



نشریه تولید گیاهان زراعی  
جلد نهم، شماره یکم، بهار ۹۵  
۴۹-۶۸  
<http://ejcp.gau.ac.ir>



## ارزیابی اثر تنوع گونه‌ای بر برخی خدمات اکوسیستمی در کشت مخلوط ذرت، سویا و ختمی ۲- عملکرد، نسبت برابری زمین، تنفس و زیست توده میکروبی خاک و پتانسیل ترسیب کربن

فرانک نوربخش<sup>۱</sup>، \*علیرضا کوچکی<sup>۲</sup> و مهدی نصیری محلاتی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری اکرواکولوژی گروه زراعت دانشگاه فردوسی مشهد،

<sup>۲</sup> استاد گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۲/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۸/۲۳

### چکیده

**سابقه و هدف:** بسیاری از محققین مهم‌ترین عامل افزایش تنوع در اکوسیستم‌های زراعی را حضور کشت‌های مخلوط در این سیستم‌ها می‌دانند. افزایش تنوع محصولات از طریق کشت مخلوط می‌تواند در بهبود کارکردها و خدمات اکوسیستمی مؤثر باشد. بنا به تعریف خدمات اکوسیستمی عبارتند از “شرایط و فرآیندهایی که از طریق آن اکوسیستم‌های طبیعی و گونه‌هایی که ساختار آن را تشکیل می‌دهند تداوم حیات انسان را تضمین کرده و نیازهای او را تأمین می‌کنند”. خدمات اکوسیستمی بسیار متنوع بوده و دارای ابعاد اکولوژیکی و زیست محیطی می‌باشند که از آن جمله می‌توان به افزایش فعالیت‌های بیولوژیک خاک اشاره نمود. بالا بردن تنوع گیاهی از طریق کشت مخلوط منجر به افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک شده و در نتیجه فعالیت میکروبی خاک به عنوان یکی از کارکردهای اکوسیستمی بهبود می‌یابد.

**مواد و روش‌ها:** هدف از انجام این مطالعه بررسی اثر سودمندی کشت مخلوط ذرت، سویا و ختمی از لحاظ نسبت برابری زمین، زیست توده میکروبی و همچنین پتانسیل ترسیب کربن به عنوان کارکردهای مختلف اکوسیستمی بود. برای این منظور آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایشی شامل الگوهای مختلف کشت مخلوط سه گونه ذرت، سویا و ختمی بر اساس سری‌های جایگزینی در ۷ سطح بود. هر کرت آزمایشی شامل ۶ ردیف کاشت بود. تیمارهای کشت مخلوط شامل کشت مخلوط سویا و ذرت به صورت ۴ ردیف سویا و ۲ ردیف ذرت، سویا و ختمی به

\*مسئول مکاتبه: [akooch@um.ac.ir](mailto:akooch@um.ac.ir)

صورت ۴ ردیف سویا و ۲ ردیف ختمی، ذرت و ختمی به صورت ۴ ردیف ختمی و ۲ ردیف ذرت، کشت مخلوط سه گونه با هم و همچنین کشت خالص هر سه گونه بود. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد، نسبت برابری زمین، تنفس و زیست توده میکروبی خاک و همچنین پتانسیل ترسیب کربن بود.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که نسبت برابری زمین در تمام الگوهای کشت مخلوط بزرگتر از یک بود و بدون وجود تفاوت معنی‌دار، در دامنه‌ای از ۱/۰۱ تا ۱/۰۸ متغیر بود که این امر بیان‌گر سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌باشد. استفاده از سیستم‌های چند کشتی همچنین منجر به افزایش تنفس و زیست توده میکروبی خاک در مقایسه با تک‌کشتی هر یک از سه گونه گردید، به طوری که بیشترین میزان تنفس (۹۴/۱۷ میلی گرم دی اکسید کربن در کیلوگرم خاک در روز) و زیست توده میکروبی خاک (۸۲۰/۳۴ میلی گرم در کیلوگرم خاک) در کشت مخلوط سه گانه ذرت + سویا + ختمی به دست آمد. نتایج آزمایش همچنین حاکی از افزایش پتانسیل ترسیب کربن در خاک تحت تأثیر سیستم‌های مختلف کشت مخلوط بود و بیشترین پتانسیل ترسیب کربن در الگوهای مختلف کشت مخلوط، در کشت مخلوط ذرت و ختمی (به ترتیب ۱۴۸۷/۵، ۳۲۱۰/۱، ۴۵۰۲/۰ کیلوگرم کربن در هکتار در سناریوهای ۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد بقایا) مشاهده گردید. بنابراین به عنوان یک پیشنهاد کلی، افزایش تنوع گیاهی از طریق کشت مخلوط را می‌توان به عنوان یکی از راهکارهای موثر در جهت افزایش خدمات اکوسیستی همچون بهبود فعالیت میکروبی و پتانسیل ترسیب کربن مدنظر قرار داده و ارزش‌گذاری چنین خدماتی در سیستم‌های چند کشتی و مقایسه آنها با کشت‌های خالص را برای مطالعات آتی توصیه نمود.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به یافته‌های این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که افزایش تنوع گیاهی از طریق کشت مخلوط می‌تواند منجر به افزایش زیست توده میکروبی خاک شود که می‌تواند به نوبه خود موجب افزایش چرخش عناصر غذایی و حاصلخیزی خاک گردد، اگرچه افزایش زیست توده میکروبی ممکن است از طرفی منجر به کاهش ترسیب کربن در خاک گردد، زیرا در شرایط افزایش زیست توده میکروبی خاک، سرعت تجزیه بقایا و تنفس میکروبی افزایش یافته و دی اکسید کربن بیشتری وارد اتمسفر می‌شود و در نتیجه میزان ترسیب کربن کاهش می‌یابد، البته باید خاطر نشان کرد که فعالیت میکروبی و میزان ترسیب کربن به شرایط محیطی به ویژه دما و رطوبت بستگی زیادی دارد. یکی دیگر از کارکردهای مهم کشت مخلوط، افزایش پتانسیل ترسیب کربن می‌باشد که با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان عنوان نمود که استفاده از سیستم‌های مختلف کشت مخلوط با افزایش پتانسیل ترسیب کربن در خاک، می‌تواند گام مهمی در راستای تعدیل اثرات منفی تغییر اقلیم به همراه داشته باشد. البته لازم به ذکر است که انتخاب نوع گیاهان در سیستم مخلوط و همچنین میزان حفظ بقایای گیاهی در خاک، نقش بسزایی در موفقیت کشت مخلوط از لحاظ ترسیب کربن خواهد داشت.

