نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 10، شماره 2، تابستان 1397، ص. 326-313

Journal of Agroecology
Vol. 10, No.2, Summer 2018, p. 313-326

ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط جایگزینی ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) و رازیانه (*Foenicolum vulgar* Mill.)

حسام‌الدین سلوکی[1]، مهدی نصیری‌محلاتی[2*]، علیرضا کوچکی[2] و پرویز رضوانی مقدم[2]

تاریخ دریافت: 1392/08/15
تاریخ پذیرش: 1393/06/03

سلوکی، ح.، نصیری محلاتی، م.، کوچکی، ع.، و رضوانی مقدم، پ. 1397. ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط جایگزینی ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) و رازیانه (*Foenicolum vulgar* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، 10(2): 326-313.

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی و ارزیابی کارایی مصرف نور در کشت مخلوط جایگزینی ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) و رازیانه (*Foenicolum vulgar* Mill.) انجام گرفت. آزمایش با پنج تیمار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی 92-1391 در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کشت خالص ماریتیغال، کشت خالص رازیانه، کشت مخلوط 3:1 (25% رازیانه: 75% ماریتیغال)، کشت مخلوط 1:1 (50% رازیانه: 50% ماریتیغال) و کشت مخلوط 1:3 (75% رازیانه: 25% ماریتیغال) بودند. نتایج نشان داد که میزان تشعشع تجمعی جذب شده در تیمار کشت مخلوط 3:1 (25% رازیانه: 75% ماریتیغال) در مقایسه با سایر تیمارها در بالاترین مقدار بود. میزان کارایی مصرف نور، تشعشع تجمعی جذب شده و ماده خشک تجمعی در ماریتیغال در تمامی تیمارها بالاتر از رازیانه بود. همچنین کارایی مصرف نور این گیاه در طول فصل زراعی از 1/91 تا 2/36 گرم بر مگاژول تشعشع جذب شده متغیر بود و در تیمار کشت مخلوط 1:1 (50% رازیانه: 50% ماریتیغال) در مقایسه با سایر تیمارها به خصوص کشت خالص در بالاترین مقدار قرار داشت. مقادیر کارایی مصرف نور رازیانه نیز از 0/71 تا 1/39 گرم بر مگاژول تشعشع جذب شده متغیر و در تمامی تیمارهای کشت مخلوط بالاتر از تک‌کشتی این گیاه بود. بر این اساس بهترین تیمار قابل توصیه برای کشت مخلوط ماریتیغال و رازیانه تیمار کشت مخلوط 1:1 (50% رازیانه: 50% ماریتیغال) می‌باشد که در آن میزان کارایی مصرف نور ماریتیغال در بالاترین حد (2/36 گرم بر مگاژول) و کارایی مصرف نور رازیانه نیز 0/93 گرم بر مگاژول بود. بر اساس یافته‌های این پژوهش به نظر می‌رسد که استفاده از مخلوط‌های جایگزینی و ایجاد تنوع در ساختار و مدیریت مزرعه، رویکردی مفید در جهت افزایش کارایی مصرف منابع به‌ویژه نور باشد.

واژه‌های کلیدی: تشعشع جذب شده، تنوع زمانی، ضریب استهلاک نور، ماده خشک تجمعی

مقدمه

نور خورشید منبع اصلی انرژی در بوم‌نظام‌ها می‌باشد. نور توسط برگ‌ها جذب شده و انرژی آن طی فرآیند فتوسنتز، در پیوندهای شیمیایی ترکیبات آلی ذخیره می‌شود و نهایتاً به صورت بیوماس گیاهی در می‌آید. به‌منظور افزایش کارایی این فرآیند لازم است از چگونگی تغییرات جذب نور در گیاهان آگاه بود. از دیدگاه کشاورزی درک چگونگی تغییرات نور در داخل کانوپی گیاهی، به‌خصوص هنگام بررسی نظام‌های گوناگون کشت مخلوط، سیستم‌های جنگل‌زراعی و حتی مدیریت گونه‌های غیرزراعی در داخل یک نظام کشت اهمیت دارد (Nassiri Mahallati et al., 2001). امروزه کشاورزی جهانی از یک طرف درصدد تأمین غذای جمعیت رو به افزایش جهان است و از طرف دیگر باید تولید روزافزون خود را بر اهداف محیطی و اجتماعی – اقتصادی جهان منطبق سازد. حصول این هدف نیازمند افزایش کارایی استفاده از منابع در تولید گیاهان عمده غذایی و نیز کشف

