نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴ شماره ۴ / زمستان ۱۴۰۳/ صفحات ۱۶-۱

Evaluation of Radiation Use Efficiency and Yield in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and Lathyrus (*Lathyrus sativus L.*) Intercropping

Amin Yari[1], Farzad Mondani[2*], Alireza Bagheri[3], Hamid Reza Chaghazardi[4]

Received: 24 June 2023 Accepted: 09 November 2023
1- MSc student of Agro ecology, Dept. of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran.
2-Assoc. Prof., Crop Ecology, Dept. of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran.
3- Assist. Prof., Weed Science, Dept. of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran.
4- Assist. Prof., Crop Ecology, Dept. of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran.
*Corresponding Author Email: f.mondani@razi.ac.ir

Abstract

Objectives: The objectives of this study were evaluation of radiation absorption and use efficiency, and finally grain yield of Safflower and Lathyrus in intercropping system under dryland farming.

Materials and Methods: This experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications and five treatments at Razi University during 2018-2019. The experimental treatments included monoculture of Safflower, monoculture of Lathyrus, and three intercropping arrangements (25:75, 50:50, and 75:25 ratios of Safflower and Lathyrus, respectively).

Results: The leaf area index and radiation absorption in intercropping compared to monoculture increased by 19.3% and 50.7%, respectively. The maximum crop growth rate and relative growth ration of safflower in the conditions of intercropping than monoculture improved by 10.2% and 16.8%, respectively. The total dry matter accumulation in intercropping was higher by 7% compared to monoculture. In the conditions of intercropping, the light use efficiency was improved compared to monoculture. the highest grain yield of safflower was observed in monoculture, which of course was not significantly different with the treatment of 25:75 ratio and 50:50 treatment of safflower and Lathyrus.

Conclusion: Among the tested arrangements in this study, replacement intercropping of Safflower and Lathyrus with a ratio of 50:50 was superior in terms of growth indicators and yield, and was the most suitable arrangement of intercropping in the present experiment.

Keywords: Crop Growth Rate, Grain Yield, Leaf Area Index, Relative Growth Rate, Total Dry Weight

CC BY NC

DOI: 10.22034/saps.2023.57246.3073

ارزیابی کارایی مصرف نور و عملکرد در کشت مخلوط گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) با خلر (*Lathyrus sativus L.*)

امین یاری[۱]، فرزاد مندنی*[۲]، علیرضا باقری[۳]، حمید چقازردی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۱۸
۱-دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲-دانشیار اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۳- استادیار شناسایی و مبارزه با علف های هرز، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۴- استادیار اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
* مسئول مکاتبه: f.mondani@razi.ac.ir

چکیده

اهداف: هدف از این پژوهش ارزیابی اثر کشت مخلوط گلرنگ با خلر بر برخی شاخص‌های رشد، کارایی جذب و مصرف نور و نهایت عملکرد دانه در شرایط دیم بود.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و پنج تیمار در دانشگاه رازی در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص گلرنگ، کشت با نسبت ۲۵:۷۵ گلرنگ و خلر، کشت با نسبت ۵۰:۵۰ گلرنگ و خلر، کشت با نسبت ۷۵:۲۵ گلرنگ و خلر و کشت خالص خلر بودند.

یافته‌ها: میزان شاخص سطح برگ و به دنبال آن میزان جذب نور در کشت مخلوط نسبت به تک کشتی به ترتیب ۱۹/۳ و ۵۰/۷ درصد افزایش یافت. حداکثر سرعت رشد محصول و رشد نسبی گلرنگ در شرایط کشت مخلوط نسبت به کشت خالص به ترتیب ۱۰/۲ و ۱۶/۸ درصد بهبود یافت. تجمع ماده خشک کل در کشت مخلوط نسبت به تک کشتی ۷ درصد بالاتر بود. در شرایط کشت مخلوط کارایی مصرف نور در مقایسه با تک کشتی بهبود یافت. عملکرد دانه گلرنگ در کشت خالص بالاترین میزان را داشت که البته با تیمار ۲۵:۷۵ و ۵۰:۵۰ گلرنگ و خلر تفاوت معنی‌داری نداشت.

نتیجه‌گیری: در بین تیمارهای آزمایش الگوی کشت مخلوط جایگزینی گلرنگ:خلر با نسبت ۵۰:۵۰، از لحاظ شاخص‌های رشد، کارایی جذب و مصرف نور برتری داشت و مناسب‌ترین الگوی کشت مخلوط در آزمایش حاضر بود.

واژه‌های کلیدی: سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، شاخص سطح برگ، وزن خشک کل، عملکرد دانه

مقدمه

کشت مخلوط از جنبه‌های مثبت و مزایای زیادی برخوردار است که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: بهبود کارایی استفاده از منابع محیطی (به خصوص آب و عناصر غذایی)، مدیریت بهتر علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها، بهبود نفوذپذیری و کاهش فرسایش خاک، افزایش انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری بوم نظام کشاورزی در برابر تنش‌ها و نوسانات محیطی و در نهایت تنوع و ثبات تولید، افزایش درآمد مزرعه و کاهش ریسک تولید (ماراستونی و همکاران ۲۰۱۹). با توجه به روند رو به

رشد جمعیت و افزایش مصرف سرانه روغن و هزینه زیاد تأمین روغن مورد نیاز کشور از طریق واردات، توسعه کشت گیاهان دانه روغنی سازگار به شرایط اقلیمی کشور و همچنین گسترش برنامه‌های تحقیقاتی در این زمینه حائز اهمیت است.

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی است و معمولاً برای تولید روغن، رنگرزی، طعم غذا، مصارف پزشکی و خوراک دام کشت می‌شود (پیرتی ۲۰۱۷). حبوبات نیز نقش مهمی در تأمین نیازهای غذایی جامعه بشری و علوفه دام به ویژه کشورهای در حال توسعه دارند. پس از غلات دومین منبع مهم غذایی بشر حبوبات هستند که متعلق به خانواده بقولات و زیر خانواده پروانه‌آسایان هستند. در میان گیاهان زراعی متداول در مناطق خشک و نیمه خشک، حبوبات از جمله گیاهانی هستند که بیشتر در خاک‌های نه چندان حاصلخیز و اراضی حاشیه‌ای کشت می‌شوند. حبوبات بزرگ‌ترین منبع پروتئین گیاهی بوده، به طوری که تقریباً ۱۸/۵ درصد پروتئین گیاهی انسان از طریق حبوبات تأمین می‌گردد. تثبیت نیتروژن مولکولی علاوه بر رفع نیازهای خود گیاه، برای گیاهان که در تناوب سال بعد قرار می‌گیرد بسیار مفید است (داشادی و رسایی ۲۰۲۰).

کمبود علوفه یکی از مشکلات اصلی دامپروری در ایران است. توجه به کشت محصولات علوفه‌ای با شیوه علمی به ویژه به صورت کشت مخلوط از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. خلر (*Lathyrus sativus L.*) از بقولات علوفه‌ای فراموش شده به شمار می‌آید که نقش مهمی را در کشاورزی پایدار و تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاهان زراعی ایفا می‌کنند (مهدوی و همکاران ۲۰۱۰). خلر گیاهی است یک‌ساله از خانواده‌ی بقولات که سازگاری زیادی به عوامل نامساعد محیطی از جمله خشکی و سرما دارد. این گیاه مستعد تولید عملکرد خوب، حتی در بدترین شرایط اقلیمی و سازگار به فصول سرد می‌باشد. با توجه به دست‌یابی به مقادیر بالای عملکرد دانه و زیست‌توده در گیاهان پوششی، کاشت این گیاهان در کنار ردیف‌های گلرنگ از طریق افزایش تنوع زیستی در مزرعه، موجب استفاده مطلوب‌تر از نهاده‌ها و تولید محصول جانبی علوفه نیز می‌شود، که در کشاورزی پایدار هم مورد توجه است. با توجه به اهمیت گیاهان ذکر شده و لزوم استفاده از روش‌های نوینی چون کشت مخلوط در کشاورزی در این تحقیق کوشش شده است تا با بررسی برخی از ویژگی‌های رشدی نظیر کارایی جذب و مصرف تشعشع کشت مخلوط گلرنگ با خلر، بتوان از نتایج به دست آمده در مدیریت اراضی زراعی، به ویژه اراضی کوچک استفاده کرد، تا هم تنوع زیستی در اکوسیستم‌های کشاورزی را بالا برد و هم رشد فزاینده مصرف ترکیبات شیمیایی را کاهش داد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در شرایط دیم و در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۰ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۲۰ متر) در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و پنج تیمار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص گلرنگ، کشت با نسبت ۲۵:۷۵ گلرنگ و خلر، کشت با نسبت ۵۰:۵۰ گلرنگ و خلر، کشت با نسبت ۷۵:۲۵ گلرنگ و خلر و کشت خالص خلر بودند. در این تحقیق گلرنگ گیاه اصلی و خلر به‌عنوان گیاه جایگزین در نظر گرفته شدند. تراکم بوته برای گلرنگ ۴۰ بوته در متر مربع با فاصله ۵۰ و ۵ سانتی‌متر و برای خلر نیز ۱۶۰ بوته در متر مربع با فاصله ۲۵ و ۳ سانتی‌متر به ترتیب بین و روی ردیف در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که برای اجرای آرایش‌های کشت مخلوط جایگزینی ابتدا برای هر یک از گیاهان جایگزین، واحد گیاهی (به نسبت یک به چهار) محاسبه شد. قبل از اجرای آزمایش از خاک مزرعه به منظور تعیین ویژگی-های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌برداری صورت گرفت (جدول ۱). اطلاعات فاکتورهای مهم هواشناسی طی دوره اجرای آزمایش نیز برای منطقه مورد بررسی در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل انجام آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

