نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد چهاردهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۰
۱۲۳-۱۴۴
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI:10.22069/EJCP.2021.18660.2387

ارزیابی شاخص‌های رشد و سودمندی در کشت مخلوط لوبیاسبز و ریحان بذری

مهنا سادات قطب شریف[۱]، قربانعلی اسدی[۲*]، محمدجواد مصطفوی[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، اگرواکولوژی، گروه اگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
[۲]دانشیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
[۳]دانشجوی دکتری، اگرواکولوژی، گروه اگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: کشت مخلوط گیاه دارویی ریحان با حبوبات و بقولات به سبب اختلافات مورفولوژیک و مهم‌تر از آن، تثبیت بیولوژیکی آن‌ها می‌تواند گامی در جهت پایداری در کشاورزی و همچنین پرهیز از مصرف نهاده‌های شیمیایی و بنابراین تولید محصولی با سلامت بیشتر باشد. از این‌رو، اهدافی که از انجام این آزمایش مد نظر بود عبارت از: ارزیابی و مقایسه شاخص‌های مختلف رشد، عملکرد و سودمندی اکولوژیک و اقتصادی ریحان با لوبیاسبز در کشت‌های خالص و نسبت‌های مخلوط جایگزینی در شرایط آب و هوایی مشهد بود.

مواد و روش‌ها: آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. تیمارها عبارت بودند از ۱) کشت خالص لوبیاسبز (P)، ۲) و کشت خالص ریحان (O) و نیز نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی این دو گیاه شامل ۳) نسبت ۱:۳ لوبیاسبز و ریحان (P1O3)، ۴) نسبت ۲:۲ لوبیاسبز و ریحان (P2O2) و ۵) نسبت ۳:۱ لوبیاسبز و ریحان (P3O1). مقادیر روزانه روند شاخص‌های رشد در طول دوره رشد گیاهان با استفاده از توابع مربوطه برآورد شد و در پایان فصل رشد، عملکرد نهایی گونه‌های مخلوط (غلاف‌های تازه لوبیاسبز و بذر خشک ریحان) اندازه‌گیری و شاخص‌های مرتبط با سودمندی کشت مخلوط شامل نسبت برابری زمین (LER)، شاخص افت واقعی عملکرد (AYL) و شاخص سودمندی پولی (MAI) محاسبه شد. برازش توابع، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و رسم شکل‌ها به‌ترتیب با استفاده از نرم‌افزارهای Slide Write ver2.0، SAS v 9.2 و MS Excel 2016 انجام شد.

یافته‌ها: بیش‌ترین شاخص سطح برگ در کشت خالص لوبیاسبز و ریحان به ترتیب به میزان ۳/۴ و ۳ و کم‌ترین آن برای لوبیاسبز در تیمار P1O3 (۰/۲) و برای ریحان در تیمار P3O1 (۲) بود. همچنین، تجمع ماده خشک در کشت خالص لوبیاسبز ۹۷۳ گرم در متر مربع و در کشت خالص ریحان ۱۶۵۴ گرم در مترمربع و کم‌ترین تجمع ماده خشک لوبیاسبز در تیمار P1O3 (۴۴ گرم در متر مربع) و در ریحان در تیمار P3O1 (۷۵۵ گرم در متر مربع) بود. بیش‌ترین میزان رشد لوبیاسبز و ریحان در کشت خالص آن‌ها به ترتیب ۲۰/۵۶ و ۱۷/۹۲ گرم در متر مربع در روز بود. میانگین رشد نسبی لوبیاسبز نیز در تیمار P1O3 ۰/۰۴ گرم بر گرم در روز و در ریحان در تیمار خالص ۰/۰۳ گرم بر گرم در روز بیش‌ترین میزان رشد نسبی بود. بیش‌ترین میزان سرعت اسیمیلاسیون خالص در لوبیاسبز در تیمار خالص (۸/۳ گرم بر متر مربع در روز) و تیمار خالص ریحان (۸/۰۵ گرم بر متر مربع در روز) بود. هیچ عملکرد اقتصادی برای لوبیاسبز در تیمارهای P1O3 و P2O2 ایجاد نشد از این‌رو، تمامی شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط شامل نسبت برابری زمین (LER)، شاخص افت واقعی عملکرد (AYL) و شاخص سودمندی پولی

*مسئول مکاتبه: asadi@um.ac.ir

(MAI)در این تیمارها منفی بود. همچنین، بالاترین عملکرد محصول ریحان در تیمار P1O3 به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری نیز با کشت خالص آن نداشت و تنها در همین تیمار بود که شاخص‌های سودمندی مورد مطالعه مثبت و به کشت خالص ارجحیت داشت.

نتیجه‌گیری: یافته‌ها به خوبی عدم سازگاری مطلوب ریحان با لوبیاسبز در کشت مخلوط را به‌دلیل قدرت کم رقابت و مغلوبیت لوبیاسبز در کشت مخلوط با ریحان نشان داد. اگرچه کشت مخلوط در تیمارهای P3O1 از نظر اقتصادی و اکولوژیک سودمند بود اما به دلیل مدیریت زراعی پیچیده‌تر کشت مخلوط ردیفی لوبیاسبز و ریحان پیشنهاد می‌شود که گیاه دیگری از لگوم یا حبوبات که دارای خصوصیات مطلوب‌تر از لحاظ سازگاری اکولوژیک و عدم تداخل نیچ‌های اکولوژیک با این گیان باشد جایگزین گیاه لوبیاسبز در سامانه‌های تولید گیاه دارویی ریحان گردد.

واژه‌های کلیدی: تجمع ماده خشک، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ، شاخص سودمندی پولی، نسبت برابری زمین

مقدمه

بر اساس پیش‌بینی‌های انجام شده، جمعیت دنیا تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۱۰ میلیارد نفر خواهد رسید، از این‌رو، تقاضا برای کالاها و محصولات کشاورزی افزایش چشمگیری پیدا خواهد کرد (۷). بنابراین با توجه به محدودیت منابع تولید، فشرده‌سازی کشاورزی کاربردی‌ترین راهبرد افزایش تولید محصولات کشاورزی به شمار می‌رود (۱۰). با این وجود، فشرده‌سازی رایج سبب بروز برخی چالش‌ها همچون کاهش تنوع زیستی گیاهان، فرسایش خاک، هجوم آفات، بیماری‌های گیاهی و علف‌های هرز و ایجاد مقاومت آنان به سموم کشاورزی و آلودگی منابع آب و خاک شده و پایداری سیستم‌های کشاورزی را به مخاطره انداخته است. از این‌رو، شکل‌گیری و ورود تفکری پایدار به مدیریت این سیستم‌ها جهت رفع مشکلات و کاستی‌های موجود آن‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد (۱۴، ۲۳).

کشت مخلوط یکی از راهکارهای اکولوژیک فشرده‌سازی کشاورزی به منظور دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار است و به‌صورت کشت کمابیش همزمان دو یا چند گیاه در یک قطعه زمین تعریف می‌شود، که بهبود پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی را به همراه دارد (۱۲). یکی از اهداف اصلی کشت مخلوط افزایش تولید در واحد سطح زمین و افزایش کارایی منابع قابل دسترس گیاهان از طریق ارتقای بهره‌وری اکولوژیکی منابع است (۱۶ ، ۳۷). گیاهان در سیستم مخلوط بایستی حداقل همپوشانی نیچ اکولوژیک را داشته باشند. از این‌رو، گیاهان ترجیحا دارای بیش‌ترین تفاوت در مورفولوژی و عادات رشد را بایستی به نحوی انتخاب کرد که یک گونه مستقیماً از تغییرات محیطی، که توسط گونه‌های دیگر در کشت مخلوط به وجود می‌آید، سود ببرد (۱) و در عین حال، حداقل میزان رقابت بین گروهی بین آن‌ها به وجود آید. دلیل اصلی رقابت، تداخل نیچ‌هاست و بر همین اساس هرچه نیچ گونه‌ها همپوشانی کمتری داشته باشد، شدت رقابت کمتر شده و از منابع در دسترس دو گیاه به طور مؤثرتری استفاده می‌شود و در نتیجه رشد و عملکرد محصول بهبود پیدا می‌کند (۱۳). در پژوهشی به منظور ارزیابی برخی صفات کمی کشت مخلوط لوبیای دانه‌ای و ریحان مشخص شد که حضور لوبیا در کنار ریحان در تیمارهای مختلف به علت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و کاهش رقابت درون گروهی و بین گروهی نسبت به کشت خالص آن برتری داشت (۳۴). همچنین در پژوهشی

دیگر، عملکرد کمی و کیفی سیاهدانه در مخلوط با شنبلیله به‌دلیل بهبود شرایط رشد، سبب افزایش عملکرد هر دو گیاه در تیمارهای مخلوط نسبت به کشت خالص شد (۳۱).

ارزیابی شاخص‌های رشد یکی از روش‌های برآورد میزان استفاده گیاه از منابع موجود است که در تفسیر چگونگی رشد و تشکیل عملکرد اقتصادی محصول از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (۲، ۳). گزارشات بسیاری حاکی از برتری شاخص‌های رشد گیاهان در شرایط کشت مخلوط نسبت به تک کشتی، بر اثر استفاده کارآمدتر از منابع در دسترس است. در پژوهشی، بیش‌ترین مقدار سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و ماده خشک تجمعی شاهدانه در کشت مخلوط کنجد (*Sesamum indicum* L.) و شاهدانه (*Cannabis sativa* L.) در تیمار کشت مخلوط دوگیاه با نسبت ۵۰ درصد تراکم هر گیاه در مقایسه با کشت خالص این گیاهان گزارش شد که از تیمار کشت خالص کنجد بیشتر بود (۱۵). همچنین، افزایش ماده خشک تجمعی، بهبود سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ سویا در کشت مخلوط سویا، ریحان رویشی و گاوزبان اروپایی در مقایسه با کشت خالص این گیاه، می‌تواند تاییدی بر سودمندی کشت مخلوط باشد (۵). البته در کنار برتری شاخص‌های رشدی در کشت مخلوط، به دلیل افزایش رقابت درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای بین اجزای آن گزارشات گوناگونی نیز از کاهش شاخص‌های رشد نسبت به تک کشتی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به کاهش ماده خشک تجمعی، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول در مخلوط زیره سبز و موسیر نسبت به تک کشتی هر یک از آن‌ها اشاره کرد (۱۴). هم‌چنین، در تحقیقی، کاهش ماده خشک تجمعی و شاخص سطح برگ در مخلوط سیاهدانه، همیشه بهار و گاوزبان اروپایی نسبت به تک کشتی آن‌ها به دلیلی مشابه گزارش شده است (۲۳) و در تحقیقی دیگر نیز کاهش ماده خشک تجمعی در مخلوط نخود فرنگی و برخی از غلات نسبت به تک کشتی آن‌ها گزارش شده است (۱۷).

ریحان (*Ocimum basilicum* L.) گیاه دارویی یکساله از خانواده نعناعیان (Lamiaceae) می‌باشد (۳۰). عدم استفاده از نهاده‌های شیمیایی هم‌چون کودها و سموم در تولید گیاهان دارویی و کنترل علف‌های هرز نیز برای تولید گیاهان دارویی بسیار مورد توجه است. بنابراین، با توجه به مزایای کشت مخلوط گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن همچون حبوبات با گیاهان دارویی در زمینه جبران عدم مصرف نهاده‌های شیمیایی و سلامت تولیدات گیاهان دارویی با تأکید بر فرآیند تثبیت نیتروژن اتمسفری در خاک و پوشش سطح خاک، هدف از انجام این آزمایش بررسی میزان تغییرات شاخص‌های رشد و عملکرد و مزایای اقتصادی و اکولوژیک کشت مخلوط لوبیاسبز با گیاه دارویی ریحان در شرایط آب و هوایی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد، بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای درون هر بلوک کامل شامل ۱) کشت خالص لوبیاسبز (P)، ۲) کشت خالص ریحان (O) و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی این دو گیاه شامل ۳) نسبت یک به سه (۱:۳) لوبیاسبز و ریحان (P1O3)، ۴) نسبت ۲:۲ لوبیاسبز و ریحان (P2O2) و ۵) نسبت سه به یک (۳:۱) لوبیاسبز و ریحان (P3O1) بود که به‌صورت تصادفی به واحدهای آزمایشی اختصاص داده شدند.

