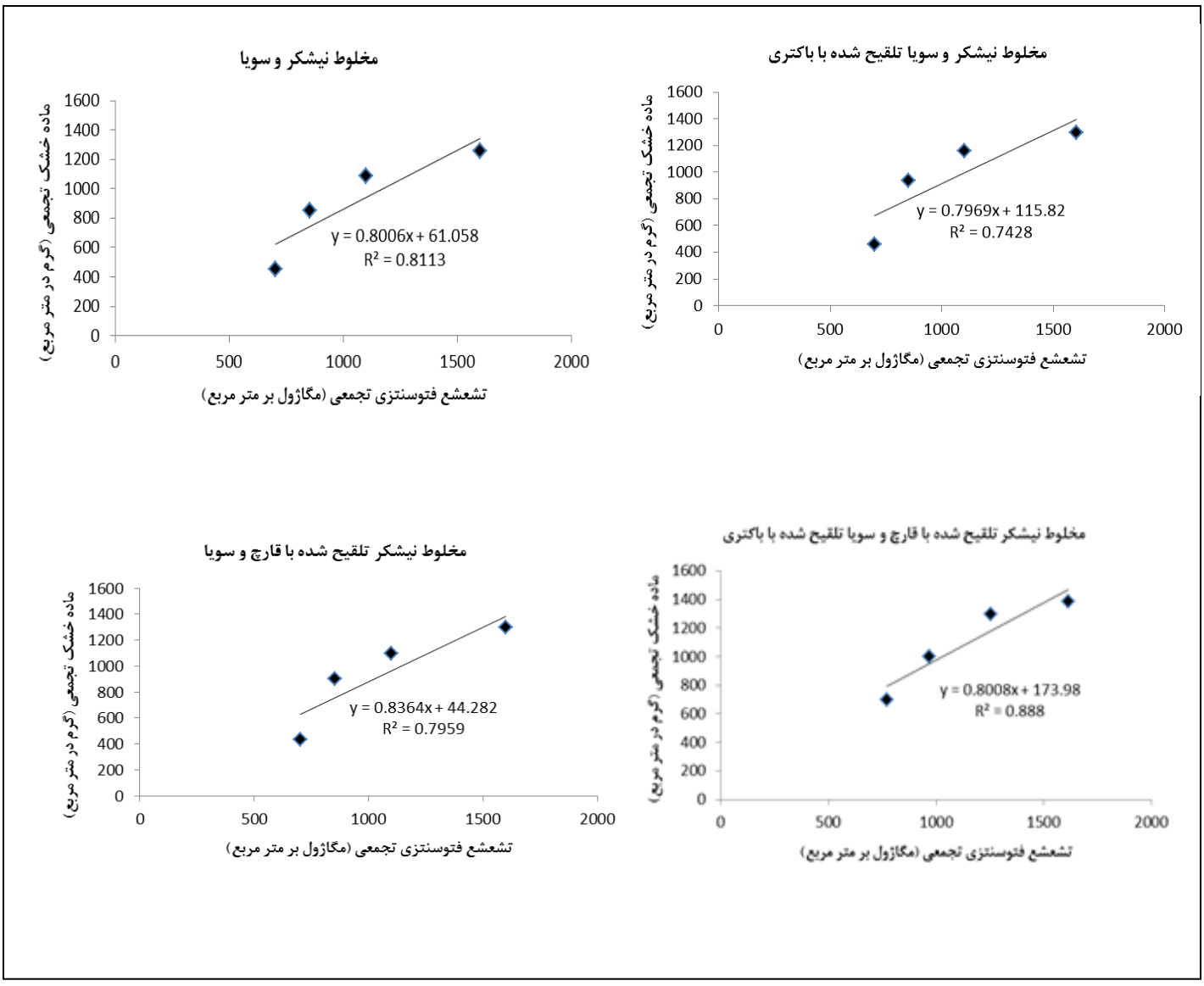
شکل ۴-۷- رابطه رگرسیونی بین تجمع ماده خشک و میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی برای گیاه نیشکر در تیمارهای مختلف کشت مخلوط و کشت خالص در مکان دوم (شیب این رابطه بیانگر کارایی مصرف نور توسط گیاه نیشکر می‌باشد)





شکل ۴-۸- رابطه رگرسیونی بین تجمع ماده خشک و میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی برای گیاه لوبیا چشم بلبلی در تیمارهای مختلف کشت مخلوط و کشت خالص در مکان دوم (شیب این رابطه بیانگر کارایی مصرف نور توسط گیاه لوبیا چشم بلبلی می‌باشد)





شکل ۴-۹- رابطه رگرسیونی بین تجمع ماده خشک و میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی برای گیاه سویا در تیمارهای مختلف کشت مخلوط و کشت خالص در مکان دوم (شیب این رابطه بیانگر کارایی مصرف نور توسط گیاه سویا می‌باشد)

۴-۲- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر مقدار LER که یکی از مهم‌ترین فاکتورهای ارزیابی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌باشد، در تمام تیمارهای این تحقیق بیش‌تر از عدد یک شد که این موضوع نشان دهنده مفید بودن کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌باشد. با توجه به افزایش صفات کمی از جمله عملکرد اقتصادی، ارتفاع، قطر ساقه و وزن ریشه نیشکر و صفات کیفی مانند درصد خلوص، درصد بریکس، درصد شکر سفید در شربت حاصل از ساقه‌ی نیشکر و درصد فسفر موجود در پهنک برگ و فسفر موجود در ساقه نیشکر در تیمارهایی که نیشکر با میکوریزا تلقیح شده بود می‌توان نتیجه گرفت که قارچ میکوریزا با ریشه نیشکر هم‌زیست شده و با گسترش هیف‌های خود تأثیر مثبتی روی افزایش جذب عناصر غذایی و آب توسط ریشه نیشکر و باعث افزایش صفات کیفی (درصد خلوص و RS) در نیشکر شد. البته در تیمارهایی که هم میکوریزا و هم لوبیا چشم بلبلی در کنار نیشکر وجود داشتند، تأثیر هم افزایی آن‌ها روی صفات مشاهده شد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که حضور قارچ میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی باعث افزایش شاخص برداشت عملکرد نی، عملکرد شکر و کاهش شاخص برداشت عملکرد باگاس شدند. در تیمارهایی که میکوریزا با ریشه نیشکر تلقیح شده بود، میزان فسفر در ریشه‌ی نیشکر نسبت به دیگر تیمارها افزایش یافت. کارایی مصرف نور در تیمارهای کشت مخلوط بهتر از کشت خالص بود و بیش‌ترین مقدار کارایی مصرف نور و همچنین بیش‌ترین شاخص سطح برگ در تیمار کشت مخلوط نیشکر تلقیح شده با قارچ میکوریزا + لوبیا چشم بلبلی تلقیح شده با باکتری رایزوبیوم به‌دست آمد که نشان دهنده هم‌زیستی خوب ریشه نیشکر با میکوریزا و ریشه لوبیا چشم بلبلی با رایزوبیوم بود. بیش‌ترین مقدار شاخص سطح برگ در لوبیا چشم بلبلی و سویا در مکان اول مشاهده شد. بیش‌ترین شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نور در نیشکر در تیمار کشت مخلوط نیشکر تلقیح شده با قارچ میکوریزا + لوبیا چشم بلبلی تلقیح شده با باکتری رایزوبیوم به‌دست آمد. بیش‌ترین شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نور در