شن	رس (٪)	سیلت	اسیدیته خاک	نیتروژن ٪	کربن آلی	پتاسیم قابل جذب (ppm)	فسفر قابل جذب (ppm)	بافت خاک
۲۲	۵۳	۲۵	۷/۸	۰/۰۱	۰/۹	۳۲۰	۱۱/۸	رسی-سیلتی

آماده‌سازی زمین شامل شخم با گاوآهن قلمی بود که در آبان ماه ۱۳۹۷ انجام شد. به منظور اجرای یک سیستم اکولوژیک کم‌نهاده تا انتهای دوره رشد گیاه از هیچ گونه نهاده شیمیایی استفاده نشد ولی از کود دامی پوسیده به میزان ۱۰ تن در هکتار استفاده شد. عملیات کشت گونه‌های مورد بررسی پس از وقوع اولین بارندگی مؤثر (بیست و هشتم مهرماه ۱۳۹۷) صورت گرفت. کشت نیز به صورت همزمان و پس از آماده‌سازی زمین در تاریخ دهم آبان‌ماه و با دست انجام گرفت. عملیات تنک کردن برای رسیدن به تراکم مورد نظر پس از سبز شدن و رسیدن بوته‌ها به مرحله شش برگی انجام شد. در این آزمایش برای گلرنگ رقم سینا و برای خلر توده محلی استفاده شد. بذرها از مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان کرمانشاه تهیه شد.

جدول ۲- مشخصات فاکتورهای هواشناسی منطقه مورد مطالعه در دوره آزمایش

ماه‌های سال	بارندگی	دمای حداقل	دمای حداکثر	دمای متوسط
آبان	۱۲۵/۳	۱/۳	۲۵/۵	۱۲/۳
آذر	۱۰۴/۰	-۲/۷	۱۷/۱	۷/۴
دی	۴۱/۵	-۱۰/۶	۱۶/۱	۴/۵
بهمن	۹۶/۳	-۷/۳	۱۵/۸	۵/۴
اسفند	۷۹/۱	-۵/۲	۱۸/۳	۶/۵
فروردین	۱۹۴/۸	-۱/۵	۲۳/۲	۱۰/۴
اردیبهشت	۱۷/۵	-۰/۱	۳۲/۷	۱۶/۷
خرداد	۰/۰	۱۰/۳	۳۷/۶	۲۶/۰
تیر	۰/۰	۱۱/۹	۴۲/۸	۳۰/۶
مرداد	۰/۰	۱۴/۴	۴۳/۵	۳۱/۳

به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های رشد و عملکرد اجزای مخلوط نمونه‌برداری‌ها در دو بخش تخریبی و نهایی انجام شد. به این صورت که ابتدا بخشی از هر کرت به منظور نمونه‌برداری نهایی کنار گذاشته و در بخش دیگر نمونه‌برداری‌های تخریبی انجام شد. نمونه‌برداری‌های تخریبی از ابتدای مرحله طویل شدن ساقه‌ها و در ۶ مرحله به فاصله هر ۱۵ روز یکبار انجام شد. در هر مرحله نمونه‌برداری ۵ بوته به تفکیک اجزای مخلوط از هر کرت به صورت کاملاً تصادفی برداشت شد و سپس نمونه‌ها برای اندازه‌گیری صفات موردنظر به آزمایشگاه منتقل گردید. به منظور اندازه‌گیری شاخص سطح برگ (LAI)، برگ‌های نمونه‌برداری شده در آزمایشگاه از ساقه‌ها جدا و سپس با استفاده از نرم‌افزار J Microvision محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری ماده خشکل کل (TDM) ابتدا نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون خشک شد و سپس توزین گردید. برای تخمین مقادیر ماده خشک کل روزانه از برازش رابطه ۱ استفاده شد (کوچکی و همکاران ۲۰۱۰).

$$TDM = \frac{a}{(1+b\times e^{(-c\times x)})} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

در اینجا TDM: ماده خشک کل بر حسب گرم در متر مربع، a: حداکثر ماده خشک کل، b: زمانی که روند تغییرات ماده خشکل کل وارد مرحله خطی می‌شود، c:

سرعت رشد نسبی و x: زمان بر حسب روز پس از سبزشدن است. برای محاسبه سرعت رشد محصول (CGR) از مشتق اول رابطه ماده خشک کل (رابطه ۱) استفاده شد و سرعت رشد نسبی (RGR) نیز از مشتق دوم رابطه مذکور محاسبه شد. به منظور محاسبه میزان جذب تشعشع و کارایی مصرف تشعشع، ابتدا میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی کرمانشاه محاسبه گردید. سپس تشعشع جذب شده روزانه برای هر گونه (گلرنگ و نخود) بر اساس روابط ۲ تا ۴ محاسبه شد (تسوبو و همکاران ۲۰۰۵).

$$Iabs = I0 * (1 - P) \times (1 - \exp(-KS * LAIS) + (-KP*LAIP) \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$IS = Iabs * ((KS * LAIS) / ((KS * LAIS) + (KP*LAIP)) \quad \text{(رابطه ۳)}$$

$$I_P = I_{abs} - I_S \quad \text{(رابطه ۴)}$$

در این روابط، I_{abc}: تشعشع جذب شده توسط کانوپی مخلوط (مگاژول بر متر مربع)، I_0: تشعشع رسیده به بالای کانوپی (مگاژول بر متر مربع)، P: ضریب انعکاس نور که معادل پنج درصد درنظر گرفته شد (مندنی و همکاران، ۲۰۱۹)، K_s: ضریب خاموشی گلرنگ که ۰/۴۸ درنظر گرفته شد (معصوم پور ۲۰۱۷)، K_p: ضریب خاموشی خلر که ۰/۷ درنظر گرفته شد، LAI_s: شاخص سطح برگ روزانه گلرنگ، LAI_p: شاخص سطح برگ روزانه خلر، I_S: تشعشع جذب شده توسط کانوپی گلرنگ و I_p: تشعشع جذب شده توسط کانوپی خلر است. برای برآورد مقادیر شاخص سطح برگ روزانه از برازش رابطه ۵ استفاده شد.

$$LAI = a + b * 4 * (\exp(-(x-c)/d))/(1+\exp(-(x-c)/d))^2 \quad \text{(رابطه ۵)}$$

در این رابطه، a: عرض از مبدا، b: زمان رسیدن به حداکثر LAI، c: حداکثر LAI، d: نقطه عطف منحنی و c: روز بعد از سبز شدن است.

کارایی مصرف تشعشع (RUE) بر حسب گرم بر مگاژول، از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک کل (گرم بر متر مربع) و میزان تشعشع جذب شده تجمعی (مگاژول بر متر مربع) محاسبه شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد نهایی، در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (به تفکیک گونه) محصولات زراعی مورد بررسی پس از حذف اثرات حاشیه‌ای بوته‌های موجود در هر واحد آزمایشی به مساحت ۱/۸ متر مربع (متر۶/۰×۳ متر) برداشت (در مورخ ۱۳۹۸/۰۵/۱۰ برای هر دو محصول) و پس از خرمن‌کوبی و بوجاری بوته‌ها، عملکرد دانه بر اساس کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد. همچنین جهت تعیین سودمندی کشت مخلوط در مقایسه با تک کشتی نسبت برابری زمین (LER[۱]) که یکی از رایج‌ترین شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط می‌باشد از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$LER = Yaa/Yab + Ybb/Yba \quad \text{(رابطه ۶)}$$

در اینجا Yab، عملکرد گونه a در کشت مخلوط، Yaa، عملکرد گونه a در کشت خالص، Yba، عملکرد گونه b در کشت مخلوط و Ybb، عملکرد گونه b در کشت خالص است. در پایان نیز به منظور آنالیز واریانس و مقایسه میانگین از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ و برای برازش معادلات و رسم گراف‌ها به ترتیب از نرم‌افزارهای Slidewrite و اکسل استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح آماری ۵ درصد انجام شد.