1 و 2- به‌ترتیب دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی و استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: mnassiri@um.ac.ir
DOI: 10.22067/jag.v10i2.34659

پتانسیل صدها گونه فراموش شده موجود در کشت‌های سنتی در محیط‌های حاشیه‌ای است (Banayan, 2002). در این راستا گرایش به سمت طراحی و مدیریت سیستم‌هایی که بر فرآیندهای اکولوژیکی تکیه داشته و جهت حفظ تولید و کنترل آفات وابستگی کم‌تری به مواد شیمیایی دارند (Jahan et al., 2013)، افزایش یافته است. از جمله این روش‌های مدیریتی می‌توان به کشت مخلوط اشاره کرد (Koocheki, 2001).

کشت‌مخلوط عبارت است از پرورش بیش از یک گیاه در یک سال زراعی و در یک قطعه زمین (Mazaheri, 1994). افزایش عملکرد مهم‌ترین مزیت کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی است و از سطح زیرکشت استفاده بهتری می‌شود (Mirhashemi et al., 2008). دو اصل نظری برای درک مکانیسم‌های بهبود عملکرد در کشت‌های مخلوط در نظر گرفته شده‌اند که این دو اصل عبارتند از: اصل تولید رقابتی و اصل تولید مساعدتی. این دو اصل مفاهیم شناخته‌شده‌ای در اکولوژی محسوب می‌شوند (Javanshir et al., 2000). نتایج اغلب آزمایشات نشان داده است که مهم‌ترین مزیت کشت‌های مخلوط که از طریق شاخص‌هایی نظیر نسبت برابری زمین[1] (LER) سنجیده می‌شود، بالاتر بودن کارآیی استفاده از منابع به‌ویژه نور (Koocheki et al., 2009; Hossein Panahi et al., 2010 and 2011; Alizadeh et al., 2010)، آب و نیتروژن، در مقایسه با کشت‌های خالص می‌باشد (Nassiri Mahallati et al., 2011; Yika et al., 2012).

کشور ایران از تنوع اقلیمی زیاد و در نتیجه از تنوع بیولوژیکی بالایی برخوردار است به‌طوری‌که تعداد گونه‌های گیاهی موجود در ایران به 7900 گونه می‌رسد که 13 درصد آن را گیاهان دارویی تشکیل می‌دهند. از طرفی در سال‌های اخیر به‌دلیل اثرات سوء جانبی برخی از داروهای صنعتی، گرایش به استفاده از داروهای گیاهی در اکثر جوامع بشری رو به گسترش می‌باشد. لذا کشت و کار بسیاری از گیاهان دارویی که به‌صورت وحشی در عرصه‌های طبیعی می‌رویند به‌عنوان گیاهان جدید در بسیاری از مناطق جهان رایج شده است (Khajeh Hosseini & Koocheki, 2008). علاوه بر این، ایرانیان از دیرباز و حتی پیش از دیگران در زمینه شناخت گیاهان دارویی و کاربرد درمانی آن‌ها از دانش پیشرفته‌ای برخوردار بوده‌اند. گیاهان دارویی از گیاهان اقتصادی مورد استفاده بشرند که مواد بیوشیمیایی مخصوص و فعال مفیدی با مقادیر بسیار کم در خود ذخیره می‌کنند. استفاده از آن‌ها برای درمان بیماری‌ها، بخش کوچکی از تاریخ تمدن بشر را شامل می‌شود (Davazdahemami & Majnoonhosseini, 2008; Ebrahimpour & Eydizadeh, 2008).