زمین مورد استفاده، سال قبل از اجرای این آزمایش تحت کاشت ذرت بود. به منظور تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، چند نمونه تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک برداشت شده و پس از ترکیب کردن آن‌ها به آزمایشگاه خاک ارسال گردید که نتایج آنالیز آن در جدول ۱ آمده است.

جدول۱- برخی خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک).

Table 1- Some physicochemical properties of the soil of experimental field (0 to 30 cm soil depth).

بافت خاک Texture Soil	اسیدیته pH	شوری(دسی‌زیمنس بر متر) Salinity ($dS\ m^{-1}$)	نیتروژن کل (قسمت در میلیون) Total N (ppm)	فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون) Available P (ppm)	پتاسیم قابل جذب (قسمت در میلیون) Available K (ppm)
Loam Clay لوم رسی	7.52	1.86	266	52.3	234

پیش از اجرای آزمایش به منظور کم کردن فشار علف‌های هرز در مزرعه، بستر کاذب با استفاده از دیسک و آبیاری زمین در فروردین ۹۸ انجام شده بود و نابودسازی علف‌های هرز رشد یافته نیز با زدن مجدد دیسک صورت پذیرفته بود. آماده‌سازی زمین در ۱۵ اردیبهشت ۹۸ با انجام شخم برگردان‌دار و دو دیسک عمود بر هم انجام شده و پس از آن تسطیح زمین با استفاده از لولر انجام شد. با استفاده از فاروئر جوی و پشته‌هایی با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر ایجاد و سپس کرت‌بندی انجام شد. مساحت هر کرت آزمایشی هشت مترمربع (۲ متر × ۴ متر)، فاصله کرت‌های مجاور از یکدیگر یک متر و در هر کرت هشت ردیف برای کاشت در نظر گرفته شد؛ همچنین، فاصله بین کرت‌ها نیز با کاشت گیاهان کرت‌های مجاور پر شد تا تمامی ردیف‌های کاشت جهت نمونه‌برداری‌های بعدی قابل استفاده باشند. در این آزمایش از بذر خالص ریحان توده افغان و بذر اصلاح شده لوبیاسبز رقم سانری استفاده شد. کاشت بذرها در تاریخ ۱۹ اردیبهشت ماه ۱۳۹۸ به صورت دستی در دو طرف پشته‌ها انجام شد. تراکم لوبیاسبز ۲۵ بوته در متر مربع (۲۸) و ریحان ۴۰ بوته در متر مربع (۲۵) در نظر گرفته شدند. آبیاری مزرعه به صورت جوی و پشته‌ای انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و دومین آبیاری به منظور اطمینان از جوانه‌زنی و استقرار مناسب گیاهچه‌ها سه روز بعد از کاشت صورت گرفت و پس از آن، آبیاری مزرعه آزمایشی با توجه به نیاز آبی گیاه و معمولاً با دوره‌های ۷ روزه انجام شد. وجین دستی علف‌های هرز به صورت مستمر و تا بسته شدن کانوپی ادامه یافت. به منظور اجرای آزمایش در شرایط کم‌نهاده در زمان آماده‌سازی زمین و در طول فصل رشد گیاهان از هیچ‌گونه نهاده شیمیایی هم‌چون سم و کود شیمیایی استفاده نشد و در طول فصل رشد نیز گیاهان با بیماری یا آفتی روبه‌رو نشدند.

به منظور ثبت شاخص‌های رشد و روند آن‌ها، طول هر کرت به دو بخش مساوی تقسیم شد و نمونه‌گیری‌های مربوطه به‌صورت تخریبی در نیمی از کرت‌ها صورت پذیرفت. بخش دیگر کرت نیز برای اندازه‌گیری عملکرد محصول تا پایان فصل دست نخورده باقی ماند. در طول فصل رشد شش نوبت نمونه‌برداری از اندام هوایی گیاهان به صورت تصادفی از هر دو گیاه هر کرت انجام شد. نمونه‌برداری‌ها از ۵۶ روز پس از کاشت با فاصله زمانی ۱۰روزه تا پنجمین نمونه‌برداری انجام شد و ششمین و آخرین نمونه‌برداری نیز به‌دلیل بروز مسائلی خارج از آزمایش ۱۳۳ روز پس از کاشت انجام پذیرفت. نمونه‌ها با استفاده از داس کف‌بر شده و بلافاصله درون پاکت‌های کاغذی جداگانه‌ای قرار

داده شده و پس از لیبل‌گذاری، جهت اندازه‌گیری‌های بعدی به آزمایشگاه منتقل شدند. به‌منظور تسریع اندازه‌گیری‌ها و پیشگیری از پلاسیدگی برگ‌ها و بروز خطا در اندازه‌گیری‌های سطح برگ، سطح برگ نمونه‌ها با استفاده از روش وزنی (۲۱، ۲۳) اندازه‌گیری شد. بدین صورت که در آزمایشگاه سطح برگ چند نمونه به کمک دستگاه سنجش سطح برگ مدل Licor LI-3100 اندازه‌گیری شد و پس از قرار دادن مجدد آن‌ها در پاکت کاغذی، به همراه برگ‌های جداشده و جداگانه‌ی سایر نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای تنظیم شده‌ی ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از آن با استفاده از ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۱ گرم برگ‌های خشک شده توزین شدند و سپس، با استفاده از تناسب وزن و سطح برگ نمونه‌های معلوم، سطح برگ نمونه‌های دیگر نیز محاسبه و با در نظر گرفتن تراکم کاشت، شاخص سطح برگ کرت‌ها محاسبه شد. دیگر بخش‌های اندام هوایی نمونه‌ها نیز در آون قرار داده شده بوده و خشکانده شدند و از مجموع وزن خشک آن‌ها به‌علاوه برگ‌ها، با در نظر گرفتن تراکم کاشت، با عنوان وزن خشک کل (TDM[1]) اندام هوایی هر کرت استفاده شد. از میانگین داده‌های به‌دست آمده از هر تیمار به‌منظور محاسبه شاخص‌های رشد به روش تابعی[2] (برازش توابع رشد به داده‌های مربوطه) استفاده شد. در این روش ضمن پرهیز از مشکلات روش کلاسیک همچون منفی شدن سرعت رشد محصول (CGR[3])، توابع مناسب به داده‌ها برازش داده می‌شود تا مقادیر روزانه هر شاخص برای تمامی روزهای مابین اولین تا آخرین نمونه‌برداری درون‌یابی[4] شود (۲۰). از داده‌های به‌دست آمده شاخص سطح برگ و وزن خشک کل برای تجزیه و تحلیل روزانه شاخص‌های سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی (RGR[5]) و سرعت اسیمیلاسیون خالص (NAR[6]) استفاده شد (۲۰). تغییرات روزانه شاخص سطح برگ با برازش تابع لجستیکی (رابطه ۱) به داده‌های اندازه‌گیری شده برآورد شد (۲۱).

رابطه ۱: $$LAI = \frac{a + b.4(exp(-(t-c)/d))}{(1+exp(-(t-c)/d))^2}$$

که در آن LAI شاخص سطح برگ، a عرض از مبداء، b زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، c میانگین سرعت رشد نسبی سطح برگ، d زمان شروع مرحله رشد خطی و t تعداد روز پس از سبز شدن می‌باشد. میزان ماده خشک تجمعی طبق رابطه ۳-۲ برآورد گردید (۲۱).

رابطه ۲: $$TDM = \frac{a}{1+b.exp(-ct)}$$

که در آن TDM مجموع ماده خشک (تجمعی)، a بیشینه ماده خشک تولید شده، c سرعت رشد نسبی و b ضریب تابع است. مشتق اول رابطه ۲ معادل سرعت رشد محصول (رابطه ۳) برحسب ($g\ m^{-2}\ d^{-1}$) می‌باشد (۲۱).

رابطه ۳: $$CGR = \frac{d\,TDM}{dt} = \frac{a.b.c.exp(-ct)}{(1+b.exp(-ct))^2}$$

و سرعت رشد نسبی (رابطه ۴) نیز از مشتق دوم رابطه ۲ برحسب $g\ g^{-1}\ d^{-1}$ به‌دست آمد (۲۱).

رابطه ۴: $$RGR = \frac{d_2\,TDM}{dt} = \frac{b.c.exp(-ct)}{1+b.exp(-ct)}$$

با معلوم بودن مقادیر سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ، سرعت اسیمیلاسیون خالص (رابطه ۵) بر حسب گرم در متر مربع برگ در روز محاسبه شد (۲۱).

1. Total dry matter
2. Functional
3. Crop growth rate
4. Interpolation
5. Relative growth rate
6. Net assimilation rate

رابطه ۵: $$NAR = \frac{CGR}{LAI}$$

عملکرد اقتصادی لوبیاسبز غلاف‌های سبزی بودند که از نیمه‌ای از کرت‌ها که نمونه‌برداری تخریبی انجام نشده بود در سه نوبت در ششم و ۲۴م شهریور و ۱۵م مهر برداشت شدند. همچنین، پس از زرد شدن بوته‌های ریحان در پایان فصل رشد، اندازه‌گیری عملکرد اقتصادی محصول (بذرها) با حذف اثرات حاشیه‌ای در تاریخ یکم آبان از نیمه از دست نخورده کرت‌ها انجام شد. قابل ذکر است که در این آزمایش لوبیاسبز در سایه کانوپی ریحان قرار گرفت و در تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد لوبیاسبز در مخلوط با ریحان پیش از پایان دوره‌ی رشد، گیاه لوبیاسبز در رقابت بین گونه‌ای توسط ریحان مغلوب شده و در نتیجه لوبیاسبز در این تیمارها هیچ‌گونه عملکرد اقتصادی نداشتند.

سودمندی کشت مخلوط با استفاده از شاخص‌های نسبت برابری زمین (LER[1])، افت واقعی عملکرد (AYL[2]) و شاخص مزیت پولی (MAI[3]) ارزیابی شد. در این راستا، نسبت برابری زمین جزئی و کل به‌ترتیب با استفاده از روابط ۶ و ۷ محاسبه شد (۱۴).

رابطه ۶: $$RY_i = \frac{Y_i}{Y_s}$$

رابطه ۷: $$LER = \Sigma\, RY_i$$

که در آن RY_i مقدار جزیی، Y_i عملکرد محصول در کشت مخلوط و Y_s عملکرد محصول در کشت خالص می‌باشد. این شاخص به راحتی قابل تفسیر و توضیح است. به گونه‌ای که اگر مقدار آن از یک بیشتر باشد، کشت مخلوط نسبت به کشت خالص برتری دارد و اگر میزان آن کمتر از یک باشد تک‌کشتی ترجیح داده می‌شود و بالاخره اگر این نسبت برابر با یک باشد نشانگر برابری کشت خالص با مخلوط است.

با وجود این‌که نسبت برابری زمین اطلاعات ارزشمندی را در زمینه سودمندی کشت مخلوط به‌دست می‌دهد اما درخصوص تشریح رفتار گونه‌های مخلوط هیچ قابلیتی ندارد. از این‌رو، به‌منظور تکمیل تحلیل اکولوژیکی کشت مخلوط از شاخص افت واقعی عملکرد (رابطه ۸) که حاصل جمع افت واقعی عملکرد گونه‌های مخلوط (AYL_i؛ رابطه ۹) است نیز محاسبه شد (۴ ، ۲۴).