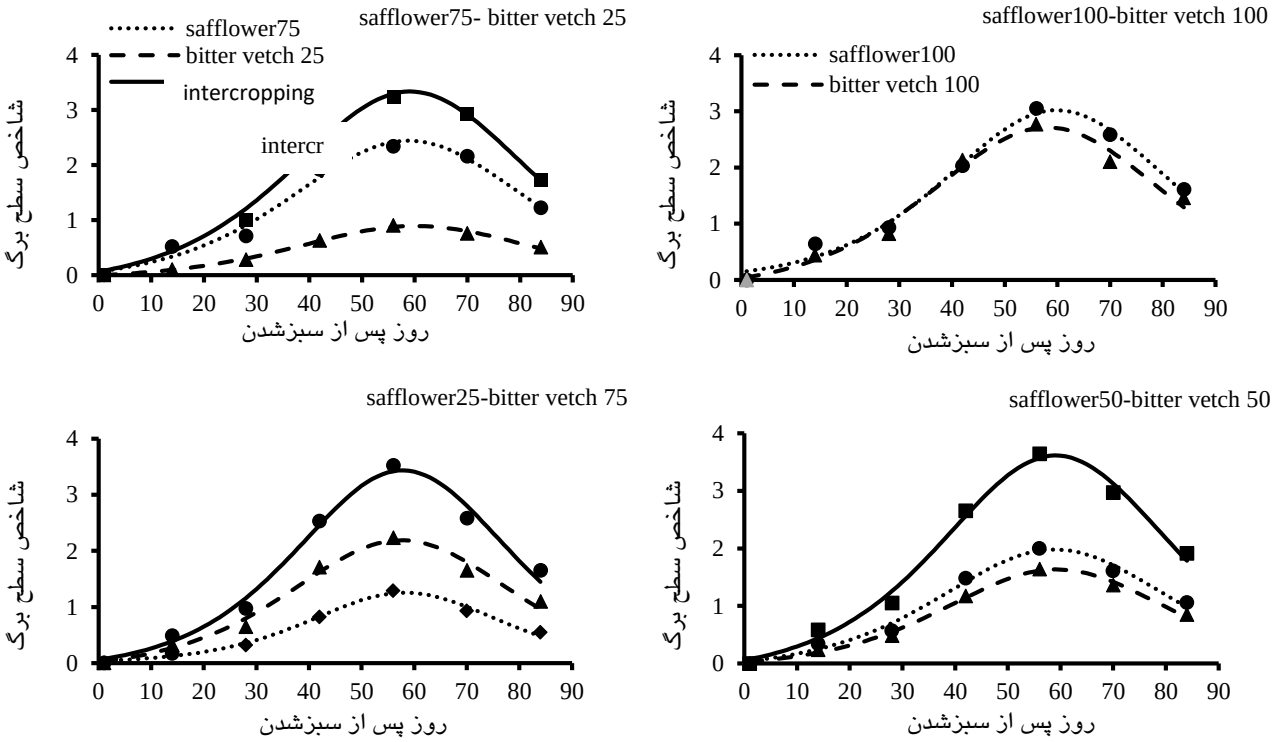
نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

نتایج این بررسی نشان داد که شاخص سطح برگ گلرنگ و خلر تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفتند (شکل ۱ و جدول ۳). صرف‌نظر از تیمارهای آزمایش

[۱] - Land Equivalent Ratio

شاخص سطح بـرگ در اوایـل دوره رشد به دلیل کوچک بودن بوته‌ها دارای سرعت رشد کندی بود و تا حدود ۳۰ روز پس از سبزشدن بصورت نمائی رشد نمود. از این تاریخ به بعد وارد مرحله رشد خطی خود گردید و در حدود ۵۰ الی ۶۰ روز پس از سبز شدن به حداکثر میزان خود رسید و سپس تا انتهای دوره رشد روند نزولی در پیش گرفت (شکل ۱).



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ کانوپی (گلرنگ+ خلر) و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

جدول ۳- مقادیر ضرایب معادله لجستیک پیک شاخص سطح برگ

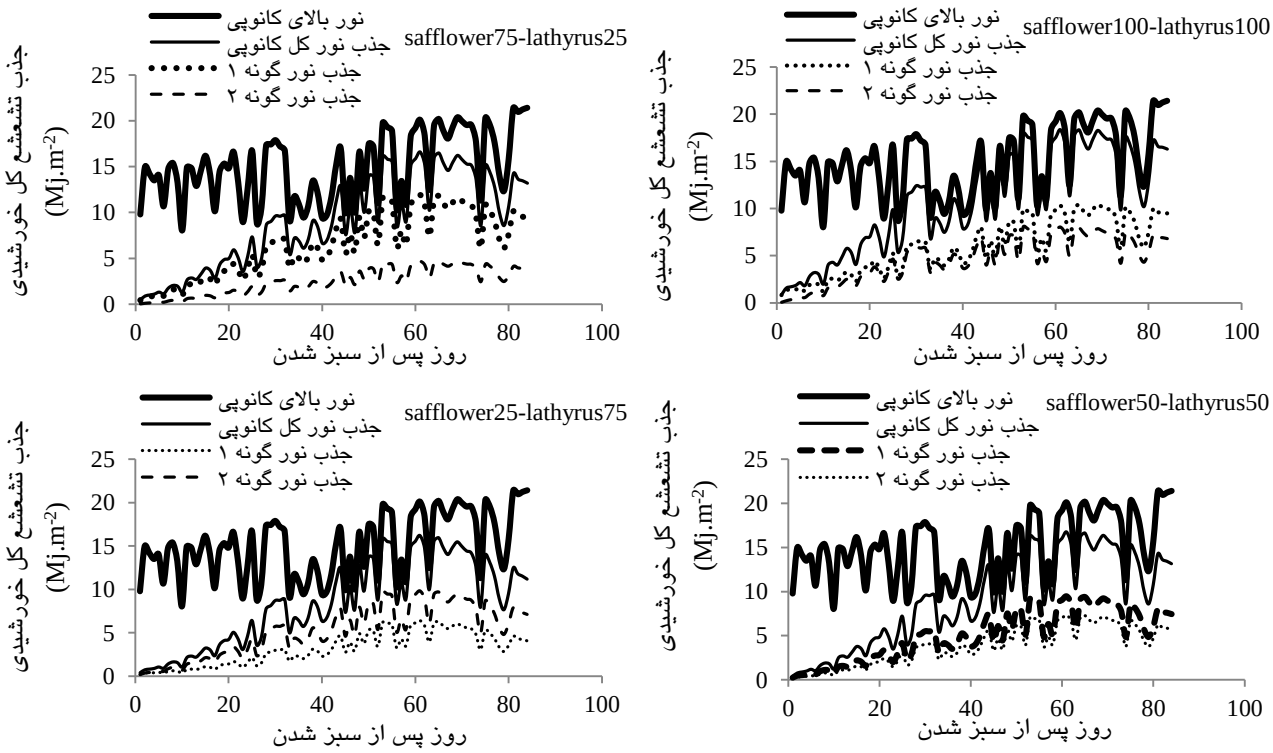
تیمار	ضرایب معادله				ضریب تشخیص
	a	b	c	d	(R2)
خالص گلرنگ	-۰/۰۳	۳/۰۵	۵۹/۸۷	۱۴/۲۲	۰/۹۸
گلرنگ ۲۵	-۰/۱۳	۲/۵۸	۵۸/۸۱	۱۵/۰۳	۰/۹۷
گلرنگ ۵۰	-۰/۱۱	۲/۰۹	۵۸/۹۱	۱۴/۷۵	۰/۹۱
گلرنگ ۷۵	-۰/۰۱	۱/۲۶	۵۸/۲۳	۱۲/۲۶	۰/۹۷
خالص خلر	-۰/۲۸	۲/۸۳	۵۷/۵۰	۱۵/۵۳	۰/۹۷
خلر ۲۵	-۰/۱۴	۲/۳۳	۵۷/۵۵	۱۴/۴۲	۰/۹۳
خلر ۵۰	-۰/۰۹	۱/۷۲	۵۹/۲۴	۱۴/۴۹	۰/۹۹
خلر ۷۵	-/۰۸	۰/۹۷	۶۰/۱۰	۱۵/۳۷	۰/۹۲
گلرنگ ۲۵: خلر ۷۵	-۰/۱۴	۳/۵۸	۵۷/۷۹	۱۳/۶۴	۰/۹۸
گلرنگ ۵۰: خلر ۵۰	-۰/۲۰	۳/۸۲	۵۹/۰۶	۱۴/۶۳	۰/۹۴
گلرنگ ۷۵: خلر ۲۵	-۰/۲۰	۳/۵۴	۵۹/۱۵	۱۵/۱۰	۰/۹۵