**واژه‌های کلیدی:** تنوع گیاهی، چند کشتی، خدمات اکوسیستمی، میکروارگانیزم

## مقدمه

فعالیت‌های مرتبط با کشاورزی رایج که همراه با ساده‌سازی تنوع زیستی می‌باشد منجر به ایجاد بوم‌نظام‌هایی شده است که به شدت نسبت به مخاطرات محیطی آسیب‌پذیر بوده و به نوعی ناپایدار محسوب می‌شوند. در حالی که در بوم‌نظام‌های طبیعی، در نتیجه ارتقای تنوع زیستی موجود، کارکردهای حاصل از تنوع از طریق جریان انرژی و چرخه مواد غذایی به‌طور طبیعی از داخل بوم‌نظام تنظیم می‌شوند (۱). با توجه به اینکه قابلیت خودتنظیمی بوم‌نظام‌های کشاورزی در نتیجه فشردگی این بوم‌نظام‌ها از بین رفته است، بنابراین ارتقاء تنوع زیستی در این نظام‌ها در احیاء آن‌ها تاثیرگذار است. تنوع زیستی در بوم‌نظام‌های کشاورزی منجر به تنظیم جمعیت آفات از طریق کنترل طبیعی حشرات آفت و بیماری‌ها می‌شود و همچنین چرخه‌های عناصر غذایی و حفاظت خاک از طریق فعالیت‌های ریزموجودات احیا می‌گردد که به نوبه خود سایر خدمات بوم‌نظام مانند پایداری خاک، کنترل فرسایش خاک و ترسیب کربن را افزایش می‌دهند (۲۷).

بسیاری از محققین مهم‌ترین عامل افزایش تنوع در اکوسیستم‌های زراعی را حضور کشت‌های مخلوط در این سیستم‌ها می‌دانند (۳۱، ۲۱ و ۱). افزایش تنوع محصولات از طریق کشت مخلوط می‌تواند در بهبود کارکردها و خدمات اکوسیستمی مؤثر باشد. بنا به تعریف خدمات اکوسیستمی عبارتند از شرایط و فرآیندهایی که از طریق آن اکوسیستم‌های طبیعی و گونه‌هایی که ساختار آن را تشکیل می‌دهند تداوم حیات انسان را تضمین کرده و نیازهای او را تأمین می‌کنند. خدمات اکوسیستمی بسیار متنوع بوده و دارای ابعاد اکولوژیکی و زیست محیطی می‌باشند که از آن جمله می‌توان به افزایش فعالیت‌های بیولوژیک خاک اشاره نمود. بالا بردن تنوع گیاهی از طریق کشت مخلوط منجر به افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک شده و در نتیجه فعالیت میکروبی خاک به عنوان یکی از کارکردهای اکوسیستمی بهبود می‌یابد (۲۹). تانگ و همکاران (۲۰۱۴) نیز در بررسی فعالیت میکروبی خاک در سیستم‌های مختلف کشت به این نتیجه رسیدند که افزایش تنوع محصولات به صورت کشت مخلوط منجر به افزایش زیست توده میکروبی نسبت به سیستم‌های تک کشتی می‌شود (۲۹).

ترسیب کربن به عنوان یکی دیگر از خدمات اکوسیستمی مطرح می‌باشد که نقش بسزایی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و پدیده تغییر اقلیم دارد (۱۹ و ۱۵). در حال حاضر گرمایش زمین به دلیل افزایش دی‌اکسید کربن و دیگر گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات

زیست محیطی مطرح می‌باشد (۷). اگرچه در قرن حاضر فعالیت‌های کشاورزی تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت (۱۰ و ۲۶)، اما در عین حال کشاورزی با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق روش‌های مختلف مدیریت کشاورزی و ترسیب کربن، می‌تواند نقش موثری در کاهش اثرات تغییر اقلیم داشته باشد (۱۹، ۱۵). در این راستا افزایش تنوع گیاهی از طریق کشت مخلوط و سیستم‌های چندکشتی یکی از مهم‌ترین راهکارهای مدیریتی در جهت افزایش پتانسیل ترسیب کربن می‌باشد (۱۷ و ۲۲). به طوری که تواناسان و گوردون (۲۰۰۴) به افزایش ۴ برابری ترسیب کربن در سیستم‌های کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی اشاره کردند (۳۰).

توجه به اهمیت جمعیت میکروبی خاک و نقش آن‌ها در چرخه عناصر غذایی و همچنین ترسیب کربن به عنوان یکی از راهکارهای تخفیف تغییر اقلیم، از ارکان مهم پایداری آگرو اکوسیستم‌ها محسوب می‌شود. افزایش تنوع گونه‌ای یکی از راهکارهای مؤثر در حصول به پایداری در نظر گرفته می‌شود و همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد بسیاری از محققین مهم‌ترین عامل افزایش تنوع در اکوسیستم‌های زراعی را حضور کشت‌های مخلوط در این سیستم‌ها می‌دانند. اگر چه اثرات مستقیم کشت مخلوط در مطالعات مختلف بررسی شده است ولی مزایای آن بر خدمات اکوسیستم مورد تأکید قرار نگرفته است، بر همین اساس در این تحقیق سه گروه کارکردی متفاوت (سویا به عنوان یک گونه  $C_3$  و تثبیت کننده نیتروژن، ذرت به عنوان یک گونه  $C_4$  و مصرف کننده نیتروژن و ختمی به عنوان یک گونه دارویی) برای کاشت به صورت مخلوط دوگانه و سه‌گانه انتخاب شدند تا با بررسی فعالیت میکروبی خاک و همچنین پتانسیل ترسیب کربن در سیستم‌های چندکشتی و مقایسه آن با کشت خالص سه گونه، نقش کشت مخلوط ذرت، سویا و ختمی و یا به عبارتی نقش تنوع گونه‌ای بر این خدمات مشخص گردد.

## مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر الگوهای کشت مخلوط بر عملکرد، خصوصیات بیولوژیکی خاک (تنفس و زیست توده میکروبی خاک) و پتانسیل ترسیب کربن به عنوان خدمات اکوسیستمی، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا، به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایشی شامل الگوهای مختلف کشت مخلوط سه گونه ذرت، سویا و ختمی

بر اساس سری‌های جایگزینی در ۷ سطح بود. هر کرت آزمایشی شامل ۶ ردیف کاشت بود. تیمارهای کشت مخلوط شامل کشت مخلوط سویا و ذرت به نسبت ۲:۱ (۴ ردیف سویا و ۲ ردیف ذرت)، سویا و ختمی به نسبت ۲:۱ (۴ ردیف سویا و ۲ ردیف ختمی)، ذرت و ختمی به نسبت ۲:۱ (۴ ردیف ختمی و ۲ ردیف ذرت)، کشت مخلوط سه گونه به نسبت ۱:۱:۱ و همچنین کشت خالص هر سه گونه بود. لازم به ذکر است که انتخاب این الگوها با توجه به ارتفاع و مساله رقابت و سایه‌اندازی گیاهان صورت گرفت و سعی شد گیاهانی با ارتفاع کمتر در دو طرف گیاهی با ارتفاع بیشتر قرار گیرند تا تاثیر رقابت بین گونه‌ای، ارتفاع و سایه‌اندازی کاهش یابد تا اثرات مفید و سودمندی حضور گونه‌ها در کشت مخلوط بروز بیشتری یابد. ابعاد هر کرت ۳/۵×۵ و فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ و فاصله بین تکرارها نیز ۱ متر در نظر گرفته شد. مراحل آماده‌سازی زمین در اوایل بهار و کشت هر سه گونه نیز در اواخر اردیبهشت (به صورت دستی) انجام گرفت. فاصله بین و روی ردیف برای ذرت و ختمی به ترتیب ۶۰ و ۲۰ سانتی‌متر و برای سویا ۶۰ و ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (۲۴). به عبارتی در هر تیمار ۶ ردیف کاشت به عنوان تراکم مینا در نظر گرفته شد و در تیمارهای مربوط به کشت مخلوط، بسته به تیمار مورد نظر، از تراکم یک گیاه (به صورت ردیف) کم شده و به همان نسبت (به تعداد ردیف کم شده) گونه دیگر جایگزین گردید. به منظور مشخص نمودن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از کاشت، نمونه برداری از خاک مزرعه انجام شد که نتایج آن در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه خاک مزرعه.