در رابطه با تأثیر تراکم و کود نیتروژن بر روی ضریب استهلاک و کارایی مصرف نور در گیاه ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) نتایج حاکی از آن است که افزایش تراکم موجب کاهش ضریب استهلاک نور و افزایش کارایی مصرف نور می‌شود ولی سطوح مختلف کود نیتروژن، تأثیر معناداری بر ضریب استهلاک و کارایی مصرف نور نخواهد داشت (Gholi Beygian et al., 2008). در بررسی تأثیر فصل کاشت و فاصله بوته در نحوه توزیع و میزان جذب نور در جامعه گیاهی ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ (*Carthamus tinctorious* L.) نیز گزارش شده که جذب نور در تمام عمق کانوپی برای همه ارقام و لاین‌های مورد بررسی در کشت بهاره بیشتر از کشت تابستانه بوده است. همچنین میزان وزن خشک بوته و عملکرد دانه متأثر از میزان کل جذب نور بوده و سهم نیمه بالایی و پائینی در جوامع گیاهی حاصل از ارقام مختلف در این باره تفاوت نشان داده است (Majd Nassiri et al., 2000).

ماریتیغال و رازیانه (*Foenicolum vulgare* Mill.) از جمله گیاهان با ارزش در زمینه استحصال داروهای گیاهی هستند. از طرفی هردو گونه جزو گیاهانی هستند که با آب و هوای مدیترانه ای، همچنین انواع خاک‌ها و حتی آب شور سازگاری مطلوبی دارند. توده‌های گوناگونی از این دو گونه در ایران موجود است که خصوصیات فنولوژیکی و مورفولوژیکی آن‌ها متفاوت می‌باشد و با شرایط اکولوژیکی ایران نیز سازگاری دارند. بنابراین با توجه به شرایط ایران از نظر منابع و همچنین کشت و پرورش گیاهان دارویی، به نظر می‌رسد که استفاده از روش‌های بوم‌سازگار نظیر کشت مخلوط این گیاهان ارزشمند، راهکاری مناسب در جهت رسیدن به کشاورزی پایدار بدون هرگونه اثرات سوء محیطی باشد.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل اجرای آزمایش

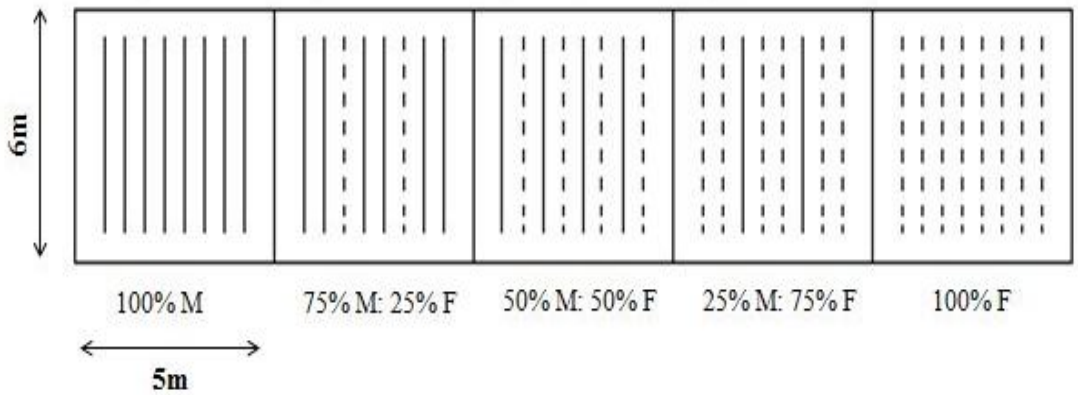
این تحقیق در سال زراعی 92-1391 در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در 10 کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد (با طول جغرافیایی 59 درجه و 36 دقیقه

1- Land equivalent ratio

شرقی و عرض جغرافیایی 36 درجه و 15 دقیقه شمالی و ارتفاع 985 متری از سطح دریا) و در زمینی به مساحت 850 مترمربع انجام شد.

طرح آماری و تیمارهای آزمایش

آزمایش با پنج تیمار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کشت خالص ماریتیغال، کشت خالص رازیانه، کشت مخلوط 3:1 (25% رازیانه: 75% ماریتیغال)، کشت مخلوط 1:1 (50% رازیانه: 50% ماریتیغال) و کشت مخلوط 1:3 (75% رازیانه: 25% ماریتیغال) بودند (شکل 1).