بیشترین شاخص سطح برگ گلرنگ در تیمار کشت خالص (حدود ۳) و کمترین آن در تیمار ۲۵ درصد گلرنگ و ۷۵ درصد خلر مشاهده شد. برای گیاه خلر نیز در بین نسبت‌های کشت بیشترین میزان این صفت مربوط به

کشت خالص به میزان ۲/۶ مشاهده شد. نتایج نشان داد که علی رقم اینکه در آرایش‌های مختلف کشت مخلوط شاخص سطح برگ هر دو گونه نسبت به کشت خالص آن‌ها پایین‌تر بود اما در مجموع شاخص سطح برگ کانوپی مخلوط در تمام آرایش‌های کاش بالاتر بود (شکل ۱). در بین تیمارهای کشت مخلوط بیشترین شاخص سطح برگ در آرایش ۵۰:۵۰ و به میزان ۳/۶ مشاهده شد که در مقایسه با تیمار کشت خالص گلرنگ حدود ۱۹/۳ درصد بهبود نشان داد. کاهش شاخص سطح برگ اجزای کشت مخلوط زیره سبز و موسیر نسبت به تک کشتی هر یک از آن‌ها در تحقیقی دیگر نیز گزارش شده است (کوچکی و سرمدنیا ۲۰۱۳). همچنین، در تحقیقی کاهش شاخص سطح برگ اجزای تشکیل دهنده کشت مخلوط سیاهدانه با همیشه بهار و گاوزبان اروپایی نسبت به تک کشتی آن‌ها مشاهده شد (نقی پور و همکاران ۲۰۱۶).

جذب تشعشع

مقدار تشعشع رسیده در بالای کانوپی و مقدار تشعشع جذب شده توسط گلرنگ و خلر در آرایش‌های مختلف مخلوط در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که روند جذب تشعشع از روند تغییرات شاخص سطح برگ تبعیت کرد، به طوری که در ابتدای دوره رشد، میزان جذب تشعشع پایین بود و در ادامه دوره رشد گیاه با افزایش شاخص سطح برگ جذب تشعشع نیز به تدریج افزایش یافت و در مرحله گلدهی به حداکثر مقدار خود رسید و سپس با کاهش شاخص سطح برگ روند جذب تشعشع نیز کاهش یافت (شکل ۲). در آرایش‌های مختلف کشت مخلوط اگرچه کاهش جذب تشعشع به تفکیک گونه مشاهده شد اما میزان تشعشع جذب شده در کانوپی مخلوط نسبت به کشت خالص گلرنگ و خلر به طور چشمگیری بیشتر بود. میزان تشعشع جذب شده تجمعی برای گیاه گلرنگ در کشت خالص حدود ۴۹۹ مگاژول بر متر مربع بود، این درحالی است که در آرایش ۵۰:۵۰ تشعشع تجمعی به میزان ۷۵۲ مگاژول بر متر مربع جذب گردید که در مقایسه با تیمار کشت خالص گلرنگ ۵۰/۷ درصد بالاتر بود.

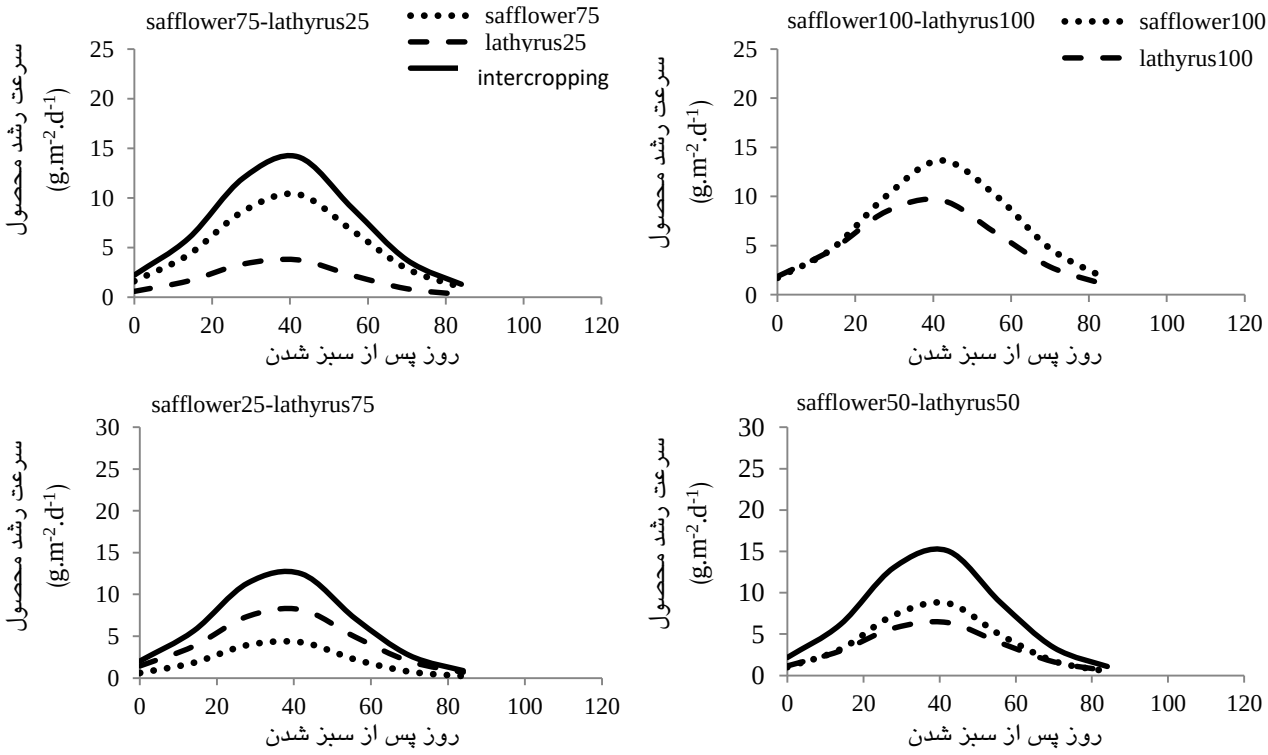


شکل ۲- روند جذب تشعشع خورشیدی کل (گلرنگ+ خلر) و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

به نظر می‌رسد علت بهبود جذب تشعشع توسط کانوپی در کشت مخلوط، بهبود شاخص سطح برگ کل کانوپی که ممکن است به دلیل افزایش تعداد و سرعت گسترش برگ‌ها باشد. افزایش شاخص سطح برگ سبب می‌شود که گیاه میزان مواد فتوسنتزی بیشتری را به سبب استفاده بیشتر از تشعشع خورشید تولید کند. به عبارت دیگر، با افزایش شاخص سطح برگ که خود مهم‌ترین اندام فتوسنتز کننده است، میزان مواد ساخته شده بیشتر می‌شود. به نظر می‌رسد گیاه خلر توانسته است با تثبیت بیولوژیک نیتروژن و افزایش حاصلخیزی خاک شرایط مطلوبی برای رشد شاخص سطح برگ و حصول جذب تشعشع بالای گلرنگ ایجاد کند. محققین دیگر نیز عنوان کرده‌اند کشت مخلوط گیاه گلرنگ با حبوبات می‌تواند به عنوان یکی از روش‌های مؤثر در راستای افزایش ظرفیت تولید و بهبود عملکرد این گیاهان مورد استفاده قرار گیرد (اسماعیلیان و امیری ۲۰۲۱). در مطالعه‌ای گزارش شد چنانچه در کشت مخلوط نسبت‌های کاشت مناسب در نظر گرفته شود، حداکثر جذب منابع در ردیف‌هایی خواهد بود که گیاهان به گونه‌ای در مجاورت یکدیگر قرار داشته باشند که اثرات تسهیل کنندگی دوگونه در کنار هم بروز نماید و با فاصله گرفتن از این ردیف‌ها، اثرات مثبت کشت مخلوط کاهش یابد (دوچن و همکاران ۲۰۱۷).

سرعت رشد محصول

نتایج نشان داد که صرفنظر از تیمارهای مورد بررسی سرعت رشد محصول پس از سبز شدن به تدریج شروع به افزایش یافتن نمود و در بازه زمانی ۴۰ تا ۵۵ روز بعد از سبزشدن به حداکثر مقدار خود رسید و بعد از این دوره به دلیل پیری برگ‌های پایین کانوپی و ریزش آنها که منجر به کاهش جذب نور گردید، وارد مرحله نزولی رشد شد که این روند تا انتهای دوره رشد گیاه ادامه داشت (شکل ۳).