Table 1. Physicochemical characters of soil sample.

بافت	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk density (gr. Cm <sup>3</sup> )	کربن آلی (درصد) Organic carbon	پتاسیم (mg.kg <sup>-1</sup> ) Potassium	فسفر (mg.kg <sup>-1</sup> ) Phosphorus	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) Electrical conductivity (ds.m <sup>-1</sup> )
لومی - سیلتی Silty- loam	1.4	0.55	213	25	0.065	8.64	2.35

پس از تعیین میزان عناصر موجود در خاک و میانگین‌گیری از میزان عناصر موجود برای رشد سه گونه، میزان کود لازم برای تامین رشد اولیه گیاهان برآورد و کوددهی انجام شد. کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در زمان آماده‌سازی به زمین داده شد و هم‌زمان با کاشت نیز

۷۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به صورت اوره در تمام کرت‌های آزمایشی توزیع شد. برداشت گیاهان در انتهای فصل رشد (پایان شهریور) انجام شد. هم زمان با برداشت، از خاک کرت‌های آزمایشی به منظور تعیین میزان فعالیت میکروبی خاک نمونه برداری صورت گرفت و نمونه‌ها داخل فلاسک یخ به آزمایشگاه منتقل شدند. به منظور بررسی میزان ترسیب کربن، میزان تولید کربن در هر سه گونه گیاهی محاسبه و بر اساس سناریوهای مختلف شامل بازگشت ۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد بقایای گیاهی به خاک در سیستم‌های مختلف الگوی کاشت، میزان پتانسیل ترسیب کربن محاسبه گردید. لازم به ذکر است که در سناریوهای مورد بررسی برگشت بقایای اندام‌های هوایی مدنظر است که معمولاً توسط کشاورزان جمع‌آوری می‌گردد. در انتهای فصل رشد ۵ بوته از هر گونه به صورت تصادفی انتخاب شد و تا حد امکان سعی شد که گیاهان به صورت کامل و همراه با ریشه از خاک برداشت و به آزمایشگاه منتقل شوند. نمونه‌های گیاهی به دو بخش اندام هوایی و ریشه تقسیم شده و توزین گردیدند و در نهایت نسبت اندام هوایی به ریشه به صورت وزنی برای هر گونه محاسبه گردید. همچنین در زمان برداشت با حذف اثر حاشیه عملکرد هر سه گونه به صورت جداگانه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای این منظور میزان تولید خالص اولیه بر اساس کربن (NPPc) برای هر گیاه از طریق معادله (۱) محاسبه شد (۱۰):

$$NPPc = CP + CS + CR + CE \quad \text{معادله (۱)}$$

بر اساس منابع مختلف در هر گرم ماده خشک حدود ۰/۴۵ گرم (۴۵ درصد) کربن موجود می‌باشد (۵). بنابراین برای محاسبه میزان کربن موجود در بخش‌های مختلف گیاه (دانه، کاه و کلش و ریشه)، از معادلات ۲ تا ۵ استفاده شد:

$$CP = 0/45 \times \text{عملکرد اندام اقتصادی} \quad \text{معادله (۲)}$$

$$CS = 0/45 \times (1 - HI) / HI \times \text{عملکرد اندام اقتصادی} \quad \text{معادله (۳)}$$

$$CR = 0/45 \times (S:R \times HI) / \text{عملکرد اندام اقتصادی} \quad \text{معادله (۴)}$$

$$CE = CR \times 0/65 \quad \text{معادله (۵)}$$

که در این معادلات NPPc: تولید خالص اولیه براساس کربن در کل گیاه، CP: کربن موجود در اندام اقتصادی، CS: کربن موجود در کاه و کلش، HI: شاخص برداشت، CR: کربن موجود در ریشه، S:R: نسبت اندام‌هوایی به زیرزمینی و CE: کربن شامل ترشحات ریشه می‌باشد، که مقدار این کربن

براساس منابع مختلف (۵ و ۹) حدود ۶۵ درصد کربن موجود در ریشه در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی از روش اندرسون (۳) استفاده گردید. از روش گازدهی (تدخین) با کلروفورم (۱۲) نیز برای اندازه‌گیری زیست توده میکروبی خاک بهره‌گیری شد. برای ارزیابی سودمندی کشت مخلوط، از شاخص نسبت برابری زمین استفاده گردید. برای محاسبه این شاخص از معادلات زیر استفاده شد (۱۴):

$$\begin{aligned} \text{LER}_a &= \frac{Y_{ab}}{Y_{aa}} \\ \text{LER}_b &= \frac{Y_{ba}}{Y_{bb}} \\ \text{LER} &= \text{LER}_a + \text{LER}_b \end{aligned}$$

در این معادلات  $\text{LER}_a$  نسبت برابری زمین جزئی برای گونه  $a$  و  $\text{LER}_b$  نسبت برابری زمین جزئی برای گونه  $b$  و  $\text{LER}$  نسبت برابری زمین می‌باشد.  $Y_{ab}$  عملکرد گونه  $a$  در کشت مخلوط؛  $Y_{aa}$  عملکرد گونه  $a$  در کشت خالص؛  $Y_{ba}$  عملکرد گونه  $b$  در کشت مخلوط؛  $Y_{bb}$  عملکرد گونه  $b$  در کشت خالص. تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از برنامه GLM (مدل خطی عمومی) و آزمون F در نرم‌افزار SAS ver 9.1 انجام شد. برای ترسیم نمودارها نیز از نرم‌افزار MS Excel استفاده گردید و میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

## نتایج و بحث

**عملکرد:** نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد دانه ذرت در کشت خالص این گیاه به‌دست آمد، به‌طوری‌که ۹۲۷۶ کیلوگرم دانه در هکتار در تیمار کشت خالص تولید شد و کمترین عملکرد دانه ذرت نیز در کشت مخلوط با ختمی به مقدار ۳۵۹۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۲). به‌طورکلی عملکرد دانه ذرت در کشت خالص این گیاه بیشتر از کشت مخلوط دو گانه و سه گانه این گیاه با سویا و ختمی بود که با توجه به تراکم پایین‌تر ذرت در کشت‌های مخلوط (یک سوم تراکم خالص)، این عملکرد بالا قابل انتظار بود. در بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط، کشت مخلوط ذرت و سویا از عملکرد بیشتری در مقایسه با مخلوط ذرت و ختمی و همچنین کشت مخلوط ذرت و سویا و ختمی برخوردار بود (جدول ۲).

جدول ۲- عملکرد دانه گیاهان ذرت، سویا و ختمی در الگوهای مختلف کاشت.

Table 2. Seed yield of corn, Soybean and Marshmallow under different patterns of intercropping.