لوبیا چشم بلبلی در کشت خالص لوبیا چشم بلبلی تلقیح شده با رایزوبیوم به‌دست آمد. با افزایش شاخص سطح برگ، ضریب استهلاک نور بیش‌تر شد چون جذب نور توسط کانوپی بیش‌تر شد. نیشکر دارای یک مرحله رویشی حساس به رقابت علف‌های هرز می‌باشد که حدود سه تا شش هفته از زمان کاشت در فصل گرم می‌باشد. کنترل علف‌های هرز در ابتدای فصل رشد نیشکر قبل از بسته شدن کانوپی نیشکر بسیار ضروری می‌باشد. بنابراین در این پژوهش در تیمار کشت مخلوط به دلیل خالی نماندن زمین و اشغال شدن فضاهای خالی توسط لگوم‌ها، فضای زیادی برای رویش علف‌های هرز باقی نماند و علف‌های هرز بدون استفاده از علفکش‌های شیمیایی در تیمار کشت مخلوط به‌خوبی کنترل شدند. وجود لوبیا چشم بلبلی به‌عنوان یکی از بقولات تثبیت کننده نیتروژن با در اختیار قرار دادن نیتروژن بیش‌تر در محیط ریشه نیشکر (پس از برداشت لوبیا چشم بلبلی) باعث بهبود صفات کمی در نیشکر شد. کشت مخلوط نیشکر با بقولات باعث افزایش بهره‌وری آب شد که این موضوع می‌تواند به دلیل افزایش کل ماده خشک تولیدی در واحد سطح و کاهش تبخیر آب از سطح خاک (به‌دلیل وجود پوشش گیاهی بیش‌تر روی سطح زمین) نسبت به کشت خالص می‌باشد. استفاده از کودهای بیولوژیکی مانند قارچ میکوریزا در زراعت نیشکر و همچنین کشت مخلوط نیشکر با بقولاتی که از نظر ویژگی‌های مرفولوژیکی متفاوت با نیشکر باشند و از نظر استفاده از منابع محیطی رقیبی برای نیشکر محسوب نشوند همانند لوبیا چشم بلبلی، می‌تواند در مسیر رسیدن به کشاورزی پایدار، باعث افزایش صفات کمی و کیفی در نیشکر بشود. در کل می‌توان نتیجه گرفت که در اثر بهبود تغذیه گیاه از نظر فسفر (حضور میکوریزا) و نیتروژن (حضور لوبیا چشم بلبلی)، نیشکر توانایی تولید مواد هیدروکربنه بیش‌تری در طی فرایند فتوسنتز داشت که باعث افزایش صفات کمی از جمله ارتفاع ساقه نیشکر شد. همچنین نتایج این پژوهش اثر مثبت هم‌افزایی حضور هم‌زمان قارچ میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی را روی افزایش بهره‌وری آب نشان دادند. در این پژوهش، بهترین نتایج در هر دو مکان، در تیمار مخلوط نیشکر(تلقیح شده با میکوریزا) به‌همراه لوبیا چشم بلبلی

(تلقیح با رایزوبیوم) حاصل شد و در کل نتایج در مکان اول بهتر از مکان دوم بودند. بیش‌ترین عملکرد لوبیا چشم بلبلی در تیمارهای تلقیح شده با باکتری حاصل شد که این موضوع نشان دهنده هم‌زیستی خوب رایزوبیوم لگومینوزاروم با ریشه لوبیا چشم بلبلی می‌باشد. بنابراین باکتری رایزوبیوم از طریق هم‌زیست شدن با ریشه لوبیا چشم بلبلی باعث افزایش تثبیت زیستی نیتروژن و افزایش سطح نیتروژن و به‌دنبال آن افزایش رشد رویشی و درنتیجه افزایش عملکرد در لوبیا چشم بلبلی شد. در این پژوهش نتایج، نشان دادند که باکتری رایزوبیوم با ریشه سویا هم‌زیست نشد. این موضوع می‌تواند ناشی از شرایط اقلیمی و خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه باشد. تحقیقات دیگر نیز تا کنون شواهدی مبنی بر هم‌زیستی بین سویا و رایزوبیوم در جنوب خوزستان (مناطق مورد آزمایش در این پژوهش) اعلام نکرده‌اند.

کشت مخلوط می‌تواند از طریق کاهش هزینه مصرف علفکش‌های شیمیایی، استفاده بیش‌تر از نور و همچنین بالاتر بودن نسبت برابری زمین و استفاده بیش‌تر از زمین و بهره‌وری بالاتر از آب باعث افزایش درآمد نسبت به کشت خالص شود.

۴-۳- پیشنهادات

- در مطالعات آتی، کشت دیگر گیاهان خانواده بقولات (ماش، باقلا) و شبدر برسیم به‌صورت مخلوط با نیشکر، با هدف بررسی نسبت برابری زمین و کارایی مصرف آب و نور مورد بررسی قرار گیرد.

- در مطالعات آتی، کشت مخلوط انواع بقولات در مزارع بازرویی نیشکر با هدف انتخاب بهترین گیاه لگوم و بهترین تاریخ کاشت بقولات مورد آزمایش قرار گیرد تا بتوان در مورد نسبت برابری زمین و کارایی مصرف آب و نور در این سیستم از کشت مخلوط قضاوت کرد.

- به منظور مطالعه دقیق میزان سودمندی گیاه لگوم از نظر تثبیت نیتروژن در مزرعه نیشکر و در نتیجه تأثیر آن روی کاهش مصرف کود شیمیایی نیتروژن، مطالعه‌ای به‌صورت کرت‌های خرد شده با فاکتور اصلی کشت مخلوط و کشت خالص و فاکتور فرعی استفاده و عدم استفاده از کود شیمیایی انجام شود.

- به منظور بررسی نسبت برابری زمین، کشت مخلوط گیاهان دیگر بجز بقولات (سبزی و صیفیجات) هم در مزرعه کشت اول و هم در مزرعه بازرویی نیشکر مورد بررسی قرار گیرد.

۴-۴- منابع

- ابدالی، ر. ۱۳۸۲. تأثیر کاربرد میکوریزا و سطوح مختلف فسفر در سطوح مختلف آبیاری روی عملکرد و اجزای عملکرد و برخی ویژگی‌های مرفولوژیکی در ذرت. **پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج**.

- اسدی رحمانی، ه. ۱۳۸۹. دستورالعمل نحوه کاربرد کودهای بیولوژیک. **وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی**. شماره ثبت، ۱۷۳۶: ۱۲-۱.

- اسدی رحمانی، ه. و صالح راستین، ن .۱۳۸۱. بررسی تحمل به حرارت و تثبیت نیتروژن در سویه‌های ریزوبیوم هم‌زیست سویا. **مجله علوم خاک و آب**. ۱۶: ۱۸۸-۱۷۹.

- امین، غ.، حکمت، م. ح. و شیروانیان، ع. ر. ۱۳۸۷. بررسی فنی- اقتصادی تأثیر کشت مخلوط بر جمعیت آفات مهم پنبه در زراعت پنبه. **گزارش نهایی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس (داراب). ۳۵ صفحه.**

- امینی فر، ج.، رمرودی، م.، گلوی، م. و محسن آبادی، غ. ر. ۱۳۹۵. ارزیابی قابلیت تولید پنبه (*Gossypium* spp.) در تناوب با کشت مخلوط کنجد (*Sesamum indicum* L.) - لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.). **مجله علوم زراعی ایران**. ۱۸ (۲): ۱۳۴-۱۲۰.

- آلیاری، ه.، شکاری، ف. و شکاری، ف. ۱۳۷۹. دانه های روغنی "زراعت و فیزیولوژی". **انتشارات عمیدی، تبریز**. ۱۸۲ صفحه.

- آینه بند، ا. ۱۳۸۶. اکولوژی بوم نظام‌های کشاورزی. **انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز**. ۳۷۴ صفحه.

- بازگشا، ف. و امینی بهبهانی، ا. ۱۳۸۳. کشت مخلوط گیاهان علوفه‌ای. معاونت زراعت دفتر محصولات علوفه‌ای. **وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی**. ۱۶۵ صفحه.

- پارسا، م. و باقری، ع. ر. ۱۳۸۷. حبوبات. چاپ اول، **انتشارات جهاد دانشگاهی واحد فردوسی مشهد**. ۵۲۸ صفحه.

- جمشیدی، خ.، مظاهری، د.، مجنون حسینی، ن.، رحیمیان مشهدی، ح. و پیغمبری، س. ع. ۱۳۹۰. بررسی تاثیر کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم بلبلی بر فرونشانی علف های هرز. **مجله علوم گیاهان زراعی ایران (علوم کشاورزی ایران)**. ۴۲ (۲): ۲۴۱-۲۳۳.

- جوانشیر، ع.، دباغ محمدی نسب، ع.، حمیدی، آ. و قلی پور، م. ۱۳۷۹. اکولوژی کشت مخلوط. چاپ اول، ترجمه، **انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد**. ۲۲۲ صفحه.

- حسن نژاد خسروآبادی، ع.، آریان نیا، ن. و مدحج، ع. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر توده کشت مخلوط و الگوی کاشت شبدر بر زیست توده علف‌های هرز و خواص کمی نیشکر. **علوم به زراعی گیاهی**. ۲ (۶): ۸۱-۶۷.

- حسینی، س. م . ب.، مظاهری، د.، جهانسوز، م. ر. و یزدی صمدی، ب. ۱۳۸۲. تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزان علوفه ای و لوبیا چشم بلبلی در کشت مخلوط. **پژوهش و سازندگی**. ۵۹: ۶۷-۶۰.