رابطه ۸: $$AYL = \sum AYL_i$$

رابطه ۹: $$AYL_i = (LER \times \left(\frac{100}{r_i}\right) - 1)$$

که در آن i هر کدام از گونه‌های مخلوط و r_i نسبت کاشت آن گونه در کشت مخلوط (به درصد) است. مقادیر مثبت شاخص افت واقعی عملکرد به معنای سودمندی کشت مخلوط است و برعکس. همچنین، با توجه به رابطه ۹، دامنه قابل تغییر برای افت عملکرد واقعی جزئی هرگونه ۱± خواهد بود. بنابراین، اگر کشت مخلوط سبب افت عملکرد گونه‌های مخلوط گردد مقادیر جزئی شاخص افت واقعی عملکرد گونه منفی و در صورتی که کشت مخلوط بهبود عملکرد گونه‌ها را در پی داشته باشد مقادیری مثبت به‌دست خواهد آمد و عدد صفر نشان‌دهنده عدم تأثیر کشت مخلوط بر بهبود استفاده گونه‌ها از زمین در جهت استفاده کاراتر از این منبع تولید است.

از آن‌جا که علاوه بر جنبه‌ی اکولوژیک کشاورزی پایدار، جنبه اقتصادی نیز از دیگر مؤلفه‌های مهم در این حوزه است، شاخص مزیت پولی (MAI) به‌عنوان ابزار ارزیابی اقتصادی کشت مخلوط از طریق رابطه ۱۰، پس از محاسبه ارزش پولی گونه‌های مخلوط

1. Land equivalent ratio
2. Actual yield loss
3. Monetary advantage index

(VCI[1]؛ رابطه ۱۱) و در نظر گرفتن شاخص نسبت برابری زمین کل (رابطه ۷) محاسبه گردید (۴، ۲۴).

رابطه ۱۰: $$MAI = VCI \times \frac{LER - 1}{LER}$$

رابطه ۱۱: $$VCI = Y_{iI}P_i + Y_{jI}P_j$$

که در آن، MAI شاخص مزیت پولی بر حسب میلیون ریال به ازای هر تن محصول، Y و P_B به‌ترتیب ارزش ریالی (میلیون ریال) عملکرد لوبیاسبز و ریحان (به ترتیب با احتساب ۴۰ و ۲۵۰ میلیون ریال به ازای هر تن عملکرد غلاف سبز لوبیاسبز و دانه خشک شده ریحان در سال ۱۳۹۸) در کشت مخلوط می‌باشد (۴ و ۲۴).

در پایان برازش توابع، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Slide Write ver2.0، SAS v 9.2 و MS 2016 Excel انجام و مقایسات میانگین نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ (LAI): در تابع برازش یافته به شاخص سطح برگ گیاهان، حداکثر مقدار ضریب b (حداکثر مقدار شاخص برگ در منحنی روند شاخص سطح برگ) برای هر دو گونه‌ی مخلوط در تیمارهای کشت خالص ثبت شد که برای لوبیاسبز ۴/۴۱ و برای ریحان ۵/۱۲ (جدول ۲) بود. حداقل مقدار این ضریب نیز برای لوبیاسبز در تیمار P1O3 با مقدار ۰/۲ بود. در خصوص ریحان نیز ضرایب ۲/۷، ۴/۳۳ و ۲/۰۳ به ترتیب به تیمارهای P1O3، P2O2 و P3O1 تعلق داشت (جدول ۲). برآیند نتایج بیان شده را می‌توان ناشی از وجود رقابت رشد بین دو گیاه دانست و علاوه بر این، چنین برداشت کرد که در رقابت مورد اشاره، ریحان فشار رقابتی بیشتری را به گیاه مخلوط خود یعنی لوبیاسبز وارد کرده است، کما این‌که چنان که پیش‌تر ذکر شد، کشت ریحان با لوبیاسبز در تیمارهایی که تراکم ریحان برابر یا بیشتر از لوبیا بوده است، سبب مغلوبیت کامل گیاه لوبیاسبز شد.

هم‌چنین، با بررسی ضریب c (جدول ۲) زمان زمان عطف رشد نمایی منحنی سطح برگ لوبیاسبز و ریحان به طور میانگین به‌ترتیب پس ۱۰۴/۲ و ۱۰۴/۹روز پس از کاشت بوده است که اطلاع از این زمان می‌تواند به‌منظور برنامه‌ریزی‌های مربوط به مدیریت‌های زراعی برای این گیاه همچون برنامه‌ریزی تغذیه و وجین علف‌های هرز پیش از بسته شدن کانوپی گیاه حائز اهمیت باشد (۱۱).

در این آزمایش شاخص سطح برگ هر دو گیاه لوبیاسبز و ریحان تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی قرار گرفتند، سطح برگ در اوایل دوره رشد بهطور نمایی افزایش یافته و پس از مدتی کاهش پیدا کرد تا این‌که سرعت افزایش این شاخص پس از گلدهی هر دو گیاه به حداقل مقدار خود رسید و در نتیجه شاخص سطح برگ گیاهان ثابت شد و پس از مدت کوتاهی از گلدهی، روندی کاهشی تا پایان دوره رشد گیاه مشاهده شد (شکل ۱). یافته‌های تحقیقات متعددی نشان داده است که همبستگی غالباً بالایی بین شاخص سطح برگ و عملکرد گیاه زراعی وجود دارد (۲۱، ۲۳) که این همبستگی همیشه خطی نیست. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که گیاهان دارای شاخص سطح برگ بیشتر احتمالا عملکرد بیشتری را داشته باشند.

در این آزمایش میزان نسبت سطح برگ لوبیاسبز در تیمارهای مختلف با نسبت کاشت این گیاه در آن تیمارها برابر نبود. بر این اساس بیش‌ترین شاخص سطح برگ لوبیاسبز در بین تیمارهای مختلف در تیمار خالص (۳/۴۷) و کم‌ترین آن (۰/۲۴) در تیمار P1O3 ثبت شد (شکل ۱-A). به نظر می‌رسد رقابت شدید

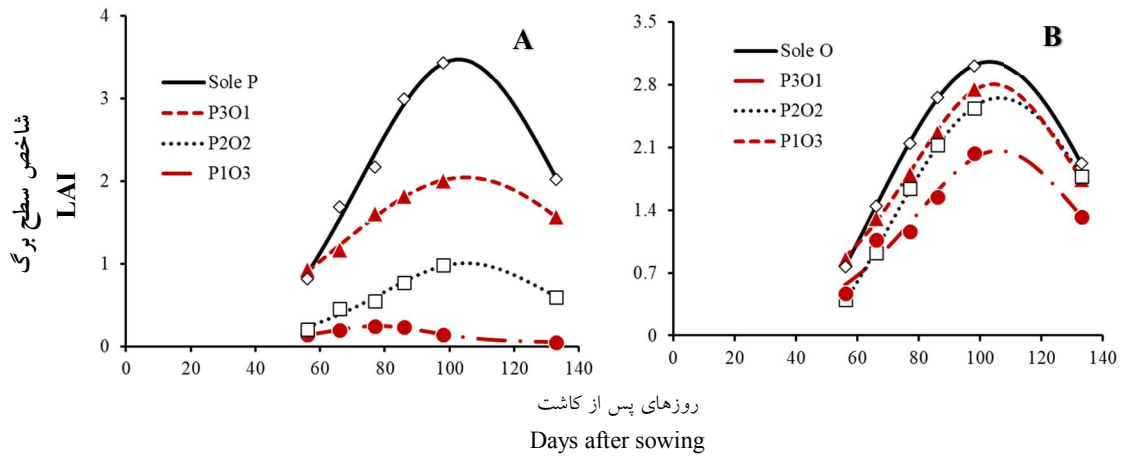
1. Value of combined intercrops

بین گروهی و غلبه کامل ریحان بر لوبیاسبز در تیمار P1O3 سبب شده است که شاخص سطح برگ لوبیاسبز بسیار پایین نگه داشته شود، از این‌رو، می‌توان چنین در یافت که نیچ‌های اکولوژیک لوبیاسبز و ریحان با یکدیگر دارای تداخل بوده است. همچنین، بیشترین شاخص سطح برگ ریحان در تیمارهای مختلف کاشت ریحان در کشت خالص با مقدار ۳/۰۵ و حداقل آن در تیمار P3O1 با مقدار ۲/۰۶ ثبت شد. شاخص سطح برگ تیمارهای P1O3 و P2O2 روندی یکسان و مقادیری نسبتا مشابه (مقادیر اوج شاخص سطح برگ به‌ترتیب برابر با ۲/۸ و ۲/۶۵) داشتند که نشان می‌دهد شاخص سطح برگ این گیاه در تیمارهایی که لوبیاسبز حداقل مقدار شاخص سطح برگ را داشته، افزایش پیدا کرده است و از این رو به لوبیاسبز غالبیت پیدا کرده است (شکل ۱-B).

جدول ۲- ضرایب منحنی برازش یافته به داده‌های شاخص سطح برگ (LAI) برای تیمارهای مختلف لوبیاسبز (P) و ریحان (O).

Table 2- The coefficients of the curve fitted to LAI data for different treatments of green bean (P) and basil (O).

گیاه Plant	تیمار Treatment	a	b	c	d	R^2	S_d
لوبیاسبز (P) Green bean (P)	P1O3	0.0462 ± 0.95	0.2029 ± 0.79	77.8109 ± 3.18	11.4727 ± 0.47	0.99	0.009
	P2O2	-0.0336 ± 1.03	1.0385 ± 0.03	105.0797± 7.07	19.0951 ± 0.9	0.97	0.06
	P3O1	-0.4356 ± 1.43	2.4873 ± 0.51	104.9089± 1.9	29.6213 ± 1.62	0.91	0.04
	خالص لوبیاسبز Sole P	-9422 ± 19805	4.4188 ± 0.41	102.8874± 9.11	23.1329 ± 0.13	0.96	0.1
ریحان (O) Basil (O)	P3O1	0.0292 ± 0.97	2.0313 ± 0.03	105.9808± 2.01	19.5104 ± 0.51	0.94	0.18
	P2O2	-1.6791 ± 3.67	4.3341 ± 0.33	106.3543± 4.35	27.4912 ± 0.5	0.99	0.03
	P1O3	0.1035 ± 0.89	2.7003 ± 0.29	104.3414± 6.65	19.4706 ± 0.47	0.99	0.04
	خالص ریحان Sole O	-2.0638 ± 4.06	5.1261 ± 0.12	103.1254± 5.12	29.1879 ± 2.18	0.99	0.01



شکل ۱- تأثیر نسبت‌های مختلف جایگزینی کشت مخلوط بر روند شاخص سطح برگ لوبیاسبز(A) و ریحان (B).

Figure 1- Effect of different replacement ratios of intercropping on the trend of LAI in green bean (A) and basil (B).