		ذرت Corn	سویا Soybean	ختمی Marshmallow
Corn	ذرت	9276 <sup>a</sup>	-	-
Soybean	سویا	-	2655 <sup>a</sup>	-
Marshmallow	ختمی	-	-	1170 <sup>a</sup>
Corn and Soybean	ذرت و سویا	3812 <sup>b</sup>	1784 <sup>b</sup>	-
Corn and Marshmallow	ذرت و ختمی	3590 <sup>b</sup>	-	794 <sup>b</sup>
Soybean and Marshmallow	سویا و ختمی	-	1774 <sup>b</sup>	409 <sup>c</sup>
Corn and Soybean and Marshmallow	ذرت و سویا و ختمی	3692 <sup>b</sup>	889 <sup>c</sup>	400 <sup>cd</sup>
LSD (5%)		595.65	664.05	162.53

در گیاه سویا نیز بیشترین عملکرد دانه در کشت خالص آن با ۲۶۵۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۲). عملکرد دانه سویا در کشت‌های مخلوط دوگانه بیشتر از عملکرد آن در کشت مخلوط سه‌گانه بود (جدول ۲). تراکم گیاه سویا در کشت‌های مخلوط دوگانه (سویا + ذرت و همچنین سویا + ختمی) دو سوم کشت خالص و در کشت مخلوط سه‌گانه (سویا + ذرت + ختمی) یک سوم کشت خالص بود، بنابراین بالاتر بودن عملکرد دانه در کشت‌های مخلوط دوگانه نسبت به کشت سه‌گانه را می‌توان به این موضوع نسبت داد.

در بین الگوهای مختلف کشت، کشت خالص گیاه ختمی بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد، به طوری که به ترتیب میزان عملکرد دانه در این گیاه برابر با ۱۱۷۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۲). عملکرد دانه ختمی در مخلوط با ذرت بیشتر از میزان تولید شده در کشت مخلوط با سویا بود، اگر چه این اختلاف عملکرد در این دو سیستم کشت مخلوط، بیشتر به خاطر تفاوت در تراکم کشت گیاه ختمی بود، به طوری که در کشت مخلوط با ذرت تراکم گیاه ختمی دو سوم کشت خالص آن بود، در صورتی که در کشت مخلوط با سویا تراکم گیاه ختمی یک سوم کشت خالص آن بود. در بین الگوهای مختلف کشت، کشت مخلوط سه‌گانه ختمی + ذرت + سویا کمترین عملکرد دانه ختمی را با عملکردی برابر ۴۰۱ کیلوگرم در هکتار داشت (جدول ۲).



نسبت برابری زمین: نسبت برابری زمین جزئی برای هر دو گونه سویا و ختمی تحت تاثیر الگوهای مختلف کاشت قرار گرفت. در صورتی که الگوهای مختلف کاشت تاثیر معنی داری بر میزان نسبت برابری زمین جزئی برای گیاه ذرت و همچنین نسبت برابری زمین جزئی کل نداشتند (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نسبت برابری زمین جزئی (LERp) و کل (LERt) تحت تاثیر الگوهای مختلف کاشت مخلوط سه گیاه ذرت، سویا و ختمی.

Table 3. The results of variance analysis (mean squares) for total and partial Land Equivalent Ratio under different patterns of corn, soybean and marshmallow intercropping.

	درجه آزادی	df	LERp			LERt Total Land Equivalent Ratio
			ذرت Corn	سویا Soybean	ختمی Marshmallow	
Block	بلوک	2(2)*	0.0002 <sup>ns</sup>	0.0108 <sup>ns</sup>	0.0059 <sup>ns</sup>	0.0216 <sup>ns</sup>
Planting pattern	الگوی کاشت	2(3)	0.0004 <sup>ns</sup>	0.1122 <sup>**</sup>	0.1107 <sup>**</sup>	0.0025 <sup>ns</sup>
Error	خطا	4(6)	0.0009	0.0045	0.0038	0.0049

\* اعداد داخل پارانتر بیانگر درجه آزادی برای صفت LERt می باشد.

\* The numbers in parenthesis indicating of the df for LERt.

با وجود اینکه الگوهای مختلف کاشت تاثیر معنی داری بر نسبت برابری زمین نداشتند با این وجود میزان نسبت برابری زمین در تمام الگوهای کشت مخلوط دوگانه و سه گانه بزرگتر از یک بود که بیانگر سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در تمام الگوهای کشت می باشد (جدول ۴).

کشت مخلوط ذرت + سویا بیشترین مقدار نسبت برابری زمین را نسبت به سایر کشت های مخلوط داشت، به طوریکه میزان نسبت برابری زمین در این سیستم کشت برابر با ۱/۰۸۳ به دست آمد. کاریوتز و همکاران (۲۰۰۰) بیان کردند که در همه تیمارهای کشت مخلوط ذرت با سویا، نسبت برابری زمین در کشت مخلوط برابر یا بزرگتر از یک بود و نسبت برابری زمین در دامنه ای از ۱ تا ۱/۶۳ قرار داشت (۶). آن ها گزارش کردند که تمام کشت های مخلوط ذرت عملکرد بیشتری نسبت به تک کشتی ذرت داشتند. رضوان بیدختی (۲۰۰۴) در کشت مخلوط ذرت و لوبیا گزارش کرد که مقادیر نسبت برابری زمین در کشت مخلوط ردیفی دو گونه تا ۱/۹ افزایش پیدا کرد (۲۴).

جدول ۴- نسبت برابری زمین جزئی (LERp) و کل (LERt) در سیستم‌های مختلف کشت مخلوط سه گونه ذرت، سویا و ختمی.

Table 4. Total and partial Land Equivalent Ratio in different patterns of multiple cropping of Corn, Soybean and Marshmallow.

	LERp			LERt Total Land Equivalent Ratio
	ذرت Corn	سویا Soybean	ختمی Marshmallow	
Corn and Soybean ذرت و سویا	0.411 <sup>a</sup>	0.672 <sup>a</sup>	-	1.083 <sup>a</sup>
Corn and Marshmallow ذرت و ختمی	0.387 <sup>a</sup>	-	0.679 <sup>a</sup>	1.066 <sup>a</sup>
Soybean and Marshmallow سویا و ختمی	-	0.668 <sup>a</sup>	0.350 <sup>b</sup>	1.018 <sup>a</sup>
Corn and Soybean and Marshmallow ذرت و سویا و ختمی	0.398 <sup>a</sup>	0.335 <sup>b</sup>	0.343 <sup>b</sup>	1.076 <sup>a</sup>
LSD (5%)	0.069	0.152	0.141	0.141

در بسیاری از آزمایش‌های کشت مخلوط شامل یک گیاه از خانواده بقولات و یک گیاه از خانواده غلات، کشت مخلوط عملکرد نسبتاً بالاتری در مقایسه با تک‌کشتی داشته و در نتیجه نسبت برابری زمین در آن‌ها بیشتر از یک بوده است که دلیل این امر می‌تواند تثبیت بیولوژیکی نیتروژن به دلیل حضور بقولات، کاهش رقابت بین گونه‌ای برای جذب عناصر غذایی و افزایش روابط همیاری بین دو گونه باشد (۲۰). اصولاً بقولات، به علت سازگاری با الگوهای متفاوت کشت و توانایی تثبیت نیتروژن باعث افزایش حاصلخیزی خاک می‌شوند (۱۳)، از سوی دیگر، بهبود ساختار تاج پوشش گیاهی (۲۱) و افزایش بهره‌وری منابع به‌ویژه نور (۱۸) و عناصر غذایی (۸) را می‌توان مهم‌ترین علت سودمندی مخلوط‌های بقولات-غلات معرفی نمود. به‌طور کلی افزایش عملکرد گیاهان زراعی در سیستم‌های کشت مخلوط، اغلب از طریق بهبود ظرفیت گونه‌های مخلوط برای افزایش جذب و مصرف فیزیولوژیک منابع توسط آن‌ها حاصل می‌شود (۱۱). کمترین میزان نسبت برابری زمین نیز در کشت مخلوط سویا + ختمی به میزان ۱/۰۱۸ مشاهده شد (جدول ۴).