- حمزه‌ئی، ج. و صادقی می آبادی، ف. ۱۳۹۳. اثر دور آبیاری و قارچ میکوریزا آربوسکولار بر شاخص کلروفیل، عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم دانه‌ای. **مجله تولید و فرآوری زرا عی و محصولات باغی**. ۴ (۱۲) : ۲۲۰-۲۱۱.

- خرمی وفا، م.، افتخاری نسب، ن.، صیادیان، ک. و نجفی، ع. ا. ۱۳۹۰. کارایی مصرف آب در کشت مخلوط کدوی تخمه کاغذی (*Cucurbita pepo* L. var. *styriac*) با نخود (*Cicer arietinum* L.) و عدس (*Lens esculenta* Moench.) در سطوح مختلف مصرف نیتروژن. **نشریه بوم شناسی کشاورزی**. ۳ (۲): ۲۵۳-۲۴۵.

- خلج، م. ع.، مشیری، ف. و اسدی رحمانی، ه. ۱۳۹۲. بررسی توان تثبیت بیولوژیک نیتروژن (BNF) توسط سویه‌های رایزوبیوم در مناطق زیر کشت لوبیا در قزوین. **نشریه آب و خاک (علوم وصنایع کشاورزی)**. ۲۷ (۱): ۶۰-۵۴.

- خواجه پور، م. ر. ۱۳۸۶. گیاهان صنعتی. چاپ سوم، **انشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان**. ۵۸۰ صفحه.

- خواجه پور، م. ر. ۱۳۹۳. اصول و مبانی زراعت. چاپ سوم. **انشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان**. ۶۵۸ صفحه.

- خواجه خضری، ع.، رضایی استخروئیه، ع. و گلستانی کرمانی، س. ۱۳۹۷. ارزیابی اثرات کم آبیاری متناوب و منظم بر عملکرد و برخی از اجزای آن در کشت مخلوط (سورگوم - لوبیا قرمز). **علوم و مهندسی آبیاری**. ۴۱ (۲): ۹۲-۷۷.

- دلجو، ع. و سپهری، ع. ۱۳۸۳. بررسی الگوی کشت بر شاخص‌های رشد و عملکرد در کشت مخلوط سورگوم دانه‌ای و لوبیا چشم بلبلی. **هشتمین کنگره زراعت واصلاح نباتات ایران**. دانشگاه گیلان. صفحه 378.

- دوستی، ا.، مجنون حسینی، ن. و علی پور بابایی، ا. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر بهبود عملکرد و اجزاء عملکرد بذور پیر شده لوبیا چیتی. **تحقیقات به زراعی و به نژادی لوبیا. پنجمین همایش ملی حبوبات ایران**. ۴۳۲-۴۲۹.

- رستگار، م. ع. ۱۳۸٦. علف‌های هرز و روش‌های کنترل آن‌ها. **مرکز نشر دانشگاهی، تهران**.٤١٣ صفحه.

- رستمی، ل. ، مندنی، ف.، خرم دل، س.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، ع. ۱۳۸۸. اثر تراکم‌های مختلف کشت مخلوط ذرت و لوبیا بر عملکرد گیاهان زراعی و جمعیت علفهای هرز. **مجله پژوهش علف‌های هرز**. ۱ (۲): ۵۱-۳۷.

- رمضانیان، ع. ۱۳۸۴. معرفی باکتریهای ریزوبیومی به عنوان عوامل محرک رشد گیاه (PGPR). **اولین همایش ملی حبوبات**، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد. https://www.civilica.com/Paper-PULSES01-PULSES01_148.html
- زند، ا.، موسوی، س. ک. و حیدری، ا. ۱۳۹۴. علفکش‌ها و روش‌های کاربرد آن‌ها با رویکرد بهینه سازی و کاهش مصرف. چاپ دوم، **انتشارات جهاد دانشگاهی واحد فردوسی مشهد**. ۵۵۲ صفحه.
- زندوکیلی، ا. ب.، بهادری، آ.، سعودی، ج.، سعیدی، ا.، حیدریان، ش. و کرمی، ع. خ. ۱۳۹۴. نیشکر، از تجربه تا استاندارد (مجموعه مدون تجربیات علمی و اجرایی بخش کشاورزی شرکت کشت و صنعت نیشکر دهخدا). **انتشارات کردگار، اهواز**. ۱۴۸ صفحه.
- سالم زاده، ع.، سیادت، ع. ا. و نوریانی، ح. ۱۳۹۳. بررسی کارایی زراعی، کارایی فیزیولوژیکی و بازیافت ظاهری نیتروژن در کانوپی کشت مخلوط افزایشی ذرت - لوبیا در منطقه دزفول. **سیزدهمین همایش علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران و سومین همایش علوم و تکنولوژی بذر ایران**. ۵-۱. https://www.civilica.com/Paper-NABATAT13-NABATAT13_1100.html.
- ستوهیان، م. ۱۳۷۰. بررسی کشت مخلوط ذرت شیرین و خیار. **پایان نامه کارشناسی ارشد**. **دانشگاه تهران**، دانشکده کشاورزی. ۲۲۸ صفحه.
- سراج الدین، ا.، فتاحی، ا.، فهرستی ثانی، م. و نشاط، ا. ۱۳۹۵. تحلیل پویای کارایی فنی مصرف آب در محصول نیشکر (رهیافت تحلیل پوششی داده‌ها). **اقتصاد کشاورزی**. ۱۰ (۴): ۱۸۸-۱۷۷.
- سلطانی، ا. ۱۳۸۸. مدل سازی ریاضی در گیاهان زراعی. چاپ اول، **انتشارات جهاد دانشگاهی واحد فردوسی مشهد**. ۱۷۶ صفحه.

- سنجانی، س.، باقر حسینی، م.، چائی چی، م. ر. و رضوان بیدختی، ش. ۱۳۸۸. اثر کشت مخلوط افزایشی سورگوم (*Sorghum bicolor*) : لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*) بر جمعیت و زیست توده علف‌های هرز در شرایط کم آبیاری. **پژوهشهای زراعی ایران**. ۷ (۱): ۹۵-۸۵.
- سوبارائو، ن. س. ۱۳۷۵. کاربرد کودهای بیولوژیکی در کشاورزی پایدار. ترجمه آستارایی، ع. ر. و کوچکی، ع. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد مشهد. ۱۶۸ صفحه.
- سیدی، م. ن. و سید شریفی، ر. ۱۳۹۲. تأثیر تلقیح بذر با ریزوبیوم و مصرف کود نیتروژن بر عملکرد و خصوصیات زراعی سویا در شرایط اردبیل. **نشریه پژوهش‌های زراعی ایران**. ۱۱ (۴): ۶۲۸-۶۱۸.
- سیدی، م.، حمزه ئی، ج.، احمند وند، گ. و ابوطالبیان، م. ع. ۱۳۹۱. بررسی امکان مهار علف‌های هرز و تولید محصول در کشت مخلوط نخود و جو. **دانش کشاورزی و تولید پایدار**. ۲۲ (۳): ۱۱۴-۱۰۱.
- سیروس مهر، ع.، جوانشیر، ع.، رحیم زاده خویی، ف. و مقدم، م. ۱۳۸۲. کشت مخلوط ارزن نوتریفید و ماشک زراعی. **مجله بیابان**. ۲: ۲۶۳-۲۵۰.
- شکوه فر، ع. ر.، شهولی، ر.، قدرتی، غ. ر. ۱۳۸۷. ارزیابی عکس العمل سویا نسبت به مقادیر و سویه‌های مختلف باکتری *Bradyrhizobium japonicum* در منطقه شمال خوزستان. **مجله زراعت و اصلاح نباتات ایران**. ۴ (۲): ۹۲-۸۱.
- شوشتری، م. ب.، احمدیان، س. و اصفیاء، ق. ا. ۱۳۸۷. نیشکر در ایران. **انتشارات آییژ، تهران**. ۳۷۶ صفحه.
- صابری، ع. ر.، مساوات، ا.، مختار پور، ح.، فیض بخش، م. ت. 1391. ارزیابی تولید علوفه در کشت مخلوط سورگوم با برخی لگوم‌ها سویا و لوبیا چشم بلبلی در نسبت‌های مختلف کاشت. **دوازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران**، کرج، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.

https://www.civilica.com/Paper-NABATAT12-NABATAT12_0847.html

- صبوحی، م.، خنجری، س. و کیخا، ا. ع. ۱۳۸۹. بررسی کارایی مصرف آب در گلخانه‌های سیستان. **اقتصاد کشاورزی**. ۴ (۳): ۱۰۲-۹۱.