شکل 1 – نقشه تیمارهای کاشت در مزرعه (هر خط نشان‌دهنده یک ردیف کشت می‌باشد).

(م: ماریتیغال، ر: رازیانه، خطوط پیوسته: ردیف‌های کاشت ماریتیغال و خطوط منقطع: ردیف‌های کاشت رازیانه).

Fig. 1- Treatments scheme in field (each line shows one planting row).

(M: Milk thistle, F: Fennel, full line: planting row of Milk thistle, dashed line: planting row of Fennel).

عملیات مزرعه‌ای

عملیات آماده‌سازی زمین در اوایل اسفندماه سال 1391، انجام و کلیه تیمارها به‌صورت یکنواخت 20 تن کود دامی کاملاً پوسیده شده در هکتار دریافت کردند. دو گونه گیاهی در تاریخ چهاردهم فروردین ماه سال 1392 به‌صورت همزمان در زمین کشت شدند. در این تحقیق از ماریتیغال توده مشهد و رازیانه توده سبزوار استفاده شد. تراکم بوته برای گیاه ماریتیغال به عنوان گیاه اصلی شش بوته در مترمربع و فاصله بین ردیف و روی ردیف برای این گیاه به‌ترتیب 50 و 30 سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تراکم رازیانه نیز 20 بوته در متر-مربع با فاصله بین ردیف 50 سانتی‌متر و فاصله روی ردیف 10 سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله کرت‌ها از هم نیم متر و فاصله بلوک‌ها از هم یک متر بود و هر کرت شامل 10 ردیف کشت (8 ردیف اصلی و دو ردیف حاشیه) با عرض 5 متر و طول 6 متر بود. بذرهای ماریتیغال به‌صورت کپه‌ای و بذرهای رازیانه به‌صورت شیاری کشت شدند و عملیات تنک کردن پس از سبز شدن و رسیدن بوته‌ها به اندازه مطلوب انجام گرفت. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و سپس تا آخر فصل رشد هر شش روز یک‌بار انجام شد. علف‌های هرز مزرعه نیز به‌صورت دستی کنترل شدند. به‌منظور اجرای یک سیستم اکولوژیک و کم‌نهاده تا آخر فصل رشد از هیچ‌گونه نهاده شیمیایی استفاده نشد.

نمونه‌برداری در طول فصل رشد

نمونه‌برداری‌های تخریبی از 48 روز پس از کاشت آغاز و تا اوایل مرحله گل‌دهی ادامه داشت و در طول فصل رشد نمونه‌برداری‌ها هر هشت روز یک‌بار به‌منظور محاسبه شاخص سطح برگ[1] (LAI) و وزن خشک انجام گرفت. شاخص سطح برگ گیاه ماریتیغال پس از اندازه‌گیری سطح برگ توسط دستگاه سطح برگ سنج مدل LI-3100C محاسبه شد. شاخص سطح سبز رازیانه (برگ + ساقه) نیز به‌دلیل داشتن برگ‌های بسیار ریز و به‌وجود آمدن خطا در محاسبات به‌وسیله دستگاه، طبق معادله (1) برای این گیاه برآورد گردید (Spitters et al., 1989; Nassiri Mahallati, 2000;

1- Leaf Area Index

Koocheki & Khajeh Hosseini, 2008; Kamkar et al., (2011

معادله (1) $GAI = M \times LWR/SL$

GAI: شاخص سطح سبز، M: وزن خشک کل (برگ + ساقه)، LWR: نسبت وزن برگ (گرم برگ به گرم کل ماده خشک)، SLW: وزن ویژه برگ (گرم برگ بر مترمربع برگ).

نمونه‌ها جهت تعیین وزن خشک درون پاکت‌های کاغذی و به مدت 48 ساعت در دمای 70 درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند و در نهایت برای تعیین وزن خشک مورد استفاده قرار گرفتند.

محاسبه کارایی مصرف نور

برآورد مقادیر LAI روزانه از طریق برازش معادله (2) به مقادیر اندازه‌گیری شده به‌دست آمد.