تنفس و زیست‌توده میکروبی خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر الگوهای مختلف کاشت بر میزان تنفس و زیست‌توده میکروبی خاک معنی‌دار بود (جدول ۵).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تنفس و زیست توده میکروبی خاک تحت تأثیر الگوهای مختلف کاشت مخلوط سه گیاه ذرت، سویا و ختمی.

Table 5. The results of variance analysis (mean squares) for soil microbial respiration and biomass under different patterns of corn, soybean and marshmallow intercropping.

	درجه آزادی	df	تنفس میکروبی Soil microbial respiration	زیست توده میکروبی Soil microbial biomass
Block	بلوک	2	2.509 <sup>ns</sup>	526.1 <sup>ns</sup>
Planting pattern	الگوی کاشت	6	896.7 <sup>**</sup>	148875 <sup>**</sup>
Error	خطا	12	6.201	703.3

نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین تنفس میکروبی خاک تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت مربوط به کشت مخلوط سه گیاه ذرت + سویا + ختمی با ۹۴/۱۷ میلی گرم دی اکسید کربن در کیلوگرم خاک در روز بود (جدول ۶).

جدول ۶- تنفس و زیست توده میکروبی خاک در الگوهای مختلف کشت سه گیاه ذرت، سویا و ختمی.

Table 6. Soil microbial respiration and biomass in different patterns of intercropping of Corn, Soybean and Marshmallow.

	تنفس میکروبی (mg CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup> )	زیست توده میکروبی (mg kg <sup>-1</sup> )	
	Soil microbial respiration	Soil microbial biomass	
Corn	ذرت	52.15 <sup>e</sup>	303.17 <sup>d</sup>
Soybean	سویا	64.10 <sup>d</sup>	246.37 <sup>e</sup>
Marshmallow	ختمی	42.28 <sup>f</sup>	258.54 <sup>d</sup>
Corn and Soybean	ذرت و سویا	75.61 <sup>b</sup>	505.59 <sup>c</sup>
Corn and Marshmallow	ذرت و ختمی	54.01 <sup>e</sup>	291.63 <sup>de</sup>
Soybean and Marshmallow	سویا و ختمی	70.26 <sup>c</sup>	634.15 <sup>b</sup>
Corn and Soybean and Marshmallow	ذرت و سویا و ختمی	94.17 <sup>a</sup>	820.34 <sup>a</sup>
	LSD (5%)	4.43	47.18

کمترین تنفس میکروبی به میزان ۴۲/۲۸ میلی گرم دی اکسید کربن در کیلوگرم خاک در روز نیز در کشت خالص ختمی به دست آمد (جدول ۶). به طور کلی حضور توأم چند گونه در سیستم‌های

مخلوط منجر به افزایش تنفس میکروبی خاک نسبت به سیستم‌های تک کشتی گردید و به جز کشت مخلوط ذرت و ختمی (۵۴/۰۱ میلی گرم دی اکسید کربن در کیلوگرم خاک در روز) که میزان تنفس میکروبی آن کمتر از کشت خالص سویا (۶۴/۱۰ میلی گرم دی اکسید کربن در کیلوگرم خاک در روز) بود، سایر الگوهای مختلف کشت مخلوط از تنفس بالایی نسبت به کشت خالص گونه‌ها برخوردار بودند، بنابراین افزایش تنفس میکروبی در کشت مخلوط را می‌توان به دلیل افزایش تنوع گیاهان در سیستم‌های چندکشتی بیان نمود (جدول ۶). عزیزی و همکاران (۲۰۱۳) نیز افزایش تنفس میکروبی خاک را با افزایش تنوع گیاهان زراعی گزارش نمودند و بیان کردند که چندکشتی منجر به افزایش تنفس میکروبی خاک در مقایسه با تک کشتی گیاهان می‌گردد (۴). لین و همکاران (۲۰۱۰) به نتایج مشابهی دست یافتند و افزایش تنفس میکروبی خاک در کشت مخلوط گندم با بادام زمینی را نسبت به کشت خالص هر دو گونه گزارش کردند (۱۶). فرآیندهای میکروبی کنترل کننده فرآیندهای اکولوژیک در اکوسیستم و حاصلخیزی خاک می‌باشند. جمعیت میکروبی خاک مسئول تنظیم چرخه عناصر غذایی در خاک است و در فراهم ساختن عناصر غذایی برای گیاه نقش مهمی را بر عهده داشته و بدین گونه به عنوان یکی از خدمات مهم اکوسیستمی در نظر گرفته می‌شود (۲). تانگ و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی فعالیت میکروبی خاک در سیستم‌های مختلف کشت به این نتیجه رسیدند که افزایش تنوع محصولات به صورت کشت مخلوط منجر به افزایش زیست توده میکروبی نسبت به سیستم‌های تک کشتی می‌شود (۲۹). این محققان افزایش دو برابری در میزان زیست توده میکروبی را در سیستم‌های کشت مخلوط غلات با بقولات در مقایسه با کشت خالص آن‌ها گزارش نمودند و دلیل بالاتر بودن زیست توده میکروبی در سیستم‌های کشت مخلوط را تنوع بیشتر میکروارگانیسم‌ها و پیچیدگی روابط شکارگری و باکتری خواری در بین میکروارگانیسم‌های موجود در ریزوسفر خاک بیان نمودند. بالا بردن تنوع گیاهی از طریق کشت مخلوط منجر به افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک شده و در نتیجه فعالیت میکروبی خاک که منجر به ایجاد چرخه‌های عناصر غذایی و در نتیجه بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود، به عنوان یکی از کارکردهای اکوسیستمی بهبود می‌یابد (۲۹). بنابراین بهبود فعالیت میکروبی در خاک منجر به بهبود چرخش عناصر غذایی و حاصلخیزی خاک می‌گردد که به نوبه خود می‌تواند افزایش تولیدات کشاورزی و بهبود وضعیت اقتصادی کشاورزان را به عنوان یک جنبه دیگر از خدمات اکوسیستمی به دنبال داشته باشد. کشت مخلوط سه گانه ذرت + سویا + ختمی در مقایسه با تک کشتی ذرت، سویا و ختمی به ترتیب منجر به افزایش ۸۰/۶، ۴۶/۹ و ۱۲۲/۷ درصدی