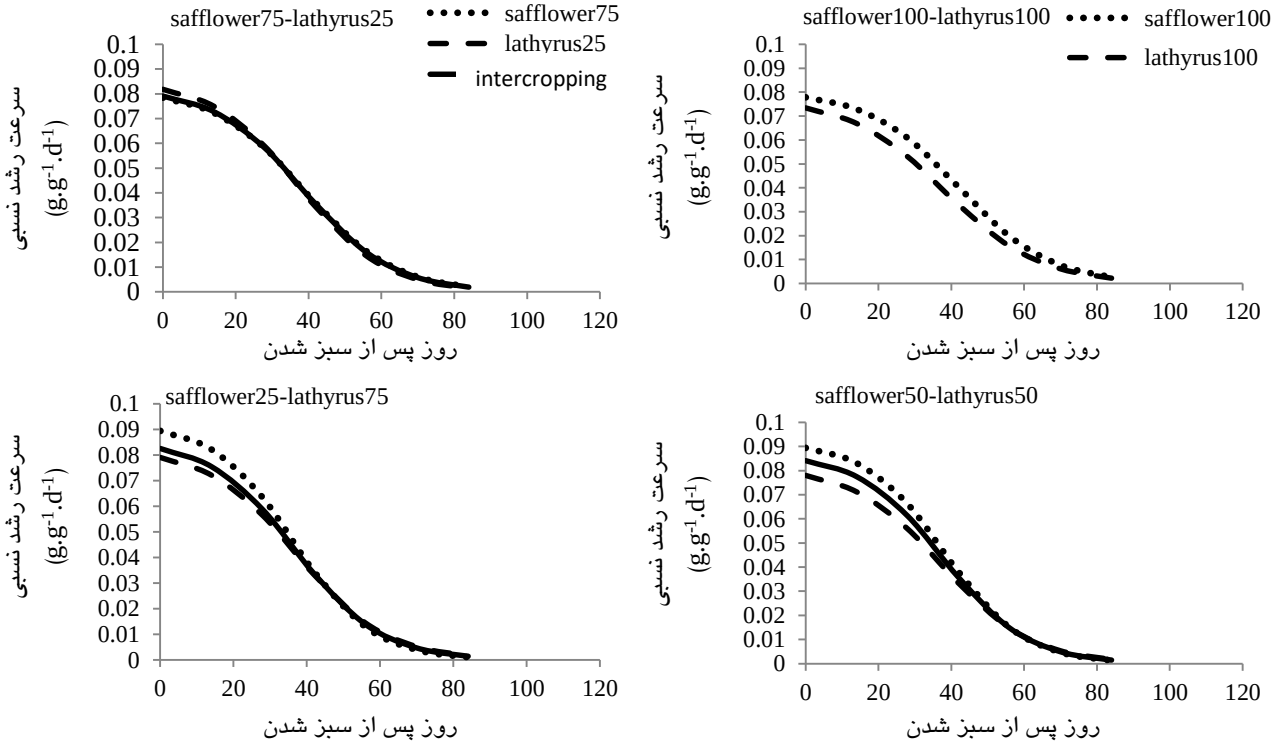


شکل ۳- روند سرعت رشد محصول (گلرنگ+ خلر) و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

سرعت رشد محصول در بین تیمارهای مورد بررسی متفاوت بود. بیشترین سرعت رشد محصول برای گیاه گلرنگ در کشت خالص به میزان ۱۳/۶ گرم در متر مربع در روز و برای گیاه خلر در کشت خالص به میزان ۹/۶ گرم در متر مربع در روز مشاهده شد. کمترین سرعت رشد محصول نیز به تیمار ۲۵ درصد گلرنگ و ۷۵ درصد خلر متعلق بود. با افزایش سهم گلرنگ در تیمارهای کشت مخلوط سرعت رشد محصول نیز افزایش نشان داد. در بین آرایش‌های کاشت مخلوط بیشترین سرعت رشد محصول در تیمار ۷۵ گلرنگ، ۲۵ خلر و به میزان ۱۵ گرم در متر مربع در روز مشاهده شد که در مقایسه با تیمار کشت خالص گلرنگ حدود ۱۰/۲ درصد بالاتر بود. روند تغییرات سرعت رشد محصول تابع روند جذب نور توسط کانوپی گیاه می‌باشد، این بدین معنی است در صورت ایجاد شرایطی که در آن میزان جذب نور توسط گیاه بهبود یابد، سرعت رشد محصول نیز افزایش خواهد یافت. به نظر می‌رسد در تیمارهای مختلف کشت مخلوط به علت معماری بهتر کانوپی و در نتیجه آن توزیع مطلوب‌تر نور در بین لایه‌های مختلف کانوپی، تشعشع خورشیدی رسیده به سطح کانوپی به شکل مطلوب‌تری توسط هر یک از اجرای کشت مخلوط در مقایسه با حالت تک کشتی آنها جذب شده که نتیجه آن بهبود سرعت رشد محصول گیاه است. در مطالعه‌ای دیگر نیز گزارش شد که سرعت رشد محصول در کانوپی کشت مخلوط ذرت و لوبیا در مقایسه با تک کشتی بهبود یافت (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۵).

سرعت رشد نسبی

روند تغییرات سرعت رشد نسبی نشان داد که صرفنظر از تیمارهای مورد بررسی بیشترین میزان این صفت در مراحل ابتدای رشد مشاهده شد و از حدود ۲۰ روز پس از سبز شدن با روند تندی تا انتهای دوره رشد کاهش یافت و نهایت به صفر رسید (شکل ۴).



شکل ۴- روند سرعت رشد نسبی (گلرنگ+ خلر) و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

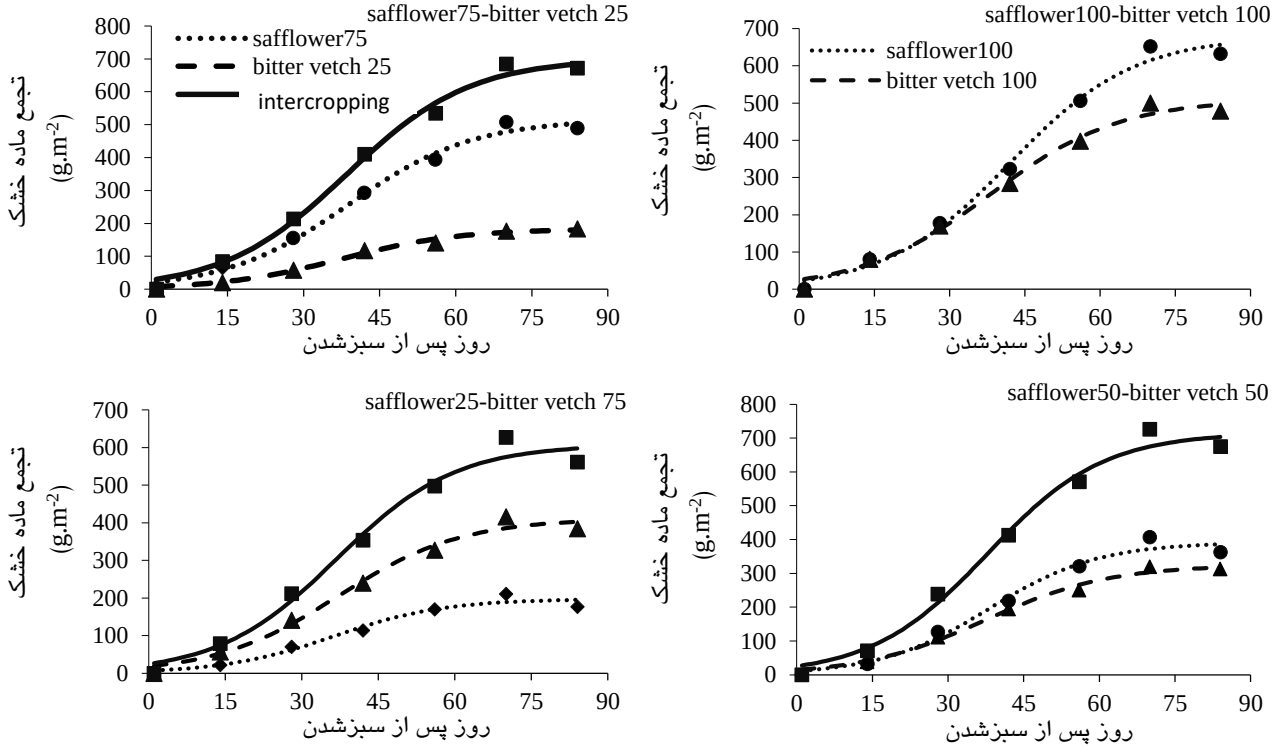
در شرایط کشت خالص گلرنگ و خلر میزان سرعت رشد نسبی به ترتیب به میزان ۰/۰۷۷ و ۰/۰۷۳ گرم بر گرم در روز مشاهده شد. کشت مخلوط منجر به بهبود سرعت رشد نسبی شد، به گونه‌ای که بیشترین میزان این صفت (۰/۰۹۰ گرم بر گرم در روز) مربوط به تیمار ۵۰ درصد گلرنگ و ۵۰ درصد خلر بود که نسبت به کشت خالص گلرنگ حدود ۱۶/۸ بالاتر بود. افزایش وزن خشک گیاه و به دنبال آن افزایش هزینه‌های نگهداری پیکر گیاه از یک سو و از سوی دیگر طی شدن مراحل نمو فنولوژیک گیاه و برخورد با روزهای گرمتر سال از دلایل اصلی کاهش سرعت رشد نسبی در طی دوره رشد گیاه می‌باشد. در چنین شرایطی ایجاد محیط مناسب‌تر جهت بهره‌مندی هرچه بیشتر و بهتر گیاه از منابع اطراف خود بدون شک منجر به کاهش شیب نزولی سرعت رشد نسبی خواهد شد که به نظر با مخلوط کشت کردن گیاهان تاحدودی بتوان به این نتیجه دست یافت. سرعت رشد نسبی ذرت و لوبیا در تیمارهای مختلف کشت مخلوط نواری در مقایسه با تک کشتی گیاهان مذکور نیز به علت اثرات تسهیل کنندگی لوبیا بر ذرت بهبود یافت (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۵). در تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است که کشت مخلوط تا حدودی منجر به بهبود سرعت رشد نسبی در گیاهان زراعی مختلف گردید (موسویان و سیدمحمدی ۲۰۱۵).