شاخص سطح برگ لوبیاسبز بین ۱۰۳ تا ۱۰۵روز پس از کاشت (به جز در تیمار P1O3؛ ۷۸ روز پس از کاشت بود) و ریحان نیز بین ۱۰۴ تا ۱۰۶روز پس از کاشت به حداکثر مقدار خود رسید. بنابراین، لوبیاسبز و ریحان به‌طور همزمان به بیشترین میزان پوشش کانوپی خود رسیدند (شکل ۱). می‌توان گفت که همزمانی اوج توسعه کانوپی دو گیاه نیز فشار رقابتی بر لوبیاسبز را بیشتر افزایش داده و بنابراین گیاه ریحان

در رقابت بین گونه‌ای به لوبیاسبز غالبیت پیدا کرد. افزایش شاخص سطح برگ گیاهان تا زمانی‌که سایه‌اندازی برگ‌های جدید بر روی برگ‌های پیشین موجب عدم کفایت فتوسنتزی برگ‌ها برای گیاه و در نتیجه ریزش و حذف آن‌ها می‌شود ادامه می‌یابد تا این‌که مقدار برگ‌های تازه تولید شده با ریزش یافته‌ها برابر شده و شاخص سطح برگ ثابت می‌شود (۳۰). روند رشد سطح برگ گیاهان طی فصل رشد عموماً به‌صورت غیرخطی (سیگموئیدی) است، به‌طوری‌که در نیمه‌ی دوم فصل رشد به حداکثر خود می‌رسد و سپس با پیر شدن و از بین رفتن برگ‌ها کاهش می‌یابد و این هنگامی است که تولید برگ‌های جدید کفاف سطح برگ از بین رفته را نمی‌دهد (۲۰). گونه‌ای می‌تواند در رقابت بهترین نتیجه را در جذب تشعشع به‌دست آورد که در موقعیت بهتری از لحاظ توانمندی ذاتی برای رقابت و همچنین تراکم گیاهی در محیط قرار داشته باشد. به‌نظر می‌رسد لحاظ نمودن راهکارهایی همچون تغییر تاریخ کاشت می‌تواند در کاهش فشار رقابت بین گونه‌های مخلوط مفید واقع شود. باقری و همکاران (۲۰۱۲) کشت مخلوط سویا و ریحان با نسبت سه به یک را برای تولید سویا توصیه کردند (۵). در پژوهشی دیگر محققان بیان داشتند که به دلیل افزایش شاخص سطح برگ و هم‌چنین سایر شاخص‌های رشدی سویا در کشت مخلوط با ریحان، این الگوی کشت برای تولید محصول سویا موفق‌تر از کشت خالص این گیاه است. در پژوهشی دیگر نیز یافته مشابهی در خصوص گیاه کنجد در کشت مخلوط این گیاه با نخود به‌دست آمد (۲۷).

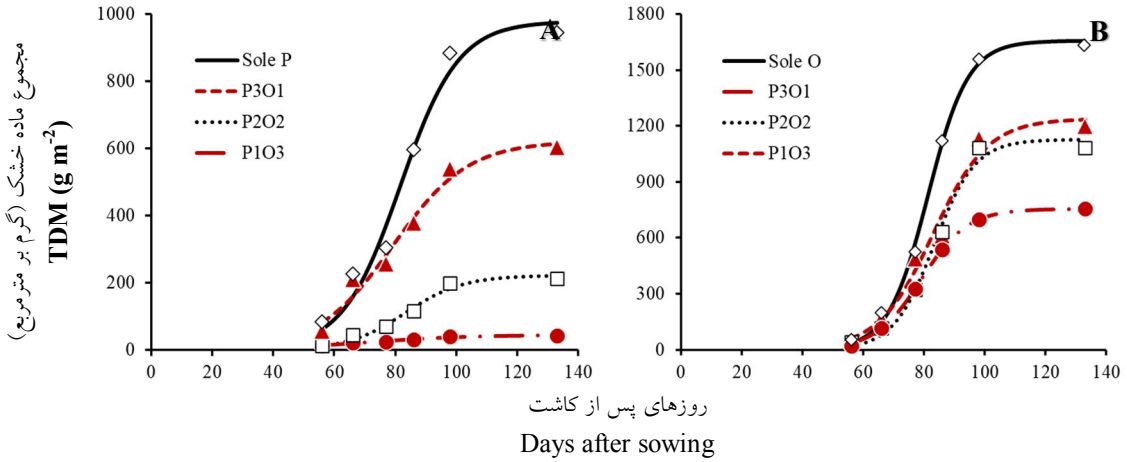
مجموع ماده خشک (TDM): میانگین سرعت رشد نسبی (ضریب *c*) در کل دوره رشد برای لوبیاسبز به طور میانگین ۰/۰۱ گرم بر گرم در روز و برای ریحان ۰/۰۳ گرم بر گرم در روز بود (جدول ۳).

جدول ۳- ضرایب منحنی برازش یافته به داده‌های تجمع ماده خشک (TDM) تیمارهای مختلف برای لوبیاسبز و ریحان.

Table 3- The coefficients of curve fitted to the TDM data of different treatments of green bean (P) and basil (O).

گیاه Plant	تیمار Treatment	a	b	c	R^2	S_e
لوبیاسبز (P) Green bean (P)	P1O3	45.2937 ± 1.29	60.749 ± 4.25	0.0189±0.98	0.96	2.6
	P2O2	221.2978 ± 21.7	6642.1124 ± 492.88	0.0219±0.97	0.98	14.4
	P3O1	620.4492 ± 39.55	622.9373 ± 39.06	0.0159±0.98	0.97	41.2
	خالص لوبیاسبز Sole P	977.6899 ± 8.68	5356.6022 ± 282.39	0.0223±0.97	0.96	66.6
ریحان (O) Basil (O)	P3O1	755.8662 ± 72.13	35655.157±2358.15	0.0168±0.98	0.99	7.8
	P2O2	1126.475 ± 11.52	240936.07±2198.07	0.0402±0.95	0.99	59.2
	P1O3	1236.9781±96.02	10257.61±424.38	0.0286±0.97	0.97	93.4
	خالص ریحان Sole O	1655.1628±161.16	34640.89±1642.89	0.0396±0.96	0.99	45.1

در اوایل دوره رشد، سرعت ماده خشک تجمعی کم بود اما همراه با رشد پوشش کانوپی، شیب منحنی میزان ماده خشک تجمعی هر دو گیاه بیشتر شده و سپس ثابت شد (شکل ۲). پیری و زردشدن برگ‌ها، سایه‌اندازی آن‌ها بر روی یکدیگر، انتقال مجدد کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای به اندام‌های زایشی، ریزش برگ‌ها، افزایش بافت‌های غیرساختمانی و کاهش نسبت تنفس رشد به تنفس نگهداری را می‌توان از جمله دلایل کاهش شیب تجمع ماده خشک در گیاهان دانست (۲۰).



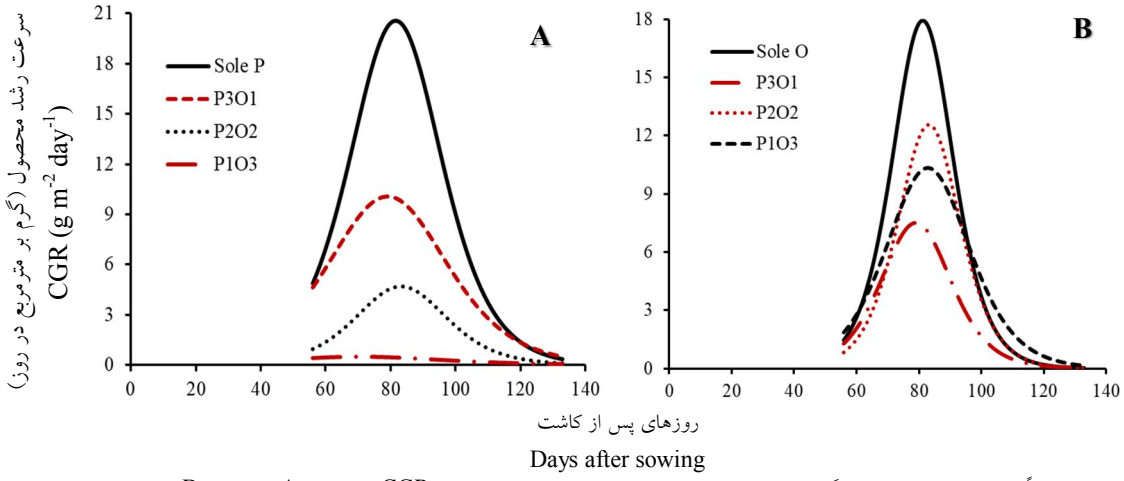
شکل ۲- تأثیر نسبت‌های مختلف جایگزینی در کشت مخلوط بر روند تجمع ماده خشک (TDM) لوبیاسبز (A) و ریحان (B) در تیمارهای مختلف آزمایش.

Figure 2- Effect of different replacement ratios of intercropping on the trend of total dry matter (TDM) in green bean (A) and basil (B) in different treatments of the experiment.

هم‌چون شاخص سطح برگ، بالاترین و پایین‌ترین مقدار ماده خشک تجمعی لوبیاسبز در تیمارهای کشت خالص (۹۷۳/۳۴ گرم در مترمربع) و P1O3 (۴۴/۱۴ گرم در مترمربع) ثبت شد. با توجه به نتایج، در روز ۹۵ام پس از کاشت، روند افزایش ماده خشک تجمعی در کلیه تیمارها به حد تقریباً ثابتی نزدیک شد که این، کمی پس از زمان به اوج رسیدن شاخص سطح برگ تیمارهای لوبیاسبز (روز ۹۰ ام) بود (شکل ۲). بیش‌ترین ماده خشک تجمعی گیاه ریحان با مقدار ۱۶۵۴/۵۲ گرم در مترمربع نیز به تیمار کشت خالص این گیاه تعلق داشت و کم‌ترین مقدار این صفت نیز به تیمار P3O1 (۷۵۵/۲۶ گرم در مترمربع) مربوط بود. حد میانه‌ی این دو تیمار نیز به تیمارهای کشت مخلوط P1O3 و P2O2 به ترتیب با مقدار ۱۲۳۲/۲۹ و ۱۱۲۵/۷۸ گرم در مترمربع ثبت شد که روندی مشابه و نزدیک به هم نیز داشتند (شکل ۲ – A). همچنین، هرچند بعد از حدود روز ۹۵ ام پس از کاشت سرعت افزایش ماده خشک تجمعی کاهش یافت و شیب افزایش روند، پس از آن بسیار کم شده و به همان منوال ادامه یافت و در زمان برداشت، در حال رسیدن به مرحله ثابت شدن ماده خشک تولیدی خود بود (شکل ۲ – B). ماده خشک تجمعی، نشانگر فتوسنتز خالص گیاه و شاخصی برای برآورد عملکرد گیاه زراعی است. ماده فتوسنتزی تولید شده گیاه می‌تواند توسط گیاه برای مقاصد رشد یا نگهداری مصرف شده یا در اندام‌های ذخیره‌ای تجمع یابد. افزایش سطح برگ، توان فتوسنتزی و تولید ماده خشک را افزایش می‌دهد که این امر می‌تواند منجر به افزایش عملکرد گیاه شود (۳۵). در مطالعه‌ای، رشد گیاهان در کشت مخلوط جایگزینی رازیانه، کنجد و لوبیا مورد ارزیابی قرار گرفت. در مطالعه مذکور میزان وزن خشک در تیمارهای خالص تمامی گونه‌ها به دلیل تراکم بیش‌تر در مقایسه با تیمارهای کشت مخلوط بیشتر بود (۳۳). در کشت مخلوط دو گیاه دارویی زیره سبز و موسیر بر روند شاخص‌های رشدی نشان داده شد که ماده خشک تجمعی در کشت خالص نسبت به نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بیشتر بود (۱۹). نکته‌ای که همچنین می‌توان به آن‌ها اشاره کرد این است که نسبت وزن خشک تیمارهای کشت مخلوط به کشت خالص در گیاه لوبیا سبز از نسبت کاشت آن‌ها در آن تیمارها (مقداری نظری قابل انتظار در شرایطی که دو گونه هیچ‌گونه تأثیر مثبت یا منفی بر یکدیگر نداشته باشند) کم‌تر بود (شکل‌های ۲–A و ۲–B). میانگین این نسبت برای کل دوره رشد در تیمارهای P3O1، P2O2

و P1O3 به ترتیب حدود ۱۳، ۵۶ و ۷۹ درصد کمتر از مقادیر قابل انتظار (نسبت‌های کاشت ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد از کشت خالص) بود در حالی که تمامی این مقادیر برای گیاه ریحان از مقدار قابل انتظار بیشتر بود (داده‌ها نمایش داده نشده‌اند). این نتیجه می‌تواند نشان‌دهنده سرکوب رشد لوبیا سبز بر اثر فشار رقابتی ریحان باشد.