- عشقی‌زاده، ح. ر.، چایی‌چی، م. ر.، قلاوند، ا.، شعبانی، ق.، عزیزی، خ.، ترک‌نژاد، ا.، رئیسی‌یزدی، ه. و پاپی‌زاده، ع. ۱۳۸۶. بررسی کشت مخلوط بر عملکرد و میزان پروتئین یونجه یک‌ساله و جو در شرایط دیم. **نشریه پژوهش و سازندگی**. ۷۵ (۲): ۱۱۲-۱۰۲.

- علی اصغر زاده، ن.، صالح راستین، ن.، توفیقی، ح. و علیزاده، ع. ۱۳۸۴. پراکنش قارچ های میکوریز آربوسکولار در خاک‌های شور دشت تبریز و رابطه آن با برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک. **مجله علوم کشاورزی ایران**. ۳۲ (۱): ۹۹-۸۹.

- علیزاده، ا. ۱۳۸۵. رابطه آب و خاک و گیاه، (چاپ ششم). **انتشارات آستان قدس رضوی**، دانشگاه امام رضا، مشهد. ۴۷۲ صفحه.

- علیزاده، ا. ۱۳۸۶. اثرات میکوریزا در شرایط متفاوت رطوبت خاک بر جذب عناصر غذایی در ذرت. **مجله پژوهش در علوم کشاورزی**. ۳ (۱): ۴۳-۳۵.

- علیمددی، ا.، جهانسوز، م. ر.، بشارتی، ح. و توکل افشاری، ر. ۱۳۸۹. ارزیابی تأثیر ریز جانداران حل کننده فسفات، ما یکوریزا و پرایمینگ بذر بر گره زایی در گیاه نخود. **مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)**. ۲۴ (۱): ۵۳-۴۳.

- قائمی، ع. ا. و صدری، س. ۱۳۹۰. تأثیر کم آبیاری باروش‌های آبیاری قطره‌ای (نوار) وجویچه‌ای معمولی و ردیف یک در میان بر عملکرد چغندرقند. **نشریه دانش خاک و آب**. ۲۱ (۳): ۱۳۸-۱۲۷.

- قدرتی، غ ر. ۱۳۹۰. ارزیابی عملکرد و خصوصیات کمی و کیفی لاین‌های جدید سویا در شمال خوزستان. **فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی**. ۳ (۱۱): ۱۱۸-۱۰۳.

- قلی پور، م. و شریفی، پ. ۱۳۹۷. ارزیابی عملکرد و شاخص‌های سودمندی در نسبت‌های گوناگون کشت مخلوط لوبیا و آفتابگردان. **مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی**. ۱۰ (۳۳): ۱۱-۱.
- کاظمی، ز. ۱۳۸۹. بررسی تلقیح همزمان باکتری‌های رایزوبیوم و حل کننده فسفات بر عملکرد لوبیا در شرایط کم آبی. **پایان نامه کارشناسی ارشد**. دانشگاه صنعتی شاهرود.
- کرائی، ع.، عامری خواه، ه. و معزی، ع. ا. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر زمان تلقیح و میزان کود فسفاته کاربردی بر تعداد غده‌های فعال ریشه گیاه سویا در خاک‌های خوزستان. **اهواز، ۸ الی ۱۰ بهمن‌ماه، سیزدهمین کنگره علوم خاک ایران، حاصلخیزی و تغذیه گیاه. ۴-۱.**
- کرملا چعب، ع.، بخشنده، ع.، مرادی تلاوت، م. ر.، مرادی، ف. و شمیلی، م. ۱۳۹۴. اثر محلولپاشی ترکیبات شیمیایی تسریع کننده رسیدگی بر عملکرد، کیفیت و رسیدگی تکنولوژیک (*Saccharum officinarum* L.) نیشکر. **مجله علوم زراعی ایران**. ۱۷ (۱): ۷۳-۶۳.
- کوپاهی، م. ۱۳۸۲. اصول اقتصاد کشاورزی. چاپ هشتم. **انتشارات دانشگاه تهران**. 539 صفحه.
- کوچکی، ع. و سرمدنیا، غ. ح. ۱۳۸۲. فیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد ۱۵۵۰، ترجمه، چاپ دهم، **انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد**. ۴۰۰ صفحه.
- کوچکی، ع. و بنایان اول، م.۱۳۸۶. زراعت حبوبات. چاپ هشتم، **انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد**. ۲۳۶ صفحه.
- کوچکی، ع. ر.، نصیری محلاتی، م.، مندنی، ف.، فیضی، ح. و امیر مرادی، ش. ۱۳۸۸. ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور توسط کانوپی کشت مخلوط ذرت و لوبیا. **نشریه بوم شناسی کشاورزی**. ۱ (۱): ۲۳-۱۳.

- کوچکی، ع.، شباهنگ، ج.، خرم دل، س. و عظیمی، ر. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر فاصله آبیاری و ترکیب‌های کشت مخلوط مرزنجوش (*Origanum vulgare*) و زعفران (*Crocus sativus*) بر خنک شدن بنه‌ها به‌منظور کاهش اثرات نامطلوب تغییر اقلیم. **فصلنامه پژوهشهای علوم زراعی ایران**. ۱۱ (۳): ۴۰۰- ۳۹۰.

- مجنون حسینی، ن. ۱۳۸۳. حبوبات در ایران. چاپ سوم، **انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران**. ۲۴۰ صفحه.

- مرزبان، ز.، عامریان، م. ر. و ممرآبادی، م. ۱۳۹۳. بررسی خصوصیات ریشه و شاخص کلونی زایی لوبیا چشم بلبلی و ذرت تحت مصرف باکتری مزوریزوبیوم و قارچ آربسکولار میکوریزا در کشت مخلوط. **نشریه تولید خاک و مدیریت پایدار**. ۴ (۲): ۱۸۵-۱۶۹.

- مظاهری، د. و پیغمبری، ع. ۱۳۸۱. مطالعه و بررسی آنالیزهای رشد در زراعت تک کشتی و مخلوط ارقام سویا. **پژوهش و سازندگی**. ۵۴: ۵۴-۳۷.

- مظاهری، د. ۱۳۷۳. زراعت مخلوط. چاپ دوم، **انتشارات دانشگاه تهران**. ۲۶۲ صفحه.

- مقامیان زاده، ف.، غلامی، ع.، نادیان، ح. و شمیلی، م. ۱۳۹۱. تأثیر قارچ میکوریزا تحت تنش شوری بر روی ارتفاع گیاه نیشکر. **همایش ملی بهره‌برداری بهینه از منابع آب**. ۵-۱.

- موسائی سنجره‌ئی، م. ۱۳۹۶. چاپ اول. گیاهان همراه و کشت مخلوط. **انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد**. ۱۱۰ صفحه.

– نبوی کلات، م.، مظاهری، د.، خدابنده، ن. و طالعی، ع.۱۳۷۵. تأثیر سطوح مختلف ازت در زراعت مخلوط ذرت و سویا. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته زراعت. **دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران**.

- نصیری محلاتی، م.، کوچکی، ع. ر.، رضوانی، پ. و بهشتی، ع. ر. ۱۳۹۲. اگرواکولوژی. چاپ ششم، ترجمه، **انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد**. ۴۵۳ صفحه.

- نورمحمدی، م.، عباس دخت، ح.، اصغری، ح. ر. و غلامی، ا. ۱۳۹۲. مطالعه مدیریت تلفیقی تلقیح مضاعف ریزوبیوم و تیوباسیلوس در سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی. **اولین همایش ملی مهندسی و مدیریت کشاورزی، محیط زیست و منابع طبیعی پایدار**. ۸ صفحه.

- Abdul, R., Qamar, R. and Qamar, J. 2014. Economic assessment of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) through intercropping. **Journal of Agricultural Chemistry and Environment**. 3: 24-28.

- Abo El-Hamd, A. S., Bakheet, M. A. and Gadalla, A. F. A. 2013. Effect of chemical ripeners on juice quality, yield and yield components of some sugarcane varieties under the conditions of sohag governorate. **American-Eurasian Journal Agricultural Environment Science**. 13 (11): 1458-1464.

- Ambrosano, E. J., Azcon, R., Cantarella, H., Ambrosano, G. M. B., Schammass, E. A., Muraoka, T., Trivelin, P. C., Rossi, F., Guirado, N. and Teramoto, J. R. S. 2010. Crop rotation biomass and arbuscular mycorrhizal fungi effects on sugarcane yield. **Science Agriculture**, (Piracicaba, Brazil). 67(6): 692-701.