در تنفس میکروبی خاک گردید (جدول ۶). در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط، کشت مخلوط سه گانه ذرت + سویا + ختمی دارای بیشترین زیست توده میکروبی بود، به طوری که میزان زیست توده میکروبی در این سیستم کشت برابر با ۸۲۰/۳۴ میلی گرم در کیلوگرم خاک به دست آمد که نسبت به تک کشتی ذرت، سویا و ختمی به ترتیب افزایش ۱۷۰/۶، ۲۳۲/۹ و ۲۱۷/۳ درصد در میزان زیست توده میکروبی خاک را باعث شد (جدول ۶). زیست توده میکروبی اندازه گیری شده در کشت های مخلوط دوگانه از میزان به دست آمده در سیستم های تک کشتی سویا و ختمی بیشتر بود (جدول ۶). کشت مخلوط دو گانه ذرت + ختمی (۲۹۱/۶۳ میلی گرم در کیلوگرم خاک) از میزان زیست توده میکروبی کمتری در مقایسه با کشت خالص ذرت (۳۰۳/۱۷ میلی گرم در کیلوگرم خاک) برخوردار بود، در صورتی که کشت مخلوط ذرت + سویا (۵۰۵/۵۹ میلی گرم در کیلوگرم خاک) و سویا + ختمی (۶۳۴/۱۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک) دارای زیست توده میکروبی بیشتری نسبت به تک کشتی ذرت بودند (جدول ۶). ریوست و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند که سیستم های چند کشتی در مقایسه با کشت خالص گونه ها از جمعیت و زیست توده میکروبی بیشتری برخوردار هستند (۲۵). اسکات و همکاران (۲۰۱۲) دلیل اصلی بیشتر بودن زیست توده و جمعیت میکروبی در سیستم های کشت مخلوط را فراهمی بیشتر عناصر غذایی به ویژه فسفر برای میکروارگانیسم ها بیان کردند (۲۸). وال و همکاران (۲۰۰۴) معتقدند که بیشتر خدمات و کارکردهای اکوسیستمی به فعالیت های میکروبی خاک مرتبط هستند و بهبود فعالیت میکروبی خاک را دلیل اصلی افزایش بسیاری از خدمات اکوسیستمی مطرح کردند (۳۲). بنابراین از دیدگاه اکوسیستمی می توان عنوان کرد که کشت مخلوط می تواند منجر به افزایش کارکرد بیولوژیکی در بخش ریزوسفر خاک گردد که به نظر می رسد این موضوع سایر کارکردهای اکوسیستم همچون چرخش عناصر غذایی، حاصلخیزی خاک، افزایش تولید و ... را منجر خواهد شد.

**ترسیب کربن:** الگوهای مختلف کاشت از لحاظ آماری تأثیر معنی داری بر میزان تولید خالص اولیه کربن (NPPc) و همچنین سناریوهای مختلف ترسیب کربن داشتند (جدول ۷). بیشترین میزان تولید خالص اولیه کربن (NPPc) در بین الگوهای مختلف کشت مربوط به کشت خالص ذرت به میزان ۹۵۹۰/۸ کیلوگرم کربن در هکتار بود (جدول ۸).

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نسبت برابری زمین جزئی (LERp) و کل (LERT) تحت تاثیر الگوهای مختلف کاشت مخلوط سه گیاه ذرت، سویا و ختمی.

Table 7. The results of variance analysis (mean squares) for total and partial Land Equivalent Ratio under different patterns of corn, soybean and marshmallow intercropping.

درجه آزادی	NPPc	ترسیب کربن Carbon sequestration				
		بقایا ۳۰٪	بقایا ۷۰٪	بقایا ۱۰۰٪		
df		30% residues	70% residues	100% residues		
Block	بلوک	2	40060 <sup>ns</sup>	1933 <sup>ns</sup>	11628 <sup>ns</sup>	25538 <sup>ns</sup>
Planting pattern	الگوی کاشت	6	13306389 <sup>**</sup>	426126 <sup>**</sup>	1499257 <sup>**</sup>	2743791 <sup>**</sup>
Error	خطا	12	63360	5268	37184	80651

جدول ۸- تولید خالص اولیه کربن (NPPc) و همچنین میزان ورود کربن به خاک تحت سناریوهای مختلف ترسیب کربن در الگوهای مختلف کشت سه گونه ذرت، سویا و ختمی.

Table 8. Net primary production of carbon and soil carbon content under different scenarios of carbon sequestration in different patterns of intercropping of Corn, Soybean and Marshmallow.

NPPc (Kg C ha <sup>-1</sup> )	ترسیب کربن (Kg C. ha <sup>-1</sup> )				
	بقایا ۳۰٪	بقایا ۷۰٪	بقایا ۱۰۰٪		
	30% residues	70% residues	100% residues		
Corn	ذرت	9590.8 <sup>a</sup>	1944.8 <sup>a</sup>	3928.7 <sup>a</sup>	5416.6 <sup>a</sup>
Soybean	سویا	3860.7 <sup>c</sup>	877.2 <sup>d</sup>	1899.4 <sup>d</sup>	2666.0 <sup>d</sup>
Marshmallow	ختمی	3980.9 <sup>c</sup>	1054.0 <sup>c</sup>	2425.7 <sup>c</sup>	3454.4 <sup>c</sup>
Corn and Soybean	ذرت و سویا	6670.6 <sup>b</sup>	1423.6 <sup>b</sup>	2982.8 <sup>b</sup>	4152.1 <sup>b</sup>
Corn and Marshmallow	ذرت و ختمی	6474.9 <sup>b</sup>	1487.5 <sup>b</sup>	3210.1 <sup>b</sup>	4502.0 <sup>b</sup>
Soybean and Marshmallow	سویا و ختمی	3964.5 <sup>c</sup>	951.2 <sup>cd</sup>	2111.7 <sup>cd</sup>	2982.2 <sup>cd</sup>
Corn and Soybean and Marshmallow	ذرت و سویا و ختمی	6594.7 <sup>b</sup>	1463.0 <sup>b</sup>	3114.3 <sup>b</sup>	4352.8 <sup>b</sup>
LSD (5%)		447.80	129.13	343.05	505.22

کمترین میزان تولید خالص اولیه کربن (NPPc) در کشت خالص سویا معادل ۳۸۶۰/۷ کیلوگرم کربن در هکتار به دست آمد (جدول ۸). در بین انواع مختلف کشت مخلوط نیز بالاترین میزان تولید

خالص اولیه کربن (NPPc) در کشت مخلوط ذرت و سویا (۶/۶۶۷۰ کیلوگرم کربن در هکتار) و کمترین میزان تولید خالص اولیه کربن (NPPc) در کشت مخلوط سویا و ختمی (۵/۳۹۶۴ کیلوگرم کربن در هکتار) مشاهده شد (جدول ۸). تولید زیست توده بیشتر ذرت منجر به بالاتر بودن تولید خالص اولیه کربن در کشت خالص ذرت در مقایسه با سایر الگوهای مختلف کشت گردید. بنابراین سیستم‌های کشت مخلوطی که یکی از اجزاء آن ذرت بود، میزان تولید خالص اولیه کربن (NPPc) بیشتری داشتند. بر اساس سناریوهای مختلف ورودی کربن و میزان ترسیب کربن در خاک نیز، کشت خالص ذرت به دلیل میزان تولید خالص اولیه کربن (NPPc) بالا دارای بالاترین میزان ترسیب کربن در خاک در تمام سناریوهای مورد بررسی بود. لازم به ذکر است که با افزایش درصد حفظ بقایای گیاهی در خاک، میزان ورودی کربن و در نتیجه پتانسیل ترسیب کربن در خاک افزایش نشان داد، بطوریکه سناریوی حفظ ۱۰۰ درصد بقایا در خاک نسبت به سایر سناریوها از بیشترین میزان ترسیب کربن برخوردار بود (جدول ۸). حفظ بقایای گیاهی در خاک به عنوان یکی از عوامل مهم در افزایش پتانسیل ترسیب کربن گزارش شده است (۳۳). به طور کلی بیشترین پتانسیل ترسیب کربن در الگوهای مختلف کشت مخلوط در کشت مخلوط ذرت و ختمی حاصل شد، به طوری که در صورت حفظ ۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد بقایای گیاهی به ترتیب پتانسیل ترسیب کربن معادل ۱،۴۸۷/۵، ۲۳۱۰/۱ و ۴۵۰۲ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید (جدول ۸).