ماده خشک کل

در آغاز دوره رشد، میزان تجمع ماده خشک به دلیل کوچک بودن بوته‌ها، جذب نور کم و در نهایت سرعت فتوسنتز پایین در کمترین میزان خود بود اما با گذشت زمان و افزایش شاخص سطح برگ و بسته شدن کانوپی در حدود ۳۰ روز پس از سبز شدن، روند تغییرات وزن خشک کل نیز وارد مرحله رشد خطی خود گردید (شکل ۵ و جدول ۴). صرفنظر از تیمارهای مورد ارزیابی روند تجمع ماده خشک کل در ۷۵ روز پس از سبز شدن گیاه وارد مرحله رشد ثابت خود گردید که دلیل آن به نظر می‌رسد پیری و ریزش برگ‌های پایین کانوپی، کاهش جذب نور و در نهایت کاهش سرعت رشد محصول باشد. در شرایط تیمار کشت خالص ماده خشک تجمعی گلرنگ و خلر به ترتیب به میزان ۶۵۷ و ۴۹۶ گرم در متر مربع مشاهده شد (شکل ۵). ماده خشک کل گلرنگ و خلر در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به شرایط تک کشتی این گیاهان کمتر بود ولی مجموع ماده خشک کل کانوپی مخلوط بالاتر بود، به گونه‌ای که بیشترین میزان ماده خشک کل مربوط به تیمار ۵۰ درصد گلرنگ و ۵۰ درصد خلر به میزان ۷۰۳ گرم بر متر مربع بود.

جدول ۴- مقادیر ضرایب معادله لجستیک ماده خشک کل

تیمار	ضرایب معادله			ضریب تشخیص (R2)
	a	b	c	
خالص گلرنگ	۶۷۹/۶۲	۲۹/۵۶	۰/۰۸	۰/۹۳
گلرنگ ۲۵	۱۹۷/۴۸	۲۸/۸۸	۰/۰۹	۰/۹۷
گلرنگ ۵۰	۳۹۱/۵۹	۳۳/۶۴	۰/۰۹	۰/۹۸
گلرنگ ۷۵	۵۱۶/۱۸	۲۴/۱۴	۰/۰۸	۰/۹۹
خالص خلر	۳۴۶/۳۱	۱۷/۵۹	۰/۰۷	۰/۹۲
خلر ۲۵	۱۸۳/۷۷	۲۴/۲۰	۰/۰۸	۰/۹۷
خلر ۵۰	۳۲۴/۵۸	۲۱/۳۰	۰/۰۸	۰/۹۹
خلر ۷۵	۴۱۱/۲۸	۲۱/۶۳	۰/۰۸	۰/۹۸
گلرنگ ۲۵: خلر ۷۵	۶۰۷/۹۰	۲۳/۷۹	۰/۰۹	۰/۹۸
گلرنگ ۵۰: خلر ۵۰	۷۱۵/۶۳	۲۷/۰۸	۰/۰۹	۰/۹۹
گلرنگ ۷۵: خلر ۲۵	۷۰۰/۳۷	۲۳/۹۸	۰/۰۸	۰/۹۵



شکل ۵- روند وزن خشک کل (گلرنگ+ خلر) و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

به نظر می‌رسد در شرایط کانوپی کشت مخلوط، شاخص سطح برگ بالاتر منجر به جذب نور و سرعت فتوسنتز بیشتر و در نهایت تجمع ماده خشک بالاتر در مقایسه با شرایط تک کشتی گلرنگ گردید. ممکن است علت بهبود ماده خشکل کل تولید شده در شرایط کشت مخلوط در مقایسه با تک کشتی، تثبیت بیولوژیک نیتروژن توسط خلر و در اختیار قرار گرفتن این نیتروژن در انتهای دوره رشد گلرنگ بوده باشد. در مطالعه‌ای دیگر نیز گزارش شد که شرایط رشد گیاهان در کشت مخلوط جایگزینی رازیانه، کنجد و لوبیا بهبود یافت که منجر به تولید ماده خشک بیشتر در مقایسه با تیمارهای کشت خالص آنها گردید (رنجبر ۲۰۱۲). در کشت مخلوط زیره سبز و موسیر نیز ماده خشک تجمعی نسبت به کشت خالص بیشتر بود (مشکانی و همکاران ۲۰۱۹). در مطالعه‌ای دیگر به علت اثرات تسهیل کنندگی لوبیا بر تولید ماده خشک ذرت بهبود وزن خشک کل کانوپی در کشت مخلوط نواری ذرت و لوبیا تحت شرایط آب و هوایی مشهد نیز گزارش شد (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۵).

کارایی مصرف تشعشع

نتایج این بررسی نشان داد که با کاربرد الگوهای مختلف کاشت مخلوط برای گیاه گلرنگ و خلر در آزمایش نسبت به کشت خالص آن‌ها، به علت افزایش ماده خشک کل، کارایی مصرف نور نیز بهبود یافت (شکل ۶). هر سه آرایش کاشت مخلوط موجب افزایش کارایی مصرف نور نسبت به کشت خالص گلرنگ و خلر شدند که البته بیشترین این میزان برای آرایش ۵۰:۵۰ حاصل شد. کارایی مصرف نور حاصل رگرسیون خطی برقرار شده بین ماده خشک کل و نور جذب شده تجمعی می-باشد و نشان دهنده مقدار ماده خشک تولید شده توسط گیاه به ازای هر واحد نور جذب شده است. بنابراین هر عاملی که منجر به تولید ماده خشک بیشتر به ازای نور

جذب شده ثابت و یا برعکس گردد منجر به بهبود کارایی مصرف نور می‌شود. در این مطالعه همانگونه که نتایج نشان داد در تیمارهای مختلف کشت مخلوط هم نور جذب شده تجمعی (شکل ۲) در مقایسه با تک کشتی بهبود یافت و هم ماده خشک تولید شده (شکل ۵) توسط کانوپی مخلوط بیشتر بود که این عوامل منجر به بهبود کارایی مصرف نور گردید. به نظر می‌رسد ایجاد شرایط بهتر در کانوپی مخلوط در مقایسه با تک کشتی از جمله دلایل جذب نور، فتوسنتز و ماده خشک بیشتر و در نهایت کارایی مصرف نور بالاتر بود.