سرعت رشد محصول (CGR): سرعت رشد محصول را می‌توان با معناترین واژه در تجزیه و تحلیل رشد دانست که بیانگر میزان ماده خشک تجمعی در گیاهان در واحد زمانی مشخص در واحد سطح زمین است. نتایج، بیانگر روند سهمی نمودار سرعت رشد محصول در طول دوره رشد در تمام تیمارها بود، به طوری که ابتدا افزایشی بود و تقریباً در زمان به حداکثر رسیدن شاخص سطح برگ یعنی در اوایل گلدهی به اوج رسیده و سپس کاهش یافت (شکل ۳). در واقع بیش‌تر بودن میزان تنفس نسبت به فتوسنتز جاری در مراحل انتهایی رشد موجب کاهش بیشتر سرعت رشد محصول می‌شود و تابش دریافتی به سمت نقطه جبران نوری میل می‌کند (۲۹).



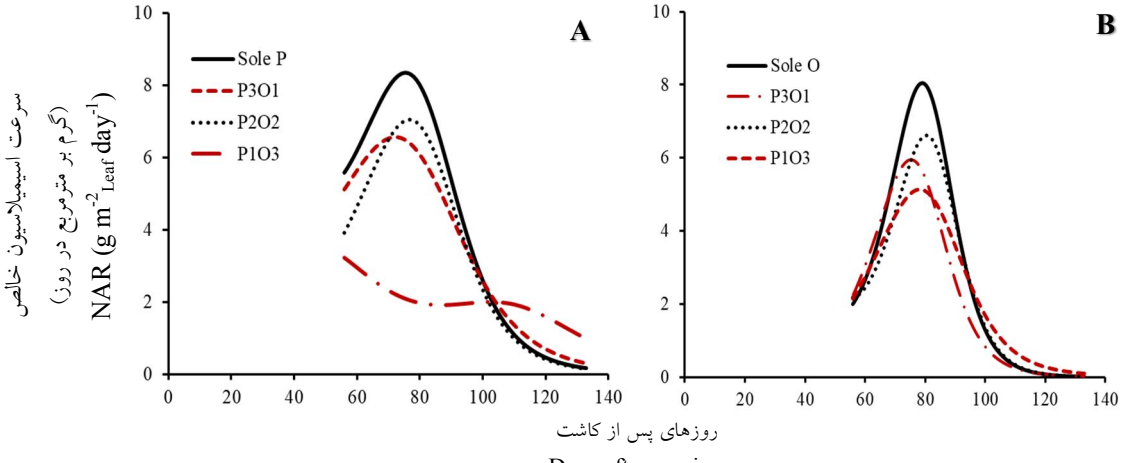
شکل ۳- تأثیر نسبت‌های مختلف جایگزینی در کشت مخلوط بر روند سرعت رشد محصول (CGR) لوبیاسبز (A) و ریحان(B) در تیمارهای مختلف آزمایش.

Figure 3- Effect of different replacement ratios of intercropping on the trend of crop growth rate (CGR) in green bean (A) and basil (B) in different treatments of the experiment.

حداکثر مقدار سرعت رشد محصول لوبیاسبز مربوط به تیمار کشت خالص این گیاه (۲۰/۵۶ گرم در متر مربع در روز) و حداقل آن به میزان ۰/۵۲ گرم در متر مربع در روز در تیمار P1O3 بود. تیمار کشت خالص ریحان دارای بیش‌ترین سرعت رشد محصول (۱۷/۹۲ گرم در متر مربع در روز) و تیمار P3O1 کم‌ترین مقدار این شاخص (۷/۵۰ گرم در متر مربع در روز) را در نقطه اوج دارا بودند. حداکثر شدن رشد محصول منطبق با حداکثر توانایی تولید ماده خشک است و حداکثر تبدیل انرژی خورشید در گیاه است (۳۲). اگرچه هر دو گیاه لوبیاسبز و ریحان در تیمارهای کشت مخلوط زودتر از تیمار کشت خالص به حداکثر مقدار سرعت رشد محصول رسیدند (شکل‌های ۳ – A و ۳ – B) اما بیش‌ترین مقدار این شاخص در آن تیمارها از کشت خالص کم‌تر بود که دلیل آن را می‌توان در تراکم کم‌تر کاشت و در نتیجه تولید ماده خشک کم‌تر در واحد سطح زمین در کرت‌ها جستجو کرد. از طرفی، دلیل سپری کردن زمان کمتر در رسیدن گیاهان به حداکثر مقدار سرعت رشد محصول در تیمارهای کشت مخلوط در مقایسه

با کشت خالص را نیز شاید بتوان به تعاملات بین گونه‌های مخلوط و همچنین، تغییر در فراهمی منابع مورد احتیاج رشد گیاهان از جمله نور، آب و دما نسبت داد. سرعت رشد محصول بسته به تراکم گونه‌های مورد کشت در کشت مخلوط که مستقیماً بر رقابت بین گونه‌ها مؤثر است، تغییر می‌یابد. در این راستا راعی و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی اثر تداخل سورگوم بر سویا دریافتند که تراکم‌های ۴۰ و ۵۰ بوته سریع‌تر از تراکم‌های ۲۰ و ۳۰ بوته در مترمربع به حداکثر سرعت رشد محصول رسید و زودتر نیز حالت نزولی پیدا کرد. این محققان دلیل این امر را افزایش رقابت درون‌گونه‌ای بوته‌های سویا در تراکم‌های بالا دانستند (۲۸). از سویی دیگر، نور بخش و همکاران (۲۰۱۶) با تحقیقی که در آن به بررسی کشت مخلوط لوبیا و کنجد پرداخته بودند بیان داشتند از آن‌جا که جذب نور عامل اصلی در رشد و فتوسنتز گیاه است، به‌دلیل عدم ایجاد رقابت بین گونه‌ای برای جذب نور برای کنجد در کشت خالص این گیاه، فتوسنتز و به تبع آن فتوسنتز بیشتر از کشت مخلوط این گیاه با لوبیا بوده و به دنبال آن سرعت رشد افزایش یافته است (۲۶). در پژوهشی دیگر، بیش‌ترین سرعت رشد لوبیا در مخلوط با سیاهدانه، مربوط به تیمار کشت خالص بود و کم‌ترین میزان برای تیمار کشت مخلوط ردیفی با سیاهدانه به‌دست آمد (۳۵) که نشان‌دهنده اهمیت توجه به جنبه‌های رقابتی در زمان انتخاب گونه‌های مخلوط است.

سرعت اسیمیلاسیون خالص (NAR): میزان اسیمیلاسیون خالص عبارت است از سرعت ماده خشک تجمعی در واحد سطح برگ در زمان معین که معمولاً به صورت گرم در متر مربع (سطح برگ) در روز بیان می‌شود. این شاخص معیاری از کارایی فتوسنتزی برگ‌ها در جامعه گیاهی است که با استفاده از آن می‌توان جوامع گیاهی مختلف را با هم مقایسه کرد (۱۴).



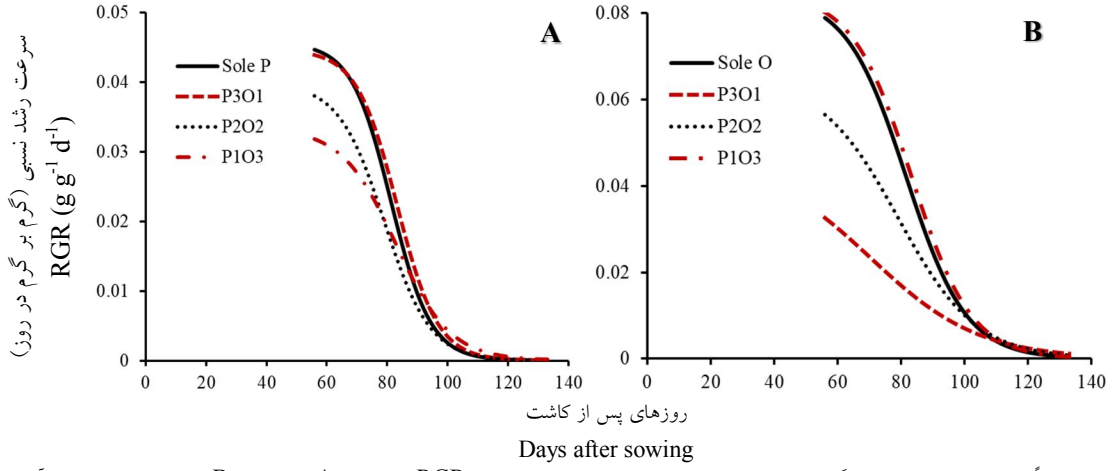
شکل ۵- تأثیر نسبت‌های مختلف جایگزینی در کشت مخلوط بر روند سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR) لوبیاسبز (A) و ریحان (B) در تیمارهای مختلف آزمایش.

Figure 5- Effect of different replacement ratios of intercropping on the trend of Net Assimilation Rate (NAR) in green bean (A) and basil (B) in different treatments of the experiment.

حداکثر سرعت اسیمیلاسیون خالص در گیاه لوبیاسبز در تیمار کشت خالص به میزان ۸/۳۴ گرم بر متر مربع در روز و حداقل میزان این شاخص در تیمار P1O3 به میزان ۳/۲۲ گرم بر متر مربع در روز بود (شکل۵-A). سرعت اسیمیلاسیون خالص ریحان در تیمار خالص بیش‌ترین (۸/۰۵ گرم بر متر مربع در

روز) و در تیمار P1O3 کم‌ترین (۵/۳۱ گرم بر متر مربع در روز) میزان خود را داشت (شکل ۵ – B). به‌طورکلی در طی دوره رشد گیاهان مورد بررسی، سرعت اسیمیلاسیون خالص در تیمارهای مخلوط نسبت به تیمار کشت خالص بیشتر بود و یا زمان رسیدن به نقطه اوج آن‌ها کوتاه‌تر بود. این امر نشان‌دهنده تأثیر مثبت کشت مخلوط بر بهبود کارایی فتوسنتزی برگ‌ها بود و می‌تواند موجب تولید بیشتر مواد فتوسنتزی و یا تجمع بیشتر مواد فتوسنتزی و ماده خشک گردد. به نظر می‌رسد شاخص سطح برگ و سرعت اسیمیلاسیون خالص بالا، به‌شرط ثابت بودن سایر شرایط برای تیمارهای مختلف می‌تواند منجر به دستیابی به تجمع بیشتر ماده خشک شود (۲۷).

سرعت رشد نسبی (RGR): سرعت رشد نسبی گونه‌های مورد مطالعه در تیمارهای مختلف و در طول فصل رشد با توجه به وجود اختلاف گیاهی گیاهان مورد بررسی، برای لوبیاسبز مقادیری بین ۰/۰۴ تا صفر گرم بر گرم در روز و برای ریحان ۰/۰۸ تا صفر گرم بر گرم در روز را شامل می‌شد. در ابتدای فصل رشد برای گیاه ریحان، تیمار P2O2 با میزان ۰/۰۸گرم بر گرم در روز بیش‌ترین و در تیمار P1O3 با میزان ۰/۰۳ گرم بر گرم در روز کم‌ترین سرعت رشد نسبی را داشت (شکل ۴ - A). برای گیاه لوبیاسبز بیش‌ترین سرعت رشد نسبی در نقطه اوج، متعلق به تیمار خالص (۰/۰۴۴ گرم بر گرم در روز) و کم‌ترین میزان این شاخص به تیمار P3O1 (۰/۰۳۱ گرم بر گرم در روز) مربوط بود (شکل ۴–B).



شکل ۴- تأثیر نسبت‌های مختلف جایگزینی در کشت مخلوط بر روند سرعت رشدنسبی (RGR) لوبیاسبز (A) و ریحان (B) در تیمارهای مختلف آزمایش.

Figure 4- Effect of different replacement ratios of intercropping on the trend of relative growth rate (RGR) in green bean (A) and basil (B) in different treatments of the experiment.