معادله (2) $y = a + b*4*(\exp(-(x-c)/d))/(1+\exp(-(x-c)/d))^2$

که در این معادله، y: مقدار LAI روزانه، a: عرض از مبدأ، b: زمان رسیدن به حداکثر LAI، c: حداکثر LAI، d: نقطه عطف منحنی که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود، می‌باشند.

میزان نور بالا (در چهار جهت عمود بر هم) و پایین کانوپی خالص و مخلوط گیاه ماریتیغال و رازیانه در هر کرت توسط دستگاه Accu PAR مدل LP-80 همزمان با نمونه‌برداری‌های سطح برگ و ماده خشک اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها در حد فاصل ساعات 9 تا 13 انجام گرفت.

با توجه به معادله (3) و با داشتن شاخص سطح برگ و اندازه‌گیری نور در بالا و پایین کانوپی، ضریب استهلاک نور (K) براساس رگرسیون خطی بین لگاریتم طبیعی کسر نور عبور کرده (I_i/I_o) در مقابل شاخص سطح برگ به‌دست آمد، قابل ذکر است که محاسبه ضریب خاموشی در تیمارهای خالص انجام گرفت (Keating & Chaeberry, 1993).

معادله (3) $I_i/I_o = e^{-K.LAI}$

I_o: مقدار تشعشع در بالای کانوپی، I_i: مقدار تشعشع در پایین کانوپی، K: ضریب استهلاک نوری و LAI: شاخص سطح برگ می‌باشند.

میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی مشهد به روش ارائه شده توسط خوادریان و فان‌لار (Goudriaan & Van Laar, 1994) محاسبه گردید. نور جذب شده روزانه برای هر دو گونه بر اساس معادلات 4، 5 و 6 محاسبه شد (Tsubo et al., 2005).

معادله (4) $I_i = I_O\,(1-\exp((-K_S.L_S) + (-K_F.L_F)))$

معادله (5) $I_S = I_i\,(\frac{(K_S.L_S)}{((K_S.L_S)+(K_F.L_F))})$

معادله (6) $I_F = I_i - I_S$

که در این معادلات، I_O: مقدار تشعشع رسیده به بالای کانوپی، I_i: مقدار تشعشع جذب شده در کل مخلوط، I_S: مقدار تشعشع جذب شده توسط ماریتیغال، I_F: مقدار تشعشع جذب شده توسط رازیانه، Ks: ضریب خاموشی نور ماریتیغال، K_F: ضریب خاموشی نور رازیانه، Ls: شاخص سطح برگ ماریتیغال و L_F: شاخص سطح برگ رازیانه.

کارایی مصرف نور از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک تجمعی (گرم بر مترمربع) و میزان تشعشع تجمعی جذب شده (مگاژول بر مترمربع) محاسبه شد.

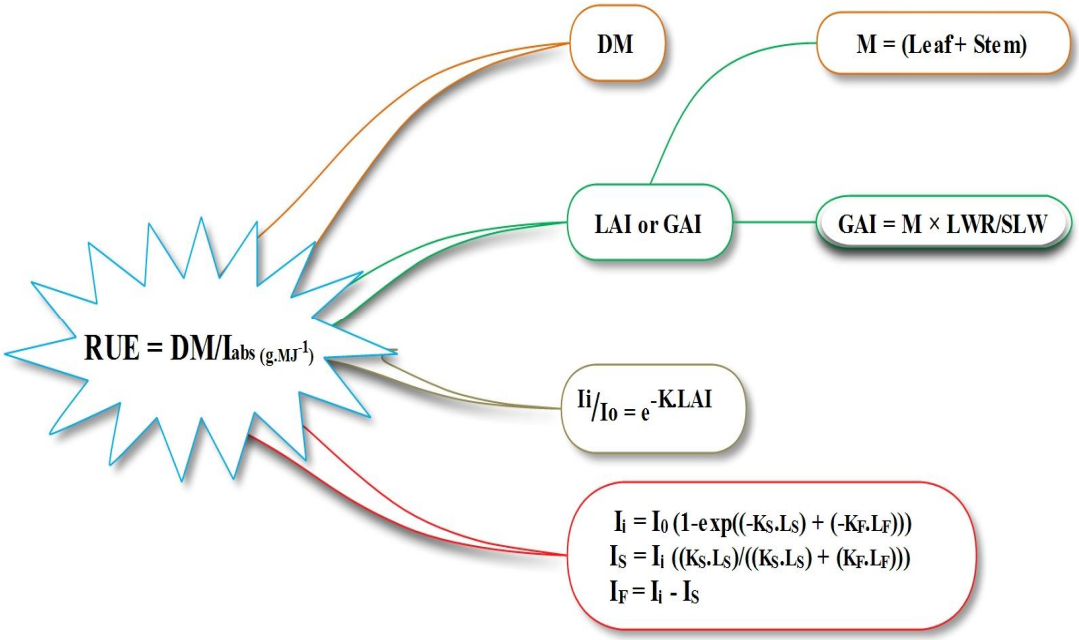
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و ترسیم شکل‌ها توسط نرم‌افزارهای Minitab, V16، Excel و Edraw Max, V5.0 انجام شد و میانگین‌ها توسط آزمون HSD در سطح احتمال خطای پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