مطالعات مختلفی افزایش و یا کاهش کارایی مصرف نور اجزای گیاهی در مخلوط را گزارش کرده‌اند و برخی مطالعات نیز تأثیر کشت مخلوط بر کارایی مصرف نور را ناچیز دانسته‌اند. اما در هر صورت آنچه که بسیار اهمیت دارد بهبود بهره‌وری تولید در سیستم‌های مخلوط، در ارتباط با نور می‌باشد. بهره‌وری می‌تواند از طریق افزایش جذب تشعشع خورشیدی، کارایی مصرف نور یا ترکیبی از هر دو بهبود یابد. البته در مجموع اعتقاد بر این است که کشت‌های مخلوط بیشتر به واسطه افزایش جذب نور، از طریق افزایش طول دوره جذب نور یا در نتیجه پوشش بیشتر سطح خاک سبب افزایش بهره‌وری می‌شوند (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۵). در واقع در زراعت‌های تک کشتی همواره مقادیری از تشعشع فتوسنتزی به دلیل وجود فضاهای خالی در کانوپی تلف می‌شود. مقدار این تلفات در زراعت‌های مخلوط به دلیل پوشش بیشتر سطح خاک کاهش یافته و در نتیجه میزان جذب تشعشع کل نسبت به تک کشتی بیشتر می‌شود که این مسئله به تنهایی می‌تواند سبب افزایش عملکرد گردد، گرچه ممکن است کارایی مصرف نور تحت تأثیر قرار نگرفته و یا حتی در مواردی نیز دچار کاهش گردد (کوچکی و همکاران ۲۰۰۹). در کشت مخلوط ذرت شیرین با سیب زمینی نیز کارایی مصرف نور به علت توضیع مطلوب‌تر نور در کانوپی بهبود یافت (همافر و همکاران ۲۰۱۹).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مورد بررسی بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۵). در بین نسبت‌های کشت بیشترین میزان عملکرد دانه مربوط به کشت خالص گلرنگ بود و به دنبال آن با کاهش نسبت کاشت گلرنگ در مخلوط، عملکرد دانه آرایش‌های مختلف نیز کاهش یافت اما این کاهش به لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۶). بیشترین عملکرد دانه در بین تیمارهای مخلوط در تیمار ۷۵ درصد گلرنگ و ۲۵ درصد خلر و کمترین آن در تیمار ۲۵ درصد گلرنگ و ۷۵ درصد خلر مشاهده شد (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس عملکرد دانه اجزای مخلوط و نسبت برابری زمین تحت تاثیرتیمارهای آزمایش

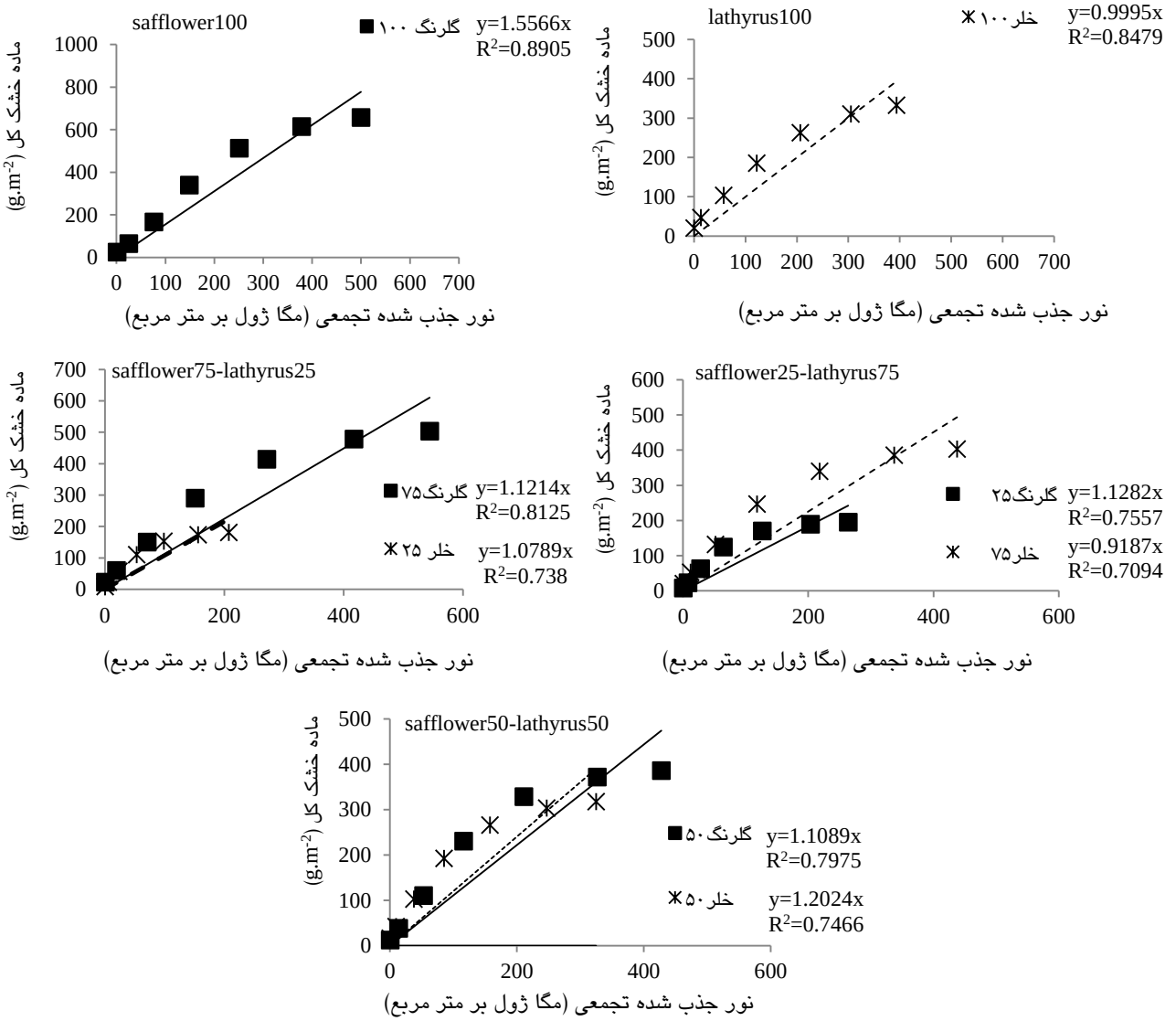
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	نسبت برابری زمین
تکرار	۲	۸۲۴۸	۰/۰۲
آرایش‌های کشت مخلوط	۴	۴۱۵۹۱۹**	۰/۱۲*
خطا	۸	۳۹۵۹۲	۰/۰۱
ضریب تغییرات (٪)		۹/۲	۱۲/۰

ns و*، ** به ترتیب بیانگر غیر معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح آماری ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

برتری کشت مخلوط از نظر عملکرد و کیفیت گیاهان زراعی در مطالعات زیادی گزارش شده است (گودینگ و همکاران ۲۰۰۷). با توجه به مطالعات کومارک و همکاران (۲۰۱۸) کشت مخلوط غلات-لگوم باعث افزایش پایداری عملکرد در مقایسه با سیستم‌های تک کشتی گردید. نخزری مقدم و همکاران (۲۰۰۹) عنوان نمودند که در صورت انتخاب مناسب گونه‌ها، نسبت‌ها و ترکیب‌های مناسب در کشت مخلوط علاوه بر افزایش عملکرد، افزایش کیفیت علوفه، افزایش کارایی مصرف آب، مقاومت به سرما و کنترل جمعیت علف‌های هرز را نیز

می‌توان انتظار داشت. در مطالعه‌ای دیگر نیز بر نقش گیاه لوبیا بر بهبود عملکرد ذرت در شرایط کشت مخلوط نواری تاکید شده است (کوچکی و همکاران ۲۰۱۰).

نامبردگان اظهار داشتند اگرچه عملکرد هر یک از اجزای کشت مخلوط در مقایسه با تک کشتی آنها کاهش یافت، اما در نهایت عملکرد کل کانوپی مخلوط بالاتر بود.



شکل ۶- اثر تیمارهای مورد بررسی بر کارایی مصرف نور گلرنگ و خلر

جدول ۶- اثر آرایش‌های کشت مخلوط بر عملکرد دانه گلرنگ و نسبت برابری زمین

آرایش‌های کشت مخلوط	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	نسبت برابری زمین
کشت خالص گلرنگ	۲۴۷۲a	–
۷۵ گلرنگ: ۲۵ خلر	۲۳۳۲ab	۱/۰۳ b
۵۰ گلرنگ: ۵۰ خلر	۲۳۰۵ab	۱/۱۴ a
۲۵ گلرنگ: ۷۵ خلر	۲۰۶۱b	۱/۰۸ b
کشت خالص خلر	۱۵۲۹c	–

حروف غیر مشابه نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (LSD).