سرعت رشد نسبی بیانگر وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی است، اما با این وجود توصیف‌کننده یک سرعت رشد ثابت در طول یک چارچوب زمانی مشخص نیست و می‌تواند با مقادیر لحظه‌ای RGR متفاوت باشد (۱۴). به عنوان مثال، دو گیاه که دارای وزن اولیه نابرابر اما نسبت افزایش برابر در طول یک دوره زمانی یکسان هستند دارای سرعت رشد نسبی یکسانی هستند. بنابراین، سرعت رشد نسبی به تنهایی نمی‌تواند در تجزیه و تحلیل شرایط رشد گیاهان و به‌ویژه جامعه‌های گیاهی استفاده شود. بنابراین، توصیه محققان بر استفاده از شاخصی دیگر است که بتواند داوری درستی از رشد گیاه در کشتزار به‌دست دهد بنابراین، برای این کار استفاده از سرعت رشد محصول توصیه می‌شود.

عملکرد اقتصادی محصول: عملکرد اقتصادی گیاهان مورد مطالعه شامل وزن غلاف‌های تازه لوبیاسبز و وزن دانه‌های رسیده و خشک ریحان بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده، عملکرد محصول لوبیاسبز و ریحان از تیمارها اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد پذیرفت (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس عملکرد اقتصادی ریحان و لوبیاسبز در کشت خالص و کشت مخلوط جایگزینی

Table 4- ANOVA analysis of economic yield of basil in sole cropping and replacement intercropping

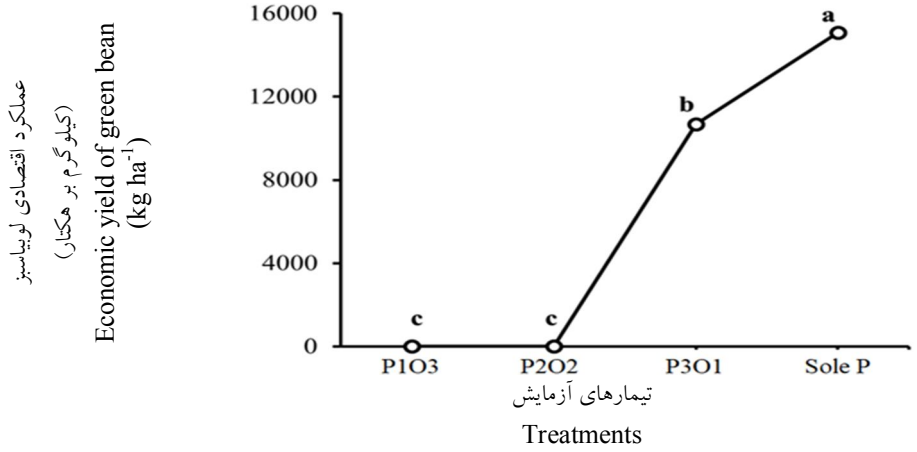
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	
		عملکرد لوبیاسبز The yield of green bean	عملکرد ریحان The yield of basil
بلوک Block	2	1488607^{ns}	96755^{ns}
تیمار Treatment	3	175567740^{**}	683633^{**}
خطا Error	6	4599365	36575
ضریب تغییرات (درصد) CV(%)		23.3	9.3

ns و ** به ترتیب به معنای غیرمعنی‌دار و معنی‌دار سطح احتمال یک درصد است.

"ns" and ** mean not significant and significant at probability level of 1%.

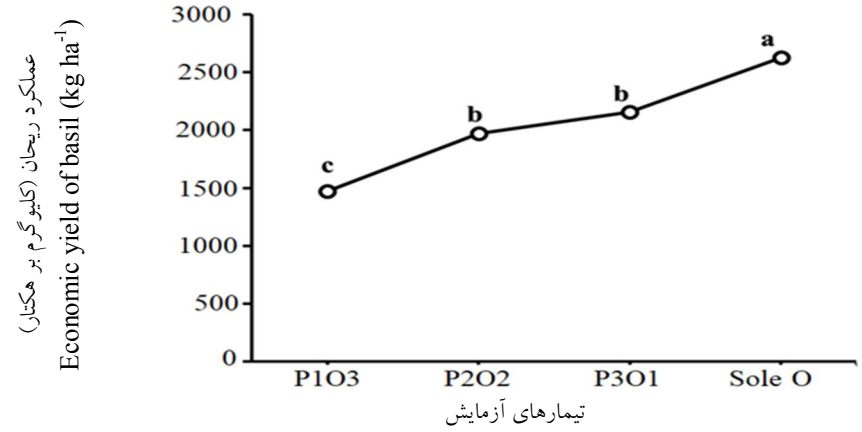
عملکرد غلاف سبز در تیمار P3O1 ۱۰۶۶۷/۴۱ کیلوگرم در هکتار بود که با تیمار خالص لوبیاسبز با مقدار ۱۵۰۸۰/۸۹ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری داشت و چنان که پیش‌تر نیز به آن اشاره شد، لوبیاسبز هیچ عملکرد اقتصادی در تیمارهای P1O3 و P2O2 به‌وجود نیامد (شکل ۶). با فرض این که کشت مخلوط هیچ کاستی یا مزیتی در عملکرد ایجاد نکند، انتظار می‌رود که عملکرد هر گیاه در کشت مخلوط جایگزینی با نسبت کاشت آن متناسب باشد اما در این آزمایش، به‌جز دو تیماری که در آن‌ها لوبیاسبز نسبت کاشت کمتر یا برابر با ریحان داشت، عملکرد لوبیاسبز در تیمار P3O1 که نسبت کاشت ۳ به ۱ داشت نیز ۴/۱۷- درصد نسبت به عملکرد مورد انتظار کاهش یافت که این امر نشان‌دهنده‌ی فشار رقابتی قابل توجه ریحان بر لوبیاسبز است.

بیش‌ترین اختلاف بین عملکرد اقتصادی به‌دست آمده و مورد انتظار برای ریحان در تیمارهای مخلوط مشاهده شده که برای تیمارهای P1O3، P2O2 و P3O1 به ترتیب ۹/۳۶+، ۴۹/۹۱+ و ۱۲۴/۳۲+ درصد بود (داده‌ها نمایش داده نشده‌اند). بهبود عملکرد از مقدار مورد انتظار در تیمارهای مخلوط ریحان می‌تواند به این دلیل باشد که مجموعه‌ای از عوامل افزاینده‌ی ظهور یافته در این تیمار کشت مخلوط که می‌تواند شامل کاهش فشار رقابت درون گونه‌ای ریحان برای دستیابی به منابعی هم‌چون نور، آب و مواد تغذیه‌ای، بهره‌مندی از نیتروژن تثبیت شده‌ی لوبیاسبز و ظهور دیگر اثرات سینرژیستی (۱) و موارد از این دست باشد، افزایش عملکرد محصول ریحان را در پی داشته است.



شکل ۶- روند تغییرات عملکرد لوبیاسبز در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی و با کشت خالص آن‌ها (حروف مشابه روی هر شکل نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است؛ LSD 5%).

Figure 6- The yield changes of green bean in different ratios of replacement intercropping and their sole cropping (same letters on each figure indicates insignificant difference, LSD 5%).

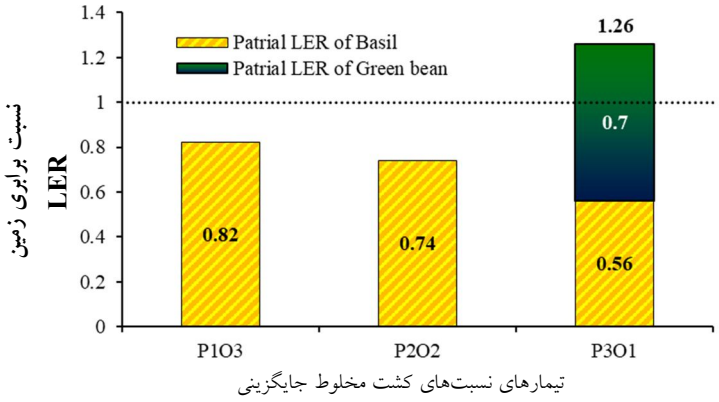


شکل ۷- روند تغییرات عملکرد ریحان در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی در مقایسه با کشت خالص آن‌ها (حروف مشابه روی هر شکل نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است، LSD 5%).

Figure 7- The yield changes of basil in different ratios of replacement intercropping in and their sole cropping (same letters on each figure indicates insignificant difference, LSD 5%).

کاهش عملکرد لوبیاسبز را می‌توان به سرعت کم تر گسترش کم کانوپی در اوایل فصل رشد و پایین بودن کارایی استفاده از نور و آب توسط این گیاه در مقایسه با گونه‌ی دیگر مرتبط دانست (۱۸). زعفریان و باقری (۲۰۱۴) بیان داشتند که بیش‌ترین عملکرد ریحان مربوط به کشت خالص این گیاه بود و با کاهش سهم ریحان در کشت مخلوط از عملکرد این گیاه کاسته شد (۳۹). در کشت مخلوط گندم با نخود نیز اگرچه عملکرد گندم به‌دلیل توانمندی‌های گندم همچون سیستم ریشه‌ای گسترده و قابلیت بالای جذب مواد غذایی افزایش یافت، به دلیل رقابت و تاثیر بازدارندگی گندم بر نخود، از تعداد گره و تثبیت نیتروژن نخود کاسته شده و عملکرد نخود کاهش یافت (۳۹). همچنین، در پژوهشی دیگر نیز گزارش شد که عملکرد نخود در کشت مخلوط با کتان در شرایطی که کتان با نسبت یک به سه، ۳۳ درصد فضا را به خود اختصاص داده بود به دلیل رقابت بین گونه‌های مخلوط و غلبه کتان بر نخود، کاهش پیدا کرد (۲).

نسبت برابری زمین (LER): با توجه به این‌که دو گونه مورد بررسی در کشت مخلوط حضور داشتند مقدار نظری قابل انتظار نسبت برابری جزئی برای هر گونه برابر با ۰/۵ خواهد بود که افزایش یا کاهش این شاخص از مقدار قابل انتظار نشان‌دهنده تأثیر مثبت یا منفی کشت مخلوط در استفاده هر گونه از زمین به‌منظور تشکیل عملکرد اقتصادی خواهد بود. نسبت برابری زمین جزئی لوبیاسبز در تیمارهایی که عملکردی اقتصادی ایجاد نکردند (تیمارهای P1O3 و P2O2) برابر با صفر بود و نسبت برابری زمین در تیمار P3O1 که لوبیاسبز نسبتی سه برابری در مقابل ریحان داشت، افزایشی ۴۰ درصدی از مقدار قابل انتظار داشت و به ۰/۷ رسید (شکل ۸)؛ این در حالی است که غلبه ریحان بر لوبیاسبز در دو تیمار P1O3 و P2O2 سبب بهبود قابل توجه نسبت برابری جزئی این گونه و افزایش قابل توجه به‌ترتیب ۶۴ و ۴۸ درصدی (نسبت برابری زمین جزئی ۰/۸۲ و ۰/۷۴) نسبت برابری زمین جزئی ریحان گردید. در مقایسه با این تیمارها، در تیمار P3O1 اگرچه نسبت برابری جزئی ریحان افزایش چندانی نداشت، اما بهبود شاخص مورد اشاره همچنان انجام پذیرفته و با مقدار ۰/۵۶، ۱۲ درصد افزایش یافت (شکل ۸). بنابراین، نسبت برابری زمین کل برای تیمارهای P1O3 و P2O2 برابر با مقادیر جزئی این شاخص برای ریحان و برای تیمار P3O1 ۱/۲۶ ثبت شد که بیانگر استفاده بیشتر ۲۶ درصدی گونه‌های مخلوط از زمین در این تیمار است. انتخاب گونه‌های مخلوط بایستی در جهتی انجام شود که رقابت تنها بین گونه‌های مخلوط با علف‌های هرز و ضمنا به نفع گونه‌های مخلوط ایجاد گردد. قنبری و همکاران (۲۰۱۰) در کشت مخلوط ذرت و کدو مشاهده کردند که ازنظر کنترل علف‌های هرز، کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص ذرت مؤثرتر بود و در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد کدو نسبت به کشت خالص ذرت بدون وجین، وزن خشک کل علف‌های هرز به میزان ۴۱ درصد کاهش یافت (۸). در پژوهش حاضر، اما هرچند علف‌های هرز و رقابت آن‌ها با گونه‌های مخلوط اندازه‌گیری نشد، اما به نظر می‌رسد رقابت بین گونه‌های مخلوط برای دستیابی به منابع اکولوژیکی (همچون فضای رشد، آب، تشعشع) سبب کاهش وزن خشک، و به موازات آن، عدم تشکیل عملکرد لوبیاسبز و در نتیجه کاهش قابل توجه نسبت برابری زمین کل در تیمارهای P1O3 و P2O2 شد.