- Anjum, N. A. 2016. Book Review: Legumes under Environmental Stress: Yield, Improvement and Adaptations. **Frontiers in Plant Science**. Article 798, 7, 1-6.

- Antoun, H. and Kloepper, J. W. 2001. Plant growth - promoting rhizobacteria (PGPR). **Academic Press, London**. 1477 p.

- Antoun, H. and Kloepper, J. W. 2004. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). **Academic Press, London**. 1477 p.

- Asghari, H. R., Marschner, P., Smith, S. E. and Smith, F. A. 2005. Growth response of Atriplex nummularia to inoculation with *Arbuscular mycorrhizal* fungi at different salinity levels. **Plant and Soil**. 273: 245-256.

- Ayanaba, A. and Bromfield, E. S. P. 2003. The efficacy of soybean inoculation on acid soil in tropical Africa. **Plant and Soil**. 54: 95–106.

- Ayub, M., Nadeem, M. A. and Tanveer, A. 2003. Influence of different nitrogen levels and harvesting times on dry matter yield and quality off odder maize. **Pakistan Journal of Life and Social Science**. 1: 59-61.

- Bai, B., Suri, V. K., Kumar, A. and Choudhary, A. K. 2016. Influence of glomus – *Rhizobium symbiosis* on productivity, root morphology and soil fertility in garden pea in Himalayan Acid Alfisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. 47(6): 787-798.
- Barros, R. L. N., De Olivera, L. B., De Magalhaes, W. B. and Pimentel, C. 2016. Growth and yield of common bean affected by seed inoculatin whit rhizobium and nitrogen fertilization. **Experimental Agriculture**. 54(1): 1-15.
- Bertholdsson, N. O and S. Tuvesson. 2005. Possibilities to use marker assisted selection to improve alleopathic activity in cereals: **Proceeding of the cost susvar/Eco PB workshop**. Organic Plant. Breed. Strategies and the use of Molecular Markers. 2: 67- 71.
- Bhat, M. I., Rashid, A., Faisul-ur-Rasool, S. S., Mahdi, S. A. and Raies, A. 2010. Effect of Rhizobium and Vesicular arbuscular mycorrhizae Fungi on Green gram (*Vigna radiata Wilczek* L.) under Temperate Conditions. **Research Journal Agriculture Science**. 1: 113-122.
- Bhat, M.I., Bangroo, S.A., Tahir, A., Yadav, S.R.S., and Aziz, M.A. 2011. Combined effects of rhizobium and vesicular arbuscular fungi on green gram (*Vigna radiata Wilczek* L.) under temperate conditions. **Research Journal Agriculture Science**. 2(1): 17-20 .
- Bi, Q. 2006. Analysis on arbuscular mycorrhizal fungi to salt-tolerance and growth effects of *Leymus chinensis*. **Northeast Normal University**. **Changchun**, 253p.
- Black, C., and Ong, C. 2009. Utilization of light and water in tropical agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**. 104: 25–47.
- Brito, I., Michael, J., Goss, M. and Carvalho, D. E. 2008. Agronomic Management of Indigenous Mycorrhizas. **Universidade de Evora, ICAM, Apartado**. 94: 547-554.
- Brito, I., Michael, J., Goss, M., and Carvalho, D. E. 2009. Agronomic Management of Indigenous Mycorrhizas. Universidade de Evora, Internayional Center for Advanced Materials, **Apartado**. 94: 547-554.
- Bungard, R. A., Wingler, A., Morton, D. and Andrews. M. 1999. Ammonium can stimulate nitrate and nitrite reductase in the absence of nitrate in Clematis vitalba. **Plant Cell Environment**. 22: 859-866.
- Caihong, Y., Qiang, C., Guang, L., Fuxue, F. and Wang, L. 2015. Water use efficiency of controlled alternate irrigation on wheat/faba bean intercropping. **African Journal of Agricultural Research**. 10(48): 4348-4355.

- Carroll, C., Vandermeer, J. and Rosset, P. 1990. Agroecology. **McGraw-Hill Publishing**, California. 641 p.
- Cassman, K. G.,Whitney, A. S. and Fox, R. L. 1999. Phosphorus requirements of soybean and cowpea as affected by mode of N nutrition. **Agronomy Journal**. 73(1): 17-22.
- Chaitanya, K and S. Meenu. 2015. Plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR): a review. **Journal of Agricultural Research and Development**. 5(2): 108-119.
- Chandra, G. 1990. Fundamentals of agronomy. **Oxford and IBH Publishing**, New Delhi.585 p.
- Christiane, I. and Graham, P. H. 2002. Variation in di-nitrogen fixation among Andean bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes grown at low and high levels of phosphorus supply. **Field Crops Research**. 73: 133-143.
- Claassens, A., Nock, J., Zwieten, C. and Terry, R. 2017. Mycorrhizal fungi interactions with nutrients, pests and pathogens in sugarcane: a review. **Proceedings Australian Society of Sugarcane Technologists**. 39: 326-332.
- Clements, H. F. 1980. Sugarcane Crop Logging and Control: Principles and Practices. **Pitman Publishing Limited**, London. 520 p.
- Connolly, J., Goma, H. C., and Rahim, K. 2001. The information content of indicators in intercropping research. Agric. **Ecosystems and Environment**. 87: 191-207.
- Cui, L., F. Yang, X. Wang, T. Yong, X. Liu, B. Su and W. Yang. 2017. The Competitive ability of intercropped soybean in two row ratios of maize-soybean relay strip intercropping. **Australian Journal of Plant Sciences and Research**. 7(3):1-10.
- Dahmardeh, M., A. Ghanbari, B. A. Syahsar and M. Ramrodi. 2010. The role of intercropping maize (*Zea mays* L.) and Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) on yield and soil chemical properties. **Journal of Agricultural Research**. 5(8): 631-639.
- Dantata, I. J. 2014. Effect of Legume-Based Intercropping on Crop Yield: A Review. **Asian Journal of Agriculture and Food Sciences**. 2 (6): 507-522.
- Datta, P. and Kulkarni, M. 2012. Arbuscular Mycorrhizal Fungal Diversity in Sugarcane Rhizosphere in Relation with Soil Properties. **Notulae Scientia Biologicae**. 4(1): 66-74.
- Demir, S. 2004. Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameter of pepper. **Journal of Biology**. 28: 85-90.

- Denizart, B., R. Botelho, F. Branco, M. J. Perdona, S. O. Augusto and A. Fernando Chiorato. 2010. Intercropping of sugarcane with common bean in no-tillage and different nitrogen rates. **Australian Publishment**. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1 – 6 August 2010, Brisbane.
- Dua, V. K., Lal, S. S. and Govindakrishnan, P. M. 2005. Production potential and competition indices in potato + french bean intercropping system in Shimla Hills. **Indian Journal of Agricultural Science**. 75: 321-323.
- Eggleston, G., Legendre, B. and Tew, T. 2004. Indicators if freeze-damaged sugar cane varieties which can predict processing problems. **Food Chemistry**. 87: 119-133.
- Eskandari, H., Ghanbari, A. and Javanmard, A. 2009. Intercropping of cereals andlegumes for forage production. **Notulae Journal of Science Biology**. 1 (1): 7-13
- Eulenstein, F., Tauschke, M., Behrendt, A., Monk, J., Schindler, U., Lana, M. A., and Shaun Monk, S. 2017. The application of mycorrhizal fungi and organic fertilisers in horticultural potting soils to improve water use efficiency of crops. **Scientia Horticulturae Journal**. 3(8): 1-8.
- Evangelos, D. G., M. O. Derrick and A. R. Bruce. 2012. Radiation use efficiency of cotton in contrasting environments. **American Journal of Plant Sciences**. 3(5): 649-654.
- Farias, T. P., Trochmann, A., Soares, B. L. and Moreira, F. M. S. 2016. Rhizobia inoculation and liming increase cowpea productivity in Maranhao State. **Acta Scientiarum Agronomy**. 38(3), 387-395.
- Farooq, M. W. A., N. Kobayashi., D, Fujita and Basra, S. M. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**. 29: 185-222.
- Franzini, V. I., R. Azcon, F. L. Mendes and R. Aroca. 2010. Interactions between glomus species and rhizobium strains affectthe nutritional physiologyofdrought-stressed legume hosts. **Journal of Plant Physiology**. 167: 614-619.
- Fuente, E. B. L., Suarez, S. A. A. Lenardis, E. and Poggio, S. L. 2014. Intercropping sunflower and soybean in intensive farming systems: Evaluating yield advantage and effect on weed and insect assemblages. NJAS-Wagenin. **Journal of Life Sciences**. 70:47-52.
- Fukai, S. and Trenbath, B. R. 1999. Processes determining intercrop productivity and yields of component crops. **Field Crops Research**. 34: 247-271.