نسبت برابری زمین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آرایش‌های مختلف کشت مخلوط بر نسبت برابری زمین معنی‌دار بود (جدول ۵)، به گونه‌ای که بالاترین این شاخص در تیمار ۵۰:۵۰ مشاهده شد (جدول ۶). نتایج این بررسی نشان داد که نسبت برابری زمین برای آرایش‌های کشت مخلوط بیشتر از یک بود که نشان دهنده کارایی بالاتر کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بود. در آرایش‌های کشت مخلوط ۷۵ گلرنگ: ۲۵ خلر، ۵۰ گلرنگ: ۵۰ خلر و ۲۵ گلرنگ: ۷۵ خلر نسبت برابری زمین برای جزء گلرنگ به ترتیب ۰/۷۵، ۰/۶۶ و ۰/۳۵ و برای جزء خلر به ترتیب ۰/۲۸، ۰/۴۸ و ۰/۷۳ بود. به نظر می‌رسد علت بالاتر بودن کارایی استفاده از زمین که خود به نوعی نشان دهنده استفاده کارآمدتر گیاهان از سایر منابع محیطی همچون نور است، اثرات تسهیل کنندگی خلر به علت توانایی تثبیت بیولوژیک نیتروژن و در اختیار گلرنگ قرار گرفتن نیتروژن تثبیت شده به ویژه در مراحل انتهایی رشد باشد. در تحقیقی دیگر نیز محققین دریافتند که نسبت برابری زمین در کشت مخلوط گندم با باقلا بالاتر یک بود (آجینهو و همکاران ۲۰۰۸). علاوه‌براین مشخص شده است که اثرات تسهیل کنندگی نخود در کشت مخلوط با گیاه جو منجر به بهبود کارایی استفاده از زمین به میزان ۳۲ درصد در مقایسه با تک کشتی آنها شد (چاپاگاین و رایسمن ۲۰۱۴).

نتیجه‌گیری

مطابق با نتایج این پژوهش در بررسی تک کشتی دو گیاه گلرنگ و خلر و کشت مخلوط آن‌ها با نسبت‌های مختلف، مشخص شد که کشت مخلوط موجب بهبود روند تغییرات شاخص‌های رشد و افزایش کارایی مصرف نور نسبت به تک کشتی گیاهان مورد مطالعه شد، که این موضوع در ادامه افزایش عملکرد دانه و نسبت برابری زمین را در پی داشت. بهبود ویژگی‌های مذکور نشان می‌دهد که کشت مخلوط می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای مناسب برای دسترسی به عملکرد مطلوب، خصوصاً در سیستم‌های کم نهاده مطرح شود. در آزمایش حاضر الگوی کشت مخلوط جایگزینی گلرنگ-خلر با نسبت ۵۰:۵۰ مناسب‌ترین الگوی کشت مخلوط بود.

سپاسگزاری

مقاله حاضر بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد بوده که فعالیت‌های عملی آن در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه‌های دانشگاه رازی انجام شده است. به این وسیله نویسندگان مقاله از زحمات کارشناسان بخش‌های مذکور قدردانی می‌نمایند.

منابع مورد استفاده

Agegnehu G, Ghizaw A and Sinebo W. 2008. Yield potential and land-use efficiency of wheat and faba bean mixed intercropping. Agronomy and Sustainable Development, 28: 257–263. htpps:\\doi: 10.1051/agro:2008012

Chapagain T and Riseman A. 2014. Barley–pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. Field Crop Research, 166: 18–25. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.014

Dashadi M and Rasaei A. 2020. Investigation of different levels of molybdenum and nitrogen on yield and yield components of chickpea cultivars. Scientific Journal of Crop Physiology, I.A.U. Ahvaz, 12(46): 81-96. (In Persian).

Duchene O, Vian JF and Celette F. 2017. Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. Agriculture, Ecosystems and Environment, 240: 148-161. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.019

Esmaeilian Y and Amiri MB. 2021. Agronomic and Economic Evaluation of Safflower (Carthamus tinctorius L.) and Chickpea (Cicer arietinium L.) Intercropping under Micronutrient Applications. Journal of Crop Ecophysiology, 15(1): 1-20. (In Persian). https://doi.org/10.30495/jcep.2021.681003

Gooding MJ, Kasyanova E, Ruske R, Hauggaard-Nielsen H, Jensen ES, Dahlmann C, Von Fragsten P, Dibet A, Corre-Hellou G, Crozat Y, Pristeri A, Romeo M, Monti M, Launay M. 2007. Intercropping with pulses to concentrate nitrogen and sulphur in wheat. Journal of Agricultural Science, 145(5): 469-479. https://doi.org/10.1017/S0021859607007241

Haydarzade H and Jalilian J. 2014. Changes in yield of cover crops in intercropping with safflower (Carthamus tinctorius L.) under different fertilizer systems and weed infestation. Research in Field Crop, 2(1): 38-49. (In Persian).

Homafar H, Khoramivafa M, Mondani F and Zolnurian H. 2019. Evaluation of Radiation Absorption and Use Efficiency in intercropped Sweet corn (Zea mays Var. saccharata) with Potato (Solanum tuberosum). Iranian Journal of Field Crops Research, 17(3): 389-401. (In Persian). htpps:\\doi.10.22067/GSC.V17I3.69264

Komarek AM, Koo J, Haile B, Msangi S and Azzarri C. 2018. Trade-offs and synergies between yield, labor, profit, and risk in Malawian maize-based cropping systems. Agronomy for Sustainable Development, 38(3): 32. https://doi.org/10.1007/s13593-018-0506-6

Koocheki A and Sarmadniya GH. 2013. Crop physiology. JDM Press, Mashhad, Iran. (In Persian).

Koocheki A, Nasiri Mahalati M, Feizi H, Amirmoradi, S and Mondani F. 2010. Effect of strip intercropping of maize (Zea mays L.) and bean (Phaseolus vulgaris L.) on yield and land equivalent ratio in weedy and weed free conditions. Journal of Agroecology, 2(2): 225-235. (In Persian). htpps:\\doi. 10.22067/JAG.V2I2.7627

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. Journal of Agroecology, 2(1): 27-36. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v2i1.7594

Koocheki A, Nassiri Mahallati M, Mondani F, Feizi H and Amirmoradi S. 2009. Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercroppingcanopy. Journal of Agroecology, 1(1): 13-23. (In Persian). htpps:\\doi.org.10.22067/JAG.V2I2.7627

Marastoni L, Sandri M, Pii Y, Valentinuzzi F, Brunetto G, Cesco S andMimmo T. 2019. Synergism and antagonisms between nutrients induced by copperoxicity in grapevine rootstocks: monocropping vs. intercropping. Chemosphere, 214: 563-578. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.127

Masomipour A. 2017. Evaluation of Extinction Coefficient and Radiation Use Efficiency in Different Cultivars of Safflower under Different Levels of Nitrogen (N) Fertilizer. Electronic Journal of Crop Production, 9(3): 67-86. (In Persian). htpps:\\doi. 10.22069/EJCP.2016.9541.1740

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. Journal of Agroecology, 11(2): 543-560. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.67513

Mondani F, Khani K, Jalali Honarmand S and Saeidi M. 2019. Evaluating effects of plant growth-promoting rhizobacteria on the radiation use efficiency and yield of soybean (Glycine max) under water deficit stress condition. Agricultural Water Management, 213: 707-713. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.11.004

Mousavian SN and Seyedmohammdi AR. 2015. The effect of nitrogen and planting patterns on morphological traits and growth indices in mixed maize and sunflower cultivation. CROP Physiology, 7(26): 105-120. (In Persian). htpps:\\doi. 10.22059/IJFCS.2023.360870.655012

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. Journal of Crop Production, 6(2): 179-199. (In Persian). https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.18660.2387

Nakhzari Moghadam A, Chaeichi MR, Mazaheri D, Rahimian Mashhadi H, Majnoun Hosseini N and Nourinia AA. 2009. The effects of corn (Zea mays) and green gram (Vigna radiata) intercropping on some quantity characteristics of forage and weed biomass. Iranian Journal of Field Crop Science (Iranian Journal of

Agricultural Sciences), 40(4): 113-121. htpps:\\ 20.1001.1.20084811.1388.40.4.11.9

Nassiri Mahallati M, Koocheki A, Mondani F, *, Feizi H and Amirmoradi S. 2015. Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize (Zea mays L.) and bean (Phaseolus vulgaris L.) in Northeast Iran. Journal of Cleaner Production, 106: 343-350. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.099

Nasiri mahalati M, Koocheki A, Mondani F, Amir moradi Sh and Feizi H. 2015. Evaluation of Maize (Zea mays L.) and Bean (Phaseolus vulgaris L.) Growth Indices in Strip Intercropping. Iranian Journal of Field Crops Research, 13(1): 14-23. htpps:\\doi. 10.22067/GSC.V13I1.4831

Peiretti PG. 2017. Nutritional aspects and potential uses of safflower (Carthamus tinctorius L.) in livestock. Agricultural Research Updates, 19: 3-22. https://dx.doi.org/10.4314/acsj.v28i1.8S

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. (In Persian).

Tsubo M, Walker S, Ogindo HO 2005. A simulation model of cereal–legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. Field Crops Research 93(1): 10-22. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.09.002