شکل ۸- نسبت برابری زمین (LER) جزئی و کل در نسبت‌های مختلف (۱، ۲ و ۳) کشت مخلوط جایگزینی لوبیاسبز (P) و ریحان (O).

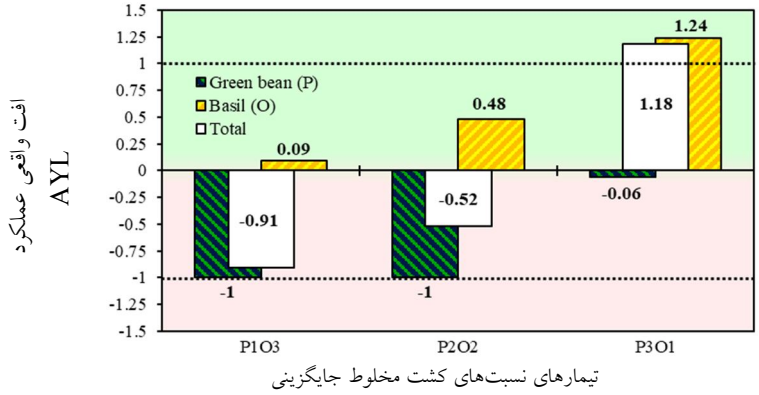
Figure 8- Partial and total LER of different ratios (1, 2 and 3) of replacement intercropping of green bean (P) and basil (O).

نتایج پژوهش علی‌زاده و همکاران (۲۰۱۰) که جهت مطالعه تأثیر کشت مخلوط ردیفی و نواری لوبیا قرمز و ریحان رویشی انجام شد نشان داد که کشت مخلوط ردیفی از طریق کاهش تراکم زیست‌توده علف‌های هرز و بنابراین، تغییر شرایط رشد به نفع هر دو گونه مخلوط شد. همچنین در پژوهش مورد اشاره هیچ گونه اثر رقابتی نیز بین گونه‌های مخلوط مشاهده نشده بود از این‌رو، بالاترین نسبت برابری زمین در کشت ردیفی به دست آمد (۳).

افت واقعی عملکرد (AYL): عدم تشکیل عملکرد اقتصادی لوبیاسبز در دو تیمار P1O3 و P2O2 به معنای اتلاف کامل عملکرد این گونه در این دو تیمار بود بنابراین مقادیر جزئی شاخص افت واقعی عملکرد در این دو تیمار برابر با ۱- بود. از طرفی اگرچه در بررسی نسبت برابری زمین جزئی لوبیاسبز در تیمار P3O1 نشان داد این شاخص در این تیمار بهبود ۴۰ درصدی پیدا کرده بود (شکل ۸). با این حال مقدار ۰/۰۶-محاسبه شده برای AYL جزئی لوبیاسبز بر این حقیقت تاکید می‌کند که حتی در این تیمار که لوبیاسبز نسبتی سه برابری با ریحان در کشت مخلوط داشت، اما -هرچند به مقداری ناچیز- تحت تأثیر منفی رقابت با ریحان و کاهش عملکرد ناشی از آن قرار گرفت (شکل‌های ۸ و ۹). کاهش یا سودمندی عملکرد واقعی، شاخصی است که اطلاعات حقیقی بیشتری را در مورد رقابت بین اجزای مخلوط و عکس‌العمل هر یک از گیاهان در نظام کشت مخلوط نسبت به شاخص‌های دیگر می‌دهد. علامت مثبت و منفی به ترتیب نشاندهنده افزایش و کاهش واقعی عملکرد کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌باشد (۶).

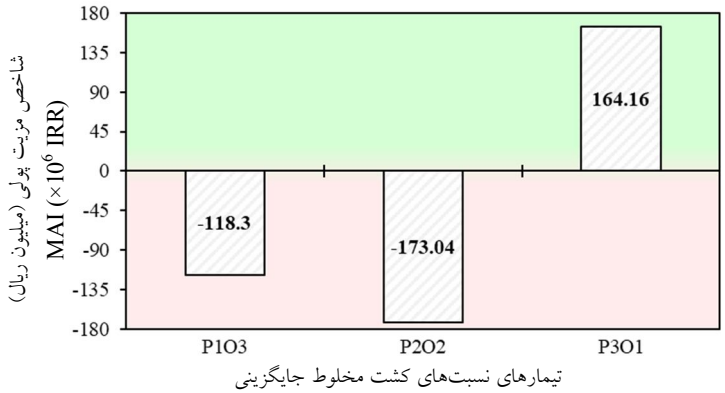
مقادیر AYL جزئی برای ریحان در تیمار P1O3 بسیار کم و برابر با ۰/۰۹+ و در تیمار P2O2 ۰/۴۸+ بود. مقادیر این شاخص در تیمار P3O1 برابر با ۱/۲۴ بود که نشان می‌دهد عملکرد واقعی ریحان در این تیمار ۲۴ درصد بیشتر از کشت خالص این گیاه بوده است (شکل ۹). در تیمارهای مختلف کشت مخلوط با کاهش نسبت کاشت ریحان، مقادیر شاخص افت عملکرد افزایش پیدا کرد که روندی کاملا مخالف با روند ذکر شده برای LER جزئی این گیاه بود. دلیل این امر را می‌توان به کارایی بهتر شاخص AYL نسبت به LER برای ارزیابی سودمندی اکولوژیکی کشت مخلوط است که این کارایی بهتر به‌خصوص در شرایط وجود رقابت بین گونه‌های مخلوط را با سهیم کردن درصد کاشت محصول در کشت مخلوط دارد. مقدار کل AYL تیمارهای کشت مخلوط نیز که مجموع مقادیر جزئی این شاخص برای گونه‌های مخلوط است در تیمار P1O3، P2O2 و P3O1 به ترتیب برابر با ۰/۹۱-، ۰/۵۲- و ۱/۱۸ به‌دست آمد که بیانگر نامناسب و ناکارا بودن کشت مخلوط در دو تیمار نخست و سودمندی آن در تیمار سوم، به میزان ۱۸ درصد بود (شکل ۹). در پژوهشی، شاخص‌های رقابت در کشت مخلوط گندم و نخود مورد بررسی قرار گرفت که در آن، شاخص‌های افت عملکرد واقعی و سودمندی کشت مخلوط در گندم مثبت و در نخود منفی بود. از این‌رو، یافته‌های ایشان نشان داد که کشت مخلوط گندم و نخود سبب کاهش عملکرد واقعی و سودمندی کشت مخلوط شد (۱۸). در پژوهشی دیگر، کشت مخلوط پنبه با بادام‌زمینی و سورگوم سبب اگرچه موجب بهبود عملکرد واقعی جزئی بادام‌زمینی و سورگوم گردید اما به‌دلیل غالبیت این گیاهان به پنبه در کشت مخلوط، شاخص افت عملکرد واقعی جزئی پنبه کاهش یافته و منفی شد (۲۲). همچنین، یافته مشابهی نیز توسط ییلماز و همکاران (۲۰۰۸) در خصوص مقادیر مثبت شاخص افت واقعی عملکرد برای لوبیا و مقادیر مثبت این شاخص برای ذرت گزارش شد (۳۸). در پژوهشی

دیگر نیز، در یک سامانه کشت مخلوط جایگزینی با نسبت‌های مختلف نخود فرنگی و کلزا در شرایط مصرف کود شیمیایی، شاخص افت واقعی عملکرد جزیی برای نخود فرنگی منفی و برای کلزا مثبت بود و این دو مقادیر در محاسبه شاخص افت عملکرد کل با پوشانیدن اثر یکدیگر سبب عدم ایجاد هرگونه مزیتی در تیمارهای کشت مخلوط شد (۳۰).



شکل ۹- افت واقعی عملکرد (AYL) جزئی و کل در نسبت‌های مختلف (۱، ۲ و ۳) کشت مخلوط جایگزینی لوبیاسبز (P) و ریحان (O).

Figure 9- Partial and total AYL of different ratios (1, 2 and 3) of replacement intercropping of green bean (P) and basil (O).



شکل ۱۰- اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی لوبیاسبز و ریحان و کشت خالص بر نسبت برابری زمین (LER) بر اساس عملکرد اقتصادی.

Figure 10- The effect replacement intercropping patterns of green bean and basil on the land equivalent ratio (LER) based on their economic yield.

شاخص مزیت پولی (MAI): با توجه به نحوه محاسبه شاخص مزیت پولی (رابطه ۱۰) تیمارهای کشت مخلوط تنها زمانی به کشت خالص گونه‌های مخلوط مزیت دارند که دارای مزیت اکولوژیک (LER>۱) نیز باشند (۱۷). از این‌رو، مزیت پولی تنها در تیمار P3O1 و به میزان ۱۶۴/۱۶ میلیون ریال نسبت به کشت خالص مزیت داشت (شکل ۱۰). قابلیت رقابت کم لوبیاسبز در مقابل ریحان و از دست رفتن امکان تولید محصول اقتصادی در برخی تیمارهای کشت مخلوط و نقصان عملکرد در تیماری که ریحان با حداقل نسبت کاشته شده بود (P3O1) در کنار اختلاف قابل توجه و ارزش پنج برابری ریحان در برابر لوبیاسبز را می‌توان از دلایلی ذکر کرد که در اغلب تیمارها نه تنها کشت مخلوط مزیتی نسبت به

کشت خالص نداشته بلکه سبب کاهش بهره اقتصادی و بنابراین، منفی شدن شاخص مزیت پولی نیز شدند. در پژوهشی کشت مخلوط باقلا با نعنا با نسبت ۱:۱ موجب منفی شدن شاخص مزیت پولی شد. محققین دلیل این امر در پژوهش خود را عدم استفاده بهتر در دسترس این دو گیاه در این نسبت کشت در مقایسه با کشت خالص آن‌ها و بنابراین کاهش نسبت برابری زمین به زیر مقدار نسبت یک و همچنین، کاهش ازدحام نسبی گیاهان به‌دلیل ایجاد رقابت بین‌گونه‌ای عنوان کردند (۴).