- Gao, Y., Duan, A. W., Sun, J. S., Li, F. S., Liu, Z. G., Liu H., and Liu, Z. D. 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. **Field Crops Research**. 111: 65-73.
- Garcia, L., Mendoza, R. and Pomar, M. C. (2012). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and dark septateendophtes under contrasting grazing modes in the Magellanic steppe of Tierra Del Fugeo. **Agriculture Ecosystem and Environment**, 155, 1-8.
- Geetha, P., K. Sivaraman, A. S. Tayade and R. Dhanapal. 2015. Sugarcane based intercropping system and its effect on cane yield. **Journal of Sugarcane Research**. 5 (2) : 1 –10.
- Ghanbari, A., Dahmardeh, M., Siahsar, B. A. and Ramroudi, M. 2010. Effect of Maize (*Zea mays* L.) – Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) Intercropping on Light Distribution, Soil Temperature and Soil Moisture in Arid Environment. **Journal Food Agriculture Environment**. 8(1): 102-108.
- Goudriaan, J. and Van Laar, H. H. 1994. Modelling Potential Crop Growth Processes. **Kluwer Academic Press**. Dordrcht, the Netherlands. 238 p.
- Hattield. J. 2014. Radiation Use Efficiency: Evaluation of cropping and management systems. **Agronomy Journal**. 106(5): 1820-1826.
- Hauggaard-Nielsen, H., Andersen, M. K., Jornsgaard, B. and Jensen, E. S. 2006. Density and relative frequency effects on competitive interactions and resource use in pea–barley intercrops. **Field Crops Research**. 95: 256-267.
-Hause, B., Mrosk, C., Isayenkov, S. and Strack, D. 2007. Jasmonates in arbuscularmycorrhizal interactions. **Journal of Phytochemistry**. 68: 101–110.
-Hibberd, J. M., Sheehy, J. E. and Langdale, A. 2008. Using C_4 photosynthesis to increase the yield of rice-rationale and feasibility. **Current Opinion in Plant Biology**. 11: 228-231.
- Hugar, H. Y. and Palled, Y. B. 2008. Studies on maize-vegetable intercropping systems. **Karnataka Journal of Agricultural Science**. 21: 162-164.
-Hungaria, M. and Vargas, M. A. T. 2000. Environmental factors affecting N2 fixation in grain legumes in the tropics, within emphasis on Brazil. **Field crops research**. 65: 151-164
- Huusela, V. E. and Vasarainen, A. 2000. Plant succession in perennial grass strip and effects on the diversity of leafhppers (Homoptera, Auchenorrhncha). **Agriculture Ecosystem and Environment**. 80:101-112.

- Iqbal, M. A., A. Hamid, T. Ahmad, M. H. Siddiqui, H. Imtiaz, A. Sajid, A. Anser and A. Zahoor. 2019. Forage sorghum-legumes intercropping: effect on growth, yields, nutritional quality and economic returns. **Bragantia**, **Campinas**, 78 (1): 82-95.
- Jamal, S. F., Cadet, P., Rutherford, R. S. and Straker, C. J. 2006. Effect of mycorrhiza on the nutrient uptake of sugarcane. **Proces South African Sugar Technologists' Association**. 78: 343-348.
- Jameschen, C. P. and Chungchou, C. H. 1993. Cane Sugar Handbook (12 th Edition). A Manual for cane sugar Manufacturers and their chemists, **Published by Wiley**. 1120 p.
- Jangpromma, N., Songsri, P., Thammasirirak, S. and Jaisil, P. 2010. Rapid assessment of chlorophyll content in sugarcane using a SPAD chlorophyll meter across different water stress conditions. **Asian Journal of Plant Science**. 9(6): 368-374.
- Jha, A. K and R. Singh. 2013. The influence of interaction between Rhizobium tropici and fertilizer N on nutrient uptake, growth and yield of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salt stress. **Progressive Horticulture**. 45(1): 222-228.
- Juniper, S. and Abbott, L. 1993. Vesicular-arbuscular mycorrhizasand soil salinity. **Journal of Mycorrhiza**.4: 45-57
- Kaur, N., Bhullar, M. S. and Gill, G. 2015. Weed management options for sugarcane-vegetable intercropping systems in north-western India. **Crop Protection**. 74: 18-23.
- Kaur, N., Bhullar, M. S. and Gill, G. 2016. Weed management in sugarcane - canola intercropping systems in northern India. **Field Crops Research**. 188: 1-9.
- Kelly, R. M., Edwards, D. G., Thompson, J. P. and Magarey, R. C. 2005. Growth responses of sugarcane to mycorrhiza spore density and phosphores rate. **Australian Journal of Agricultural Research**. 56: 1405-1413.
- Khandagave, R. B. 2010. Agronomic management of intercropping in sugarcane and its economic implications. **Proceedings International Society of SugCane Technologists**. 27: 1- 6.
- Kshirsagar, K. G. 2008. Organic sugarcane farming for enhancing farmers' income and reducing the degradation of land and water resources in Maharashtra. **Indian Journal of Agricultural Economics**. 63(3): 396-405.

- Kumalawati, Z., Musa,Y., Amin, N., Asrul, L. and Ridwan, I. 2014. Exploration Of Arbuscular Mycorrhizal Fungi FromSugarcane Rhizosphere In South Sulawesi. **International Journal of Scientific and Technology Research**. 3(1): 201-203.
- Kumar, R., J. Singh and S. K. Uppal. 2017. Management of weeds in sugarcane - wheat intercropping system in sub-tropical India. **Indian Journal of Weed Sciences**. 49(2): 139 – 146.
- Kumutha, K., Sempavalan, J. and Santhonakrishnan, P. 2006. Effect of insoluble phosphate and dual inoculation on soybean. In: Kannaiyan, S., K. Kumar, and K. Govindaraj (eds), Biofertilizer technology. **Ascientific Publishers (India) Jodhpur**. 2: 354-358.
- Lagoke, S. T. O. Eni, E. Adigun, J. A. and Phillip, B. B. 2014. Influence of intercropped groundnut (*Arachis hypogaea*) on the performance of weed control treatments in maize production. **International Journal of Agronomy and Agricultural Research**. 5 (6): 1-8.
- Lal, R. 2008. Soil quality impacts of residue removal for bioethanol production. **Soil and Tillage Research.** 102: 233-241.
- Liebman, M. and A. S. Davis. 2010. Integration of soil, crop and weed management in Low-input farming systems. **Weed Research**. 40: 27-47.
- Liebman, M., Mohler, C. L. and Staver, C. P. 2004. Ecological management of agricultural weeds. **Cambridg university press**. 532 p.
- Lima, J. D., Mosquim, P. R. and Damatta, F. M. 1999. Leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in *Phaseolus vulgaris* as affected by nitrogen and phosphorus deficiency. **Journal of Photosynthetica**. 37: 113-121.
- Magarey, R. C., Bull, J. I. and Reghenzani, J. R. 2005. The influence of vesicular arbuscular mycorrhizae (VAM) on sugarcane growth in the field. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technology**. 27: 282-290.
- Midya, A., Bhattacharjee, K., Ghose, S. S. and Banik, P. 2005. Differed seeding of blackgarm (*Phaseolus mungo* L.) in rice (*Oriza sativa* L.) Field on yield advantages and Somthering of weeds. **Journal of crop science**. 191:195-201.
- Mishra, R. H. 2010. Soil Microbiology (HB). CBS Publishers and Distributors. 156 p.
- Moore, P. H. and Botha, F. C. 2014. Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology. **Publish Wiley Blackwell**. 681p.