ضریب استهلاک نور در دو گیاه ماریتیغال و رازیانه

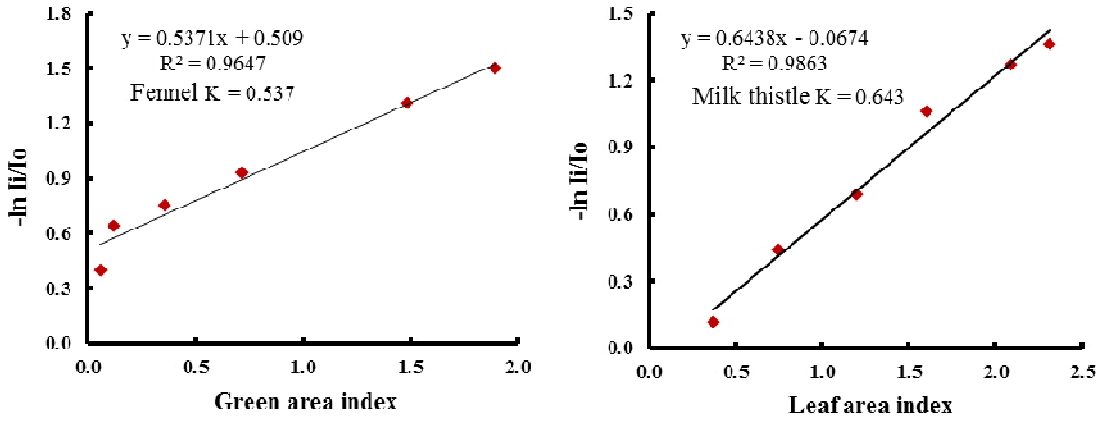
با توجه به نتایج به‌دست آمده از این بررسی ضریب استهلاک نور برای ماریتیغال 0/64 و برای رازیانه نیز 0/53 به‌دست آمد (شکل3). متداول‌ترین روش برای توصیف آرایش برگ‌ها در کانوپی، زاویه برگ‌ها نسبت به ساقه است که توسط ضریب خاموشی نور یا ضریب استهلاک نور بیان می‌شود (Koocheki & Khajeh Hosseini, 2008). همچنین از جمله عوامل مؤثر در ضریب استهلاک نور عبارتند از: شرایط محیطی، زاویه خورشید، زاویه برگ و سطح برگ (Graf, 1990; Keating & Chaeberry, 1993). در آزمایشی تحت تأثیر سطوح مختلف تراکم و کود نیتروژنه، میزان ضریب استهلاک نوری برای گیاه ماریتیغال در تیمارهای مختلف از 0/63 تا 0/68 گزارش شد و طبق این بررسی مشخص شد که ضریب خاموشی نور در اثر افزایش تراکم کاهش می‌یابد (Gholi Beygian et al., 2008). نتایج بررسی دیگری که در رابطه با تأثیر فواصل کاشت در