پتانسیل ترسیب کربن در هر سه سناریوی مورد بررسی در سیستم‌های مختلف کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص سویا بود، به طوری که کشت سویا در مخلوط با ذرت تحت سناریوهای ۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد حفظ بقایا، به ترتیب منجر به افزایش ۳/۶۲، ۵۷ و ۷/۵۵ درصد و در مخلوط با ختمی به ترتیب باعث افزایش ۴/۸، ۲/۱۱ و ۹/۱۱ درصدی در میزان پتانسیل ترسیب کربن نسبت به تک‌کشتی سویا گردید (جدول ۸). کشت سویا در مخلوط با ذرت و سویا نیز به ترتیب افزایش ۸/۶۶، ۹/۶۳ و ۳/۶۳ درصدی در پتانسیل ترسیب کربن را نسبت به کشت خالص سویا باعث شد (جدول ۸). نتایج مطالعات پیچل و همکاران (۲۰۰۶) نیز حاکی از این بود که کشت مخلوط در مقایسه با سیستم‌های تک‌کشتی پتانسیل بالایی در ترسیب کربن در خاک و کاهش غلظت دی اکسید کربن اتمسفر دارند (۲۲). تواتاسان و گوردون (۲۰۰۴) نیز به افزایش ۴ برابری ترسیب کربن در سیستم‌های کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی اشاره کردند (۳۰). در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط، به جز کشت مخلوط سویا و ختمی، سیستم‌های چندکشتی هر سه گونه از پتانسیل ترسیب کربن بیشتری در مقایسه با

تک کشتی ختمی تحت سناریوهای مختلف برخوردار بودند (جدول ۸). بیشترین و کمترین پتانسیل ترسیب کربن تحت الگوها و سناریوهای مختلف به ترتیب مربوط به کشت خالص ذرت در سناریوی ۱۰۰٪ حفظ بقایا (۵۴۱۶/۶ کیلوگرم کربن در هکتار) و کشت خالص سویا در سناریوی حفظ ۳۰ درصد بقایا (۸۷۷/۲ کیلوگرم کربن در هکتار) بود (جدول ۸).

با توجه به میزان تولید خالص اولیه کربن (NPPC) بالا در گیاه ذرت، به نظر می‌رسد در سیستم‌هایی که گیاه ذرت به عنوان یکی از اجزاء آن باشد، پتانسیل ورود و در نتیجه ترسیب کربن افزایش می‌یابد. وانگ و همکاران (۲۰۱۰) بیان نمودند که به منظور افزایش کارایی ترسیب کربن در کشاورزی، سیستم‌های مختلف کشت به صورت تناوب زراعی و کشت مخلوط باید طوری طراحی شوند که با افزایش تولید بیوماس، پتانسیل ورود و ترسیب کربن در خاک افزایش یابد (۳۳). به طور کلی و با توجه به نتایج آزمایش می‌توان بیان کرد که طراحی سیستم‌های کشت باید به نحوی صورت پذیرد که علاوه بر حضور چندگونه گیاهی و به عبارتی تنوع گیاهی بالا، اجزاء آن‌ها دارای تولید خالص اولیه کربن (NPPC) بالا باشند، تا از این طریق علاوه بر افزایش پتانسیل ترسیب کربن از لحاظ کمی، به دلیل تنوع بقایای برگشتی به خاک، از لحاظ کیفی نیز بهبود یابد. زیرا تنوع بقایای برگشتی به خاک منجر به افزایش تنوع میکروارگانیسم‌های خاک و در نتیجه افزایش چرخه عناصر غذایی در خاک می‌گردد (۲۹). هر چند میزان ترسیب کربن نهایی در خاک به عوامل متعددی از جمله رطوبت، دما، pH، نوع و مقدار میکروارگانیسم‌های موجود در خاک، نوع و مقدار بقایای گیاهی و در نهایت سرعت تجزیه بقایا بستگی دارد (۲۳)، ولی با این وجود با افزایش پتانسیل ورود کربن به خاک، میزان کربن بیشتری در خاک ترسیب می‌شود که به نوبه خود می‌تواند منجر به تخفیف تغییر اقلیم گردد. البته وانگ و همکاران (۲۰۱۰) معتقدند که ترسیب کربن در خاک یک فعالیت چندکارکردی می‌باشد که علاوه بر کاهش و تعدیل تغییر اقلیم، منجر به کاهش فرسایش خاک، افزایش تولید، حاصلخیزی خاک و بهبود تنوع زیستی می‌شود (۳۳). بنابراین انتظار می‌رود که با افزایش تنوع گیاهی از طریق کشت مخلوط علاوه بر افزایش پتانسیل ترسیب کربن، سایر کارکردهای اکوسیستم نیز ارتقاء یابد.

### نتیجه‌گیری کلی

جمعیت میکروبی خاک مسئول تنظیم چرخه عناصر غذایی در خاک است و افزایش فعالیت میکروبی در خاک منشاء بهبود سایر کارکردهای اکوسیستم می‌باشد (۳۲). نتایج مطالعه حاضر نشان داد



که کشت سه گانه ذرت + سویا + ختمی بیشترین تنفس و زیست توده میکروبی خاک را دارا بود. بنابراین می توان بیان کرد که استفاده از سیستم های چندکشتی می تواند منجر به افزایش زیست توده میکروبی خاک گردد که می تواند به نوبه خود سایر کارکردهای اکوسیستم همچون افزایش چرخش عناصر غذایی و حاصلخیزی خاک را به دنبال داشته باشد. همچنین یافته های این تحقیق حاکی از این بود که در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط، کشت مخلوط ذرت + ختمی بیشترین پتانسیل ترسیب کربن در خاک را به خود اختصاص داد. یکی دیگر از کارکردهای مهم اکوسیستمی مرتبط با کشت مخلوط، افزایش پتانسیل ترسیب کربن می باشد که با توجه به نتایج این آزمایش می توان عنوان نمود که استفاده از سیستم های مختلف کشت مخلوط با افزایش پتانسیل ترسیب کربن در خاک، می تواند گام مهمی در راستای تعدیل اثرات منفی تغییر اقلیم باشد. بنا به تعریف خدمات اکوسیستمی شامل فرآیندهایی می شود که از طریق اکوسیستم های طبیعی تداوم حیات انسان را تضمین کنند و بنابراین به نظر می رسد که کشت مخلوط به عنوان یک مدل از اکوسیستم طبیعی، می تواند امکان بهبود کارکردهای اکوسیستمی را فراهم آورد. البته لازم به ذکر است که انتخاب نوع گیاهان در سیستم مخلوط و همچنین میزان حفظ بقایای گیاهی در خاک، نقش بسزایی در موفقیت کشت مخلوط از لحاظ ترسیب کربن خواهد داشت. به طوری که در این آزمایش نیز مشخص گردید که سیستم های کشت مخلوطی که یکی از اجزاء آن ذرت بود، از بالاترین پتانسیل ترسیب کربن برخوردار بودند. بنابراین به عنوان یک پیشنهاد کلی، افزایش تنوع گیاهی از طریق کشت مخلوط را می توان به عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در جهت افزایش خدماتی همچون بهبود فعالیت میکروبی و پتانسیل ترسیب کربن مدنظر قرار داده و ارزش گذاری چنین خدماتی در سیستم های چندکشتی و مقایسه آنها با کشت های خالص را برای مطالعات آتی توصیه نمود.