نتیجه‌گیری کلی

بررسی شاخص‌های رشدی نشان داد کشت مخلوط ریحان با لوبیاسبز سبب بهبود رشد این گیاه دارویی شد با این که هر دو گیاه شاخص سطح برگ، ماده خشک تجمعی و سرعت رشد محصول در کشت خالص به دلیل بیشتر بودن تراکم آن‌ها از سایر تیمارها بیشتر بود ولی سرعت رشد نسبی و سرعت اسیمیلاسیون خالص در تیمارهای مخلوط نیز بهبود یافته بود. گیاه لوبیاسبز در رقابت بین گونه‌ای توسط ریحان مغلوب شد و تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد لوبیاسبز در مخلوط با ریحان هیچ عملکرد اقتصادی ایجاد نکردند. حداکثر ماده خشک تجمعی در بین تیمارهای مختلف در تیمار خالص ریحان (۱۶۵۴ گرم در متر مربع) و در تیمارهای مخلوط جایگزینی به تیمار P3O1 (۱۳۳ روز پس از سبز شدن) و حداقل میزان ماده خشک تجمعی در تیمار P3O1 (۴۴ گرم در متر مربع) اختصاص یافت. هم‌چنین حداکثر شاخص سطح برگ در تیمار خالص لوبیاسبز (۳/۴) مشاهده شد. بیش‌ترین سرعت رشد محصول در تیمار خالص لوبیاسبز (۲۰/۵۶ گرم در متر مربع در روز) و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار (۰/۵ گرم در متر مربع در ورز) بود. بررسی عملکرد اقتصادی ریحان در تیمارهای مختلف نشان داد که بیشترین عملکرد در کشت خالص به دست آمد که دلیل آن تراکم بیشتر تیمار خالص نسبت به سایر تیمارهای مخلوط جایگزینی است ولی بیش‌ترین اختلاف بین عملکرد اقتصادی به‌دست آمده و مورد انتظار برای ریحان در تیمارهای مخلوط مشاهده شد که برای تیمارهای P1O3، P2O2 و P3O1 به ترتیب ۹/۳۶+، ۴۹/۹۱+ و ۱۲۴/۳۲+ درصد بود. نسبت برابری زمین و شاخص‌های اقتصادی در تیمار P3O1 نسبت به کشت خالص بهبود داشت اما در تیمارهایی که نسبت کاشت ریحان برابر یا بیشتر از لوبیاسبز بود به‌دلیل غلبه ریحان بر لوبیاسبز، این نسبت کاهش پیدا کرد. افت واقعی عملکرد برای ریحان به مراتب کمتر از لوبیاسبز بود. مقدار کل این شاخص در دو تیمار P1O3 و P2O2 که لوبیاسبز عملکردی نداشت، منفی و برابر با ۰/۹۱- و ۰/۵۲- بود و در تیمار P3O1 با ۱۸ درصد بهبود نسبت به کشت خالص به ۱/۱۸+ رسید. شاخص مزیت پولی نیز تنها در تیماری که نسبت برابر زمین کل بیشتر از یک داشت (P3O1) مثبت و برابر با ۱۶۴/۱۶ میلیون ریال نسبت به کشت خالص هر دو گونه مخلوط بود. بر اساس نتایج این آزمایش، به‌طور کلی کشت مخلوط ریحان با لوبیاسبز به‌خصوص در شرایطی که نسبت کاشت این دو گیاه برابر و یا نسبت کاشت ریحان بیشتر از لوبیاسبز باشد نمی‌تواند کارایی اکولوژیک و اقتصادی داشته باشد. بنابراین، توصیه می‌شود جهت بهبود وضعیت رشد ریحان از گیاه دیگری که با نیچ اکولوژیک این گیاه تداخل ندارد استفاده گردد و استفاده از لوبیاسبز برای کشت مخلوط با ریحان تنها در صورتی انجام شود که نسبت کاشت آن با ریحان کم باشد. مطالعاتی که برافزایش تولید و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط تمرکزیافته است اطلاعات مفیدی را در این زمینه به دست می‌دهد، اما انجام تحقیقات بیشتر که به درک

روابط متقابل بین گونه‌ها و مکانیسم‌هایی که منجر به سودمندی کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص می‌شود نیز از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. بنابراین، طراحی آزمایشات و پژوهش‌های دیگری که در جهت شناسایی و درک مکانیسم‌های مورد اشاره انجام شود می‌تواند در تکمیل اطلاعات و دانسته‌های حاصل از این تحقیق مفید واقع گردد.

Refrences

1. Abdollahpour, K., Nassiri Mahallati, M., and Khorramdel, S. 2020. Effect of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and black seed (*Nigella sativa* L.) additive intercropping on yield and yield components. IR. J. Field Crops Res. 18: 1. 31-47. (In Persian)
2. Ahlawat, I.P.S., and Gangaiah, B. 2010. Effect of land configuration and irrigation on sole linseed (*Linum usitatissimum*) intercropped chickpea (*Cicer arietinum*). Indian J. Agric. Sci. 80. 250-253.
3. Alizadeh, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2010. Evaluation of radiation use efficiency of intercropping of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and herb sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). J. Agroecol.2: 1. 85-94. (In Persian)
4. Amani Machiani, M., Javanmard, A. Nasiri, Y., and Morshedloo, M.R. 2017. Advantage of peppermint (*Mentha piperita* L.) and Faba Bean (*Vicia faba* L.) Intercropping in different cropping patterns. J. Agri. Sci. and sustainable prod (SAPS). 27: 3. 45-62. (In Persian)
5. Bagheri, M., Zaefarian, F., Akbarpour, V., Asadi, G.A., and Bicharanlou, B. 2012. Assessment of growth indices of soybean, vegetative sweet basil and borage in intercropping different ratios. J. of Plant Prod. Res. (JOPPR). 19: 3. 1-26. (In Persian)
6. Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S.S. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive experiment: Eur J Agron. 24. 325-332.
7. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2017. The future of food and agriculture; Trends and challenges, Annual report. FAO. 180p.
8. Ghanbari, A., Ghadiri, H., Ghaffari Moghaddam, M., and Safari, M. 2010. Investigation of intercropping of corn (*Zea mays* L.) and squash (*Cucurbita sp*.) and its effect on weed control. IR. J. Crop Sci. 41:1. 43-55. (In Persian)
9. Gill, S., Abid, M., and Azam, F. 2009. Mixed cropping effects on growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.). Pak. J. Bot. 41. 1029-1036.
10. Hirpa, T. 2014. Response of maize crop to spatial arrangement and staggered interseeding of haricot bean. Environ. Int. 3:3. 126-138.
11. Hoffmann, C.M. 2019. Importance of canopy closure and dry matter partitioning for yield formation of sugar beet varieties. J. Field Crops Res. 236. 75-84.
12. Hong, Y., Berentsen, P., Heerink, N., Shi, M., and Werf, W. 2019. The future of intercropping under growing resource scarcity and declining grain prices - A model analysis based on a case study in Northwest China. J. Agric. Syst. 176. 102661.
13. Khorramdel, S., Siyahmargooi, A., and Mahmoodi., G. 2016. Effect of replacement and additive intercropping series of ajowan with bean on yield and yield components. J. Crop Prod. 9:1. 1-24. (In Persian)
14. Koocheki, A., and Sarmadniya, G.H. 2013. Crop physiology. JDM Press. Mashhad, Iran. 400p. (In Persian)
15. Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M., Khoramdel, S., Anvarkhah, S., Sabet Teimouri, M., and Sanjani, S. 2010. Evaluation of growth indices of hemp (*Cannabis sativa* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.) in intercropping with replacement and additive series. J. Agroecology. 2:1. 27-36. (In Persian)
16. Lal, B., Rana, K., Rana, D., Shivay, Y., Sharma, D., Meena, B., and Gautam, G. 2019. Biomass, yield, quality and moisture use of Brassica carinata as

influenced by intercropping with chickpea under semiarid tropics. J. Saudi Soc. Agric. Sci. 18. 61-71.
17. Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A., and Damalas, C.A. 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. Agron. Res. 34. 287-294.
18. Mashhadi, T., Nazari Moghaddam, A., and Sabouri, H. 2015. The investigation of competition indices in intercropping of wheat (*Triticum aestivum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) under nitrogen consumption. J. Agroecol. 7:3. 344-355. (In Persian)
19. Meshkani, J., Kafi, M., Khorramdel, S., and Moallem Benhangi, F. 2019. Effect of intercropping rates of cumin (*Cuminum cyminum* L.) and Persian shallot (*Allium altissimum* Regel.) on their growth indices. J. Agroecology. 11:2. 543-560. (In Persian)
20. Mostafavi, M., 2014. The effect of chemical and biological fertilizers on quantitative and qualitative yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) in Mashhad climate (M.Sc. Thesis). Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian)
21. Mostafavi, M., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2018. Growth and Phenology Analysis of Sesame (*Sesamum indicum* L.) under Biological and Chemical Nutritional Sources. IR. J. Field Crops Res. 16: 1. 15-34. (In Persian)
22. Muhammad, A., Umer, E.M., and Karim, A. 2008. Yield and competition indices of intercropping cotton (*Gossypium hirsutum* L.) using different planting patterns. Tarim Bilim Derg j Agric Sc. 14. 326-333.
23. Naghipoor Dehkordi, P., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Khorramdel, S. 2016. Evaluation of growth indices for Black Seed, Marigold and Borage as medicinal plants at intercropping in replacement series. J. Agroecol. 6: 2. 179-199. (In Persian)
24. Neamatollahi, E., Jahansuz, M., Mazaheri,D., and Bannayan, M. 2013. Intercropping. J Sust Agric Rev. 12: 119-142.
25. Nobahar, A., Mostafavi Rad, M., and Ghazi Pirkouhi, M. 2014. Effect of plant density and planting pattern on quantitative and qualitative yield of two cultivar of basil. J. Crop Prod. 7: 1. 63-77. (In Persian)
26. Nurbakhsh, F., Koocheki, A. R., and Nassiri Mahallati, M. 2016. Effects of planting pattern and seed ratio on growth indices of intercropped sesame (*Sesamum indicum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). J Agroecol. 3: 1. 111 -123. (In Persian).
27. Pouramir, F., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Ghorbani, R. 2010. Assessment of sesame and chickpea yield and yield components in the replacement series intercropping. IR. J. Field Crops Res. 8: 5. 747-757. (In Persian)
28. Raei, Y., Bolandnazar, S.A., and Dameghsi, N. 2011. Evaluation of common bean and potato densities effects on potato tuber yield in mono-cropping and intercropping systems. Agric. Sci. 21: 2. 131-142. (In Persian)
29. Raei, Y., Ghasemi Golazani, K., Javashir, A., Aliari, H., and Mahammadi, A. 2008. The effect of plant density on mixed soybean (*Glycine max* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivation. Agric. Sci Technol. 45:1. 35-44. (In Persian)
30. Rahimpour, M., and Fallah, S. 2018. Effect of organic and chemical fertilizers on growth and yield of green basil *(Ocimum basilicum* L.). J. Agroecol. 10: 1. 146-159. (In Persian)
31. Rahmati, E., Khalesro, SH., and Heidari, GH. 2020. Improving quantitative and qualitative yield of black cumin (*Nigella sativa* L.) in intercropping with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). J. Agron. 11: 4. 1261-1273. (In Persian)
32. Rameshjan, Y., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Khorramdel, S. 2021. Effect of different intercropping ratios of three bean ecotypes as replacement series on their physiological Indices. J. Field Crops Res. 18:4. 385-399. (In Persian).
33. Ranjbar, F. 2012. Assessment of growth indices and yield of intercropped fennel (*Foeniculum vulgar*), sesame (*Sesamum indicum*) and bean (*Phaseolus vulgaris*)

(M.Sc. Thesis). Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad.

34. Rezaei-Chiyaneh, E. 2016. Evaluation of quantitative and qualitative traits of black cumin (*Nigella sativa* L.), and basil (*Ocimum basilicum* L.) in different intercropping patterns with bean (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Agron. 8: 2. 263-280. (In Persian)
35. Valizadeh, S. 2017. Evaluation of agronomic criteria of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping with some medicinal plants (M.Sc. Thesis). Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad.
36. Van Buskirk, J., Cereghetti, E., and Hess, J.S. 2017. Is bigger really better? Relative and absolute body size influence individual growth rate under competition. Ecol. Evol. 7: 11. 3745-3750.
37. Verret, V., Pelzer, E., Bedoussac, L., and Jeuffroy, M. 2020. Tracking on-farm innovative practices to support crop mixture design: The case of annual mixtures including a legume crop. Eur J. Agron. 115: 1-12.
38. Yilmaz, S., Atak, M., and Erayman, M. 2008. Identification of advantages of maize-legume intercropping over solitary cropping through competition indices in the East Mediterranean region. Turk J. Agric for. 32: 111-119.
39. Zaefarian, F., and Bagheri Shirvan, M. 2014. Effect of intercropping different ratios on yield of soybean, sweet basil and borage. J. Crops Improv. 16:1. 197-214. (In Persian).