جذب نور در گیاه گلرنگ توسط مجدنصیری و همکاران (Majd Nassiri et al., 2000) انجام شد، حاکی از آن بود که بین شاخص سطح برگ و ضریب استهلاک نور رابطه معکوس وجود دارد. کامکار و همکاران (Kamkar et al., 2011) نیز ضریب استهلاک نور برای گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) را که یکی از گیاهان هم‌خانواده رازیانه می‌باشد، حدود 0/3 گزارش کردند. با توجه به تحقیقات گسترده‌ای که در زمینه کارایی مصرف نور در گیاهان مختلف انجام شده و با توجه به تأثیر شرایط مختلف، ضریب استهلاک نور در گیاهان مختلف تفاوت زیادی را نشان داده است.



شکل 2- اجزای تشکیل‌دهنده کارایی مصرف نور

Fig. 2- Constitutive components of radiation use efficiency



شکل 3- برآورد مقادیر ضریب استهلاک نور در گیاه ماریتیغال و رازیانه

داده‌ها مربوط به کشت خالص می‌باشند.

Fig. 3- The estimated value of light extinction coefficient in milk thistle and fennel

Data points were obtained from monoculture.

تشعشع جذب شده

نتایج این آزمایش در رابطه با میزان جذب نور به وضوح نشان داد که میزان تشعشع تجمعی جذب شده در تمامی تیمارهای کشت مخلوط بالاتر از تک‌کشتی گیاه رازیانه بود. در رابطه با گیاه ماریتیغال نیز نتایج نشان داد که میزان تشعشع تجمعی جذب شده در تیمار کشت مخلوط 75% ماریتیغال- 25% رازیانه، کمی بالاتر از تک‌کشتی این گیاه بود. از طرفی این تیمار بیش‌ترین میزان تشعشع جذب شده (557/91 مگاژول) را در مقایسه با سایر تیمارها دارا بود (جدول 1). این امر می‌تواند به‌دلیل پخش مناسب نور در کشت مخلوط و تطابق-پذیری بیش‌تر کانوپی مخلوط با این میزان نور باشد که در نهایت منجر به جذب بهتر نور و تولید ماده خشک متناسب با میزان تشعشع خواهد شد. سوابق پژوهش‌های دیگر انجام شده در زمینه کشت مخلوط نیز نشان می‌دهد که از مهم‌ترین فواید کشت مخلوط افزایش تولید در واحد سطح نسبت به تک‌کشتی، به‌دلیل استفاده بهتر از عوامل محیطی مانند نور، آب و مواد غذایی موجود در خاک می‌باشد (Banik et al., 2006; Wells & Faden, 1991).

جدول 1- میزان تشعشع تجمعی جذب شده (مگاژول بر مترمربع) در دو گیاه ماریتیغال و رازیانه در سیستم تک‌کشتی و مخلوط.