#### منابع

1. Altieri, M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agri. Ecosys. Environ.* 74: 19-31.
2. Barrios, E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecol Econ.* 64(2): 269-285.
3. Anderson, T.H., and Domsch, K.H. 1993. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 25: 393-395.

4. Azizi, G., Koocheki, A., Nasiri mahallati, M., and Rezvani Moghaddam, P. 2013. Effect of plant diversity and nutrition source on soil microbial respiration and density of weeds in different planting patterns. 5<sup>th</sup> congress of weed science, Tehran university. (In Persian)
5. Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., and Vanden Bygaart, A.J. 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agri. Ecosys. Environ.* 118: 29–42.
6. Carruthers, K., Prithiviraj, B.Fe.Q., Cloutier, D., Martin, R.C., and Smith, D.L. 2000. Intercropping corn with soybean, lupin and forages: yield component responses. *Eur. J. Agron.* 12:103-115.
7. Conen, F., and Smith, K.A. 1998. A re-examination of closed flux chamber methods for the measurement of trace gas emissions from soils to the atmosphere. *Eur. J. Soil Sci.* 49: 701–707.
8. Ghanbari Bonjar, A. 2000. Intercropped wheat (*Triticum aestivum*) and bean (*Vicia faba*) as low-input forage. University of London, WyeCollege, PhD Dissertation.
9. Gill, R.A., Kelly, R.H., Parton, W.J., Day, K.A., Jackson, R.B., Morgan, J.A., Scurlock, J.M.O., Tieszen, L.L., Castle, J.V., Ojima, D.S., and Zhang, X.S. 2002. Using simple environmental variables to estimate belowground productivity in grasslands. *Global Ecol. Biogeogr.* 11: 79–86.
10. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2002. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University. Press, New York. 118p.
11. Jahansooz, M.R., Yunusa, I.A.M., Coventry, D.R., Palmer, A.R., and Eamus, D. 2007. Radiation- and water-use associated with growth and yields of wheat and chickpea in sole and mixed crops. *Eur. J. Agron.* 26: 275–282.
12. Jenkinson, D.S., and Powelson, D.S. 1976. The effect of biocidal treatments of metabolism in soil-V: A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 8: 209-213.
13. Jeyabal, A., and Kuppaswamy, G. 2001. Recycling of organic wastes for the production of vermicompost and its response in rice–legume cropping system and soil fertility. *Eur. J. Agron.* 15: 153–170.
14. Koocheki, A., Nasiri mahallati, M., Feizi, H., Amir moradi, Sh., and Mandani, F. 2010. Effect of row intercropping of corn and bean on yield and land equivalent ratio in presence and absence of weeds. *J. agroecology.* 2: 2.225-235. (In Persian)
15. Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma.* 123: 1-22.

16. Lin, Y.J., Gao, F., Zhang, J.L., Zhou, L.Y., Zhang, X.M., Li, B.L., Zhao, H.J., and Li, X.D. 2010. Soil microbial biomass and respiration rate under effects of different planting patterns of peanut. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*. 21(9): 2323-2328.
17. Makumba, V., Akinnifesi, F.K., Janssen, B., and Oenema, O. 2007. Long-term impact of a gliricidia-maize intercropping system on carbon sequestration in southern Malawi. *Agri. Ecosys. Environ.* 118: 237-243.
18. Mansoori, H., Mansoori, L., Jamshidi, Kh., Rastgoo, M., and Moradi, M. 2010. uptake and radiation use efficiency in additive multiple cropping of corn and bean. *Prod. Technol. Agron. Hort. Crops*. 3(9): 15-26. (In Persian)
19. Metting, F.B., Smith, J.L., and Amthor, J.S. 1999. Science Needs and New Technology for Soil Carbon Sequestration. Rosenberg publishing. Pp: 1-35.
20. Morris, R.A., and Garrity, D.P. 1993. Resource capture and utilization in intercropping: non nitrogen nutrients. *Field Crop Res.* 34: 303-317.
21. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Rezvani Moghadam, P., and Beheshti, A. 2001. Agroecology. Ferdowsi university of Mashhad Press, 459p. (In Persian)
22. Peichl, M., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., Huss, J., and Abohassan, R.A. 2006. Carbon sequestration potentials in temperate tree-based intercropping systems, southern Ontario, Canada. *Agroforest Syst.* 66: 243-257.
23. Post, W.M., and Kwon, K.C. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change, processes and potential. *Glob. Change Biol.* 6(3): 317-327.
24. Rezvan beidokhti, Sh. 2004. Comparison of different patterns of multiple cropping of corn and soybean. Msc thesis. Ferdowsi university of Mashhad. (In Persian)
25. Rivest, D., Cogliastro, A., Bradley, R.L., and Olivier, A. 2010. Intercropping hybrid poplar with soybean increases soil microbial biomass, mineral N supply and tree growth. *Agroforest Syst.* 80: 33-40.
26. Salinger, M.J. 2005. Climate variability and change: past, present and future- an overview. *Climate Change*. 70: 9-29.
27. Schroder, S., Begemann, F., and Harrer, S. 2007. Agrobiodiversity monitoring documentation at European level. *JVL*. 1: 29-32.
28. Scott, J.T., Cotner, J.B., and LaPara, T.M. 2012. Variable stoichiometry and homeostatic regulation of bacterial biomass elemental composition. *Frontiers in Microbiol.* 3: 1-8.
29. Tang, X., Bernard, L., Brauman, A., Daufresne, T., Deleporte, P., Desclaux, D., Souche, G., Placella, S.A., and Hinsinger, P. 2014. Increase in microbial biomass and Phosphorus availability in the rhizosphere of intercropped cereal and legumes under field conditions. *Soil Biol. Biochem.* 75: 86-93.
30. Thevathasan, N.V., and Gordon, A.M. 2004. Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: experiences from southern Ontario, Canada. *Agroforest Syst.* 61: 257-268.

31. Vandermeer, J.H. 1992. The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press.
32. Wall, D.H., Bardgett, R.D., Covich, A.P., and Snelgrove, V.R. 2004. The need for understanding how biodiversity and ecosystem functioning affect ecosystem services in soils and sediments. In: D.H. Wall (ed.) Sustaining biodiversity and ecosystem services in soils and sediments. Island Press, Washington, DC. 1-12.
33. Wang, Q., Li, Y., and Alva, A. 2010. Cropping systems to improve carbon sequestration for mitigation of climate change. Environ Protect. 1: 207-215.