- Morales-Rosales, E. J. and O. Franco-Mora. 2009. Biomass, yield and land equivalent ratio of Helianthus annus L. in sole crop and intercropped with Phaseolus vulgaris L. in high valleys of Mexico. **Tropical and Subtropical Agroecosystems Journal**. 10(3): 431– 439.
- Morsy, A. S. M. Elwan, A. M. and Eissa, N. M. A. 2017. Studies on intercropping soybean with sugar cane under different nitrogen levels. **Egyptian Journal of Agronomy**. 39 (2): 221-237.
- Motsara, M. R. and Roy, R. N. 2008. Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis. 19: 81-85.
- Moura, J. B., Ribeiro, D. A., Lopes-Filho, L. C., Souza, R. F. and Furquim, L. C. 2017. Arbuscular mycorrhizas in sugarcane under different planting systems and sources of nitrogen. **Revista Scientia Agraria**. 18 (3): 20-29.
- Munevar, F. and Andwollum, A. G. 1981. Growth of *Rhizobium japonicum* strains at temperatues above 27C. **Appl.Environment Microbiology**. 42: 272-276.
- Nakaseko, K. 1988. Productivity of a dwarf type soybean induced by mechanical stimulation applied during vegetative stage. **Japan Journal Crop Science**. 57(4): 782-789.
- Ndarubu, A. A., Busari, L. D. and Misari, S. M. 2010. Weed management in sugarcane intercropped with arable crops in Nigeria. **Journal of Sugar Tech**. 2(3): 34-41.
- Nielson, H., Jornsgaard, B., Steen, J. E. 2003. Legume-Cereal intercropping system as a weed management tool. In: Proceeding of the 4th Eur.Weed Reserch .Society .Workshop: Crop weed competition interaction. **Universita Tusca, Viterbro, Italy**, 10-12th April.
- Nihorimbere, V., Ongena, M., Smargiassi, M. and Thonart, P. 2011. Beneficial effect of the rhizosphere microbial community for plant growth and health. **Biotechnology Agronomy Society Environment**. 15(2): 327-337.
- Page, A. L., Miller, R. H., and Keeney, D. R. 1995. Methods of Soil Analysis. Chemical and Microbiological Properties, , Part II ASA, I. SSSA, No, 9. **American Society of Agronomy**. 1142 p.
- Paul, D. and H. Lade. 2014. Plant-growth-promoting rhizobacteria to improve crop growthin saline soils: a review. **Agronomy Sustainable Devlopment**. 34: 734-752.
- Paul, E. 2006. Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry. **Academic Press**. 552 pp.
- Peter, F. 2010. Radiation use efficiency in spring barley under drought: a crosstalk between survival strategy and canopy structure. **Central Eropean Agriculture**. 11(1):83-92.

- Phillips, J. M. and Hayman, D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**. 55: 158-161.
- Pinedo-Vasquez, M., Padoch, C., McGrath, D. and Ximenes, T. 2000. Biodiversity as a product of smallholder,sstrategies for overcoming changes in thir natural and social landscapes: a report prepared by the Amazonia Cluster. **PLEC News and Views.** 15: 9-19.
- Qiang-Sheng , W., Ying-Ning , Z. and Xin-Hua, H. 2010. Contributions of arbuscular mycorrhizal fungi to growth, photosynthesis, root morphology and ionic balance of citrus seedlings under salt stress. **Acta Physiologiae Plantarum**. 32: 297–304.
- Rahman, T., Liu, X., Hussain, S., Ahmed, S., Chen, G., Yang, F., Chen, L., Du, J., Liu, W. and Yang, W. 2017. Water use efficiency and evapotranspiration in maize-soybean relay strip intercrop systems as affected by planting geometries. **Plose One**. 12(6): 1-20. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178332.
- Raman, K., Duttamajumder, S. K., Srivastava, B. L., Madhok. H. L. and Ram, K. 2013. Harvest index and the components of biological yield in sugarcane. **Indian Journal Genetics and Plant Breeding**. 73(4): 386-391.
- Rana, N.S. Kmar, S. and Saini, S. K. 2004. Weed Management in Spring Sugarcane Based Intercropping Systems. **Indian Journal Weed Science**. 36(1&2): 93-95.
- Rasool, A. M., A. Farooq, M. Zubair, M. Jamil, S. Ahmad and S. Afghan. 2011. Prospects of intercropping rabi crops in autumn planted sugarcane. **Pakistan Sugar Journal** . 26 (2): 2-5.
- Saleem, R., Umar, F. M. and Ahmed, R. 2005. Bioeconomic assessment of different sunflower based intercropping systems at different geometric configurations. **Pakistan Journal of Biological Sciences**. 6: 1187-1190.
- Sanjay, B. P. and Sujit, S. P. 2014. Measurement of sugarcane leaf chlorophyll. **International Journal of Application or Innovation in Engineering and Management**. 3(2): 97-102.
- Saudy, H. S. and Elmetwally, I. M. 2009. Weed management under different patterns of sunflower–soybean intercropping. **Journal of Central European Agriculture**. 10: 41-52.
- Schmidt, B., R. Şumalan and I. Samfira. 2015. Benefits of arbuscular mycorrhiza on development of marigold in different nutritional conditions. **Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology**. 19(2): 210-215.

- Sergeera, E., Hirkala, D. L., and Nelson, L. M. 2007. Production of Indole-3-Acetic Acid, aromatic amino acid aminotransferase activities and plant growth promotion by pantoea agglomerans rhizosphere isolates. **Plant and Soil**. 297:1-13.
- Shafinazir, M., Jabbar, A., Imtiaz, A. and Iftikhar, H. 2002. Production Potential and Economics of Intercropping in Autumn-Planted Sugarcane. **International Journal of Agriculture and Biology**. 4: 140–148.
- Shilpa, V. C., Chandranath, H. T. and Khandagave, R. B. 2018. Economics and Intercropping Indices of Sugarcane Based Intercropping System in Plant Cane. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**. 7 (8): 101-108.
- Shilpa, V. C., Deepa, G. S. and Chandranath, H. T. 2017. Intercropping in Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **International Journal of Pure and Applied Bioscience**. 5(2): 319-323.
- Shrivastava, U. K., Rajput, R. L. and Dwivedi, M. L. 2009. Response of soybean-mustard cropping system to sulfur and bio-fertilizers on farmer's field. **Legume Research**. 23: 277-278.
- Siddiqui, Z. A., Akhtar, M. S. and Futai, K. 2008. Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry. **Springer Science + Business Media B.V**. 366 p.
- Silva, M. A., Jifon, J. L., Santos, C. M., Jadoski, C. J. and Silva, J. A. G. 2013. Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. 56(5): 735-748 .
- Singh, J. K. 2007. Response of sunflower (*Helianthus annuus*) and french bean (*Phaseolus vulgaris*) intercropping to different row ratios and nitrogen levels under rain fed conditions of temperate Kashmir. **Indian Journal of Agronomy**. 52: 36-39.
- Singh, J. S., Pandey, V. C., and Singh, D. P. 2011. Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development. **Agriculture Ecosystems and Environment.** 140: 339-353.
- Singh, S. N., Singh, P., Rai, R. K. and Pathak, A. D. 2018. Vegetables intercropping with autumn planted sugarcane: a step towards doubling farmers income in Indian sub-tropics. **Indian Farming**. 68(1): 65–68.

- Smith, S. E. and Read, D. J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis (3th ed.). **Academic Press, London**, UK. 800 p.
- Sogut, T. 2006. Rhizobium inoculation improves yield and nitrogen accumulation in soybean (*Glycine max* L.) cultivars better than fertilizer. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**. 34: 115-120.
- Soumare, M., Tack, G. and Verloo, M. G. 2003. Effects of a municipal solid waste compost and mineralfertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. **Bioresource Technology**. 86: 15-20.
- Solaiman, A. R. M., Rabbani, M. G. and Moll, M. N. 2005. Effects of inoculation of Rhizobium and *Arbuscular mycorrhiza*, poultry litter, nitrogen, and phosphorus on growth and yield in chickpea. **Kore Journal Crop Science**. 50: 256-261.
- Sturz, A.V. and Christie, B. R. 2006. Beneficial microbial alleloplathies in the root zone: the management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. **Soil and Tillage Research**. 72: 107-123.
- Sulieman, S. and Phan-Tran, L. S. 2014. Symbiotic nitrogen fixation in legume nodules: metabolism and regulatory mechanisms. **International Journal of Molecular Sciences**. 15: 19389-19393 .
- Sulistiono, W., Taryono, T., Yudono, P. and Irham, G. 2017. Sugarcane roots dynamics inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi on dry land. **Journal of Agronomy**. 16 (3): 101-114.
- Surendran, U. and Vani, D. 2013. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi in sugarcane productivity under semiarid tropical agro ecosystem in India. **International Journal of Plant Production**. 7(2): 269-278.
- Suryawanshi, M. W., M. G. Umate and A. P. Thombre. 2010. Studies on economic returns of sugarcane based intercropping system. **International Journal Agriculture Sciences**. 6(2): 513-514.
- Tang, M., Chen, H. Huang, J. C. and Tian, Z.Q. 2009. Arbuscular mycorrhiza fungi effects on the growth and physiology of (*Zea mays* L.) seedlings under diesel stress. **Soil Biology Biochemistry**. 41: 936–940.
- Tavasolee, A., Aliasgharzad, N., Salehi, G. R., Mardi, M., Asgharzadeh, A. and Akbarivala, S. 2011. Effects of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia on fungal

occupancy in chickpea root and nodule determined by real-time PCR. **Current Microbiology**, 63(2):10-14.