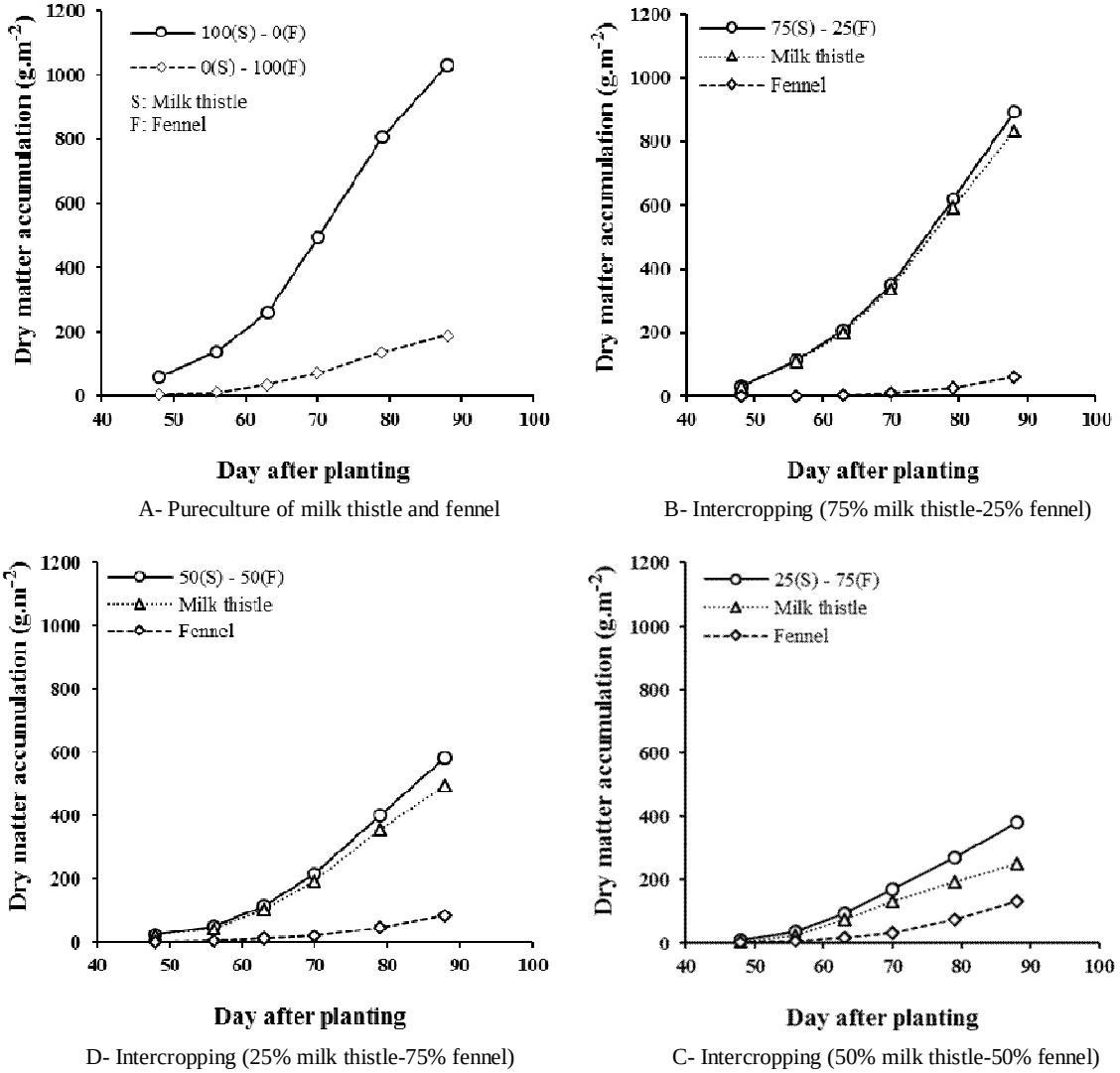
Table 1- The amount of cumulative absorbed Radiation ($MJ.m^{-2}$) of Milk thistle and Fennel in mono and intercropping systems

تیمار Treatment	تشعشع تجمعی جذب شده توسط کانوپی مخلوط (مگاژول بر مترمربع) Cumulative radiation absorbed by intercrop canopy ($MJ.m^{-2}$)	تشعشع تجمعی جذب شده توسط کانوپی ماریتیغال (مگاژول بر مترمربع) Cumulative radiation absorbed by Milk thistle canopy ($MJ.m^{-2}$)	تشعشع تجمعی جذب شده توسط کانوپی رازیانه (مگاژول بر مترمربع) Cumulative radiation absorbed by Fennel canopy ($MJ.m^{-2}$)
تک‌کشتی ماریتیغال Pureculture of milk thistle	-	550.69	-
تک‌کشتی رازیانه Monocrop of fennel	-	-	265.71
کشت مخلوط 75% ماریتیغال- 25% رازیانه Intercropping (75% milk thistle-25% fennel)	557.91	513.37	44.54
کشت مخلوط 50% ماریتیغال- 50% رازیانه Intercropping (50% milk thistle-50% fennel)	314.04	220.64	93.39
کشت مخلوط 25% ماریتیغال- 75% رازیانه Intercropping (25% Milk thistle-75% Fennel)	286.32	134.68	151.64

تجمع ماده خشک

نتایج نشان داد که تجمع ماده خشک ماریتیغال و رازیانه تحت تأثیر تیمارهای کشت مخلوط قرار گرفت. بیش‌ترین میزان تجمع ماده خشک در تیمار تک