- Togay, N., Togay, Y., Cimrin, K. M. and Turan, M. 2008. Effect of Rhizobium inoculation, sulfur and phosphorus application on yield, yield components and nutrient uptake in chick pea (*Cicer aretinum* L.). **African Journal of Biotechnology**. 7(6): 776-782.
- Tripathi, P. C. and Lawande, K. E. 2005. Intercropping of Onion and Garlic in Sugarcane with modern irrigation systems. **Technical Bulletin**. 14: 1-8.
- Tsubo, M., S. Walker and Mukhala, E. 2010. Comparisons of radiation use efficiency of mono-intercropping systems with different row orientations. **Field Crops Research**. 71(1): 17-29.
- Turk, M. A., Assaf, T. A., Hameed, K. M., and Tawaha, A. M. 2006. Significance of mycorrhizae. **World Journal Agriculture Sciences**. 2: 16-20.
- Ullah, A., Bhatti, M. A., Gurmani, Z. A. and Imran, M. 2007. Studies on planting patterns of maize (*Zea mays* L.) facilitating legumes intercropping. **Journal of Agricultural Research**. 45:113 –118.
- Usha Rant, T. 2013. Effect of different levels of phosphorus on yield, nutrient uptake and quality in presence and absence of cane trash and mycorrhizae in sugarcane. Acharya N.G. **Ranga Agricultural University**. Series/Report of Thesis, no: D9308, 228 p.
- Veiga, R. S. L., A. Faccio, A. Genre, C. M. J. Pieterse, P. Bonfante and M. G. A. Vanderheijden. 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi reduce growth and infect roots of the non-host plant Arabidopsis thaliana. **Plant Cell and Environment Journal**. 36: 1926-1937.
- Veiga, R. S. L., J. Jansa, E. Frossard and M. G. A. Heijden. 2011. Can Arbuscular Mycorrhizal Fungi Reduce the Growth of Agricultural Weeds? **Plos One Journal**. 6 (12): 1–10.
- Veiga, R. S. L., K. Howard and M. G. A. Heijden. 2012. No evidence for allelopathic effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the non-host plant Stellaria media. **Plant and Soil Journal**. 360(1-2): 319-331.
- Venter, M. W. 2012. Effect of Vesicular Arbuscular Mycorrhiza (VAM) on the Yield Improvement in Sugarcane. **Biocult of Journal**. 3: 1-6.

- Wenhua, X. 2001. Agro-Ecological farming systems in China. Unesco Press. **Parthenon Publishing group**, New York. 433 p.
- Whalley, H. C. S. 2009. ICUMSA (International Commission for Uniform Methods in Sugar Analysis). ICUMSA Methods Book and ICUMSA Supplement, **Elsevier Publishing Company**, Amsterdam, London, New York. 420 p.
- Wu, L., and Birch, R. G. 2007. Doubled sugar content in sugarcane plants modified to produce a sucrose isomer. **Plant Biotechnology Journal**. 5: 109-117.
- Yahuza, I. 2011. Review of radiation interception and radiation use efficiency in intercropping in relation to the analysis of wheat/faba bean intercropping system. **Journal of Biodiversity and Environmental Sciences**. 1(5): 1-15.
- Zhang, F. and Li, L. 2003. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient use efficiency. **Plant and Soil.** 248: 305-312.
- Zimdahl, R. L. 1993. Fundamentals of Weed Science. **Academic Press**, New York. 666 p.

The effect of biopriming on quantitative and qualitative yield of sugarcane-legumes intercropping

Abstract

In order to evaluate the effect of biopriming on sugarcane cuttings and legume seeds with mycorrhizal fungi and rhizobium bacteria on the yield of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.), cowpea (*Vigna unguiculata* L.) and soybean (*Glycine max* L.), root dry weight, stem height and diameter of sugarcane , type of harvest index of sugarcane, cowpea and soybean, land equivalent ratio (LER), Leaf Area Index (LAI), Light Extinction Coefficient (K), weed control, Radiation Use Efficiency, water productivity, brix percentage of sugarcane, purity percentage of sugarcane, chlorophyll content in leaves in the intercropping of sugarcane and legumes, an experiment was conducted in a randomized complete block design with 14 treatments and four replications during 2016-17 at two locations in Ahwaz. The treatments were: pure sugarcane, pure soybean, pure cowpea, pure soybean + rhizobium, pure cowpea + rhizobium, pure sugarcane + mycorrhizal, Intercropping sugarcane with cowpea, intercropping sugarcane with soybean, intercropping sugarcane with cowpea + rhizobium, intercropping sugarcane with soybean + rhizobium, intercropping sugarcane + mycorrhiza and cowpea, intercropping sugarcane + mycorrhiza and soybean, intercropping sugarcane + mycorrhiza and soybean + rhizobium, intercropping sugarcane + mycorrhiza and cowpea + rhizobium. Combined analysis of variance showed that different treatments were significant on yield of sugarcane and harvest index of sugarcane, land equivalent ratio (LER), cowpea seed yield, number of pods in cowpea and soybean, weight of 1000- grain of cowpea, number of nodules and dry weight of nodules in cowpea root. Different locations also had a significant effect on yield and harvest index of sugarcane, cowpea seed yield, number of pods in cowpea, weight of 1000-grain of cowpea, number of nodules and dry weight of nodules in cowpea root and harvest index of soybean. The K factor in cowpea and soybeans was significantly difference in different places, but there was no significant difference in sugarcane. In general, radiation use efficiency in intercropping treatments was better than pure crop and the highest

radiation use efficiency in sugarcane (2.21 g.Mg-1) and the most economic yield of sugarcane (111.6 t/ha) and the most seed yield of cowpea (2.27 t/ha) were in intercropping sugarcane + mycorrhiza and cowpea + rhizobium which indicates good coexistence of sugarcane root with mycorrhiza and the root of cowpea with rhizobium. The highest LAI (4.612) and the highest K factor (0.595) in cowpea were obtained in cowpea + rhizobium. The highest LAI (6.713) and the highest K factor (0.473) in sugarcane were obtained in intercropping sugarcane + mycorrhiza and cowpea + rhizobium. The results showed that the highest water productivity (4.46 k/m3), the highest sugarcane stem height (215.6 cm), the largest diameter in the middle (41 mm) of the stem and at the bottom (43.88 mm) of the stem, the highest dry weight roots (269.8 g) and the highest brix percentage (21.88 %) of sugarcane stem extract and the highest harvest index for cane yield (93.81 %), highest harvest index for sugar yield (7.34 %), purity (87.28 %), white sugar percentage (11.73 %), and maximum nitrogen (2.1 %), phosphorus (0.26 %), potassium (1.91 %) in the lamina, and moisture content (83.82 %) in the leaf sheath of sugarcane were related to intercropped sugarcane + mycorrhizal and cowpea+ rhizobium treatment. The amount of LER in all treatments was higher than one, indicating the beneficial effects of intercropping. The most LER (2.068) was related to intercropped sugarcane + mycorrhizal and cowpea treatment. Weeds were well controlled without using herbicides in intercropping treatments. Therefore in this study the best results were obtained in sugarcane crop (inoculation with mycorrhizal) and cowpea (inoculation with rhizobium). The results of this experiment showed that the synergistic effects of mycorrhizal fungi and cowpea on the traits were positively evaluated on the traits. Therefore, the use of mycorrhizal and rhizobium and the use of legumes in intercropping, improved soil fertility, increased land use efficiency and radiation. Intercropping through non-chemical control of weeds reduces the risk of pollutants in the environment. Therefore, in order to improve the qualitative and quantitative properties of sugarcane, intercropping sugarcane with legumes, such as cowpea, and also inoculation of sugarcane cuttings during cultivation with mycorrhiza fungi is recommended.

Key words: Intercropping, Mycorrhiza, Rhizobium, Radiation use efficiency, water productivity, Land Equivalent Ratio

Shahrood University of Technology

Faculty of Agricultural Engineering

Theses of PhD Agroecology

The effect of biopriming on quantitative and qualitative yield of sugarcane-legumes intercropping

By: Ali Ehsani pour

Supervisors :

Dr: Hamid Abbasdokht

Dr: Manoochehr Gholipoor

Advisor:

Dr: Alireza Abdali Mashhadi

September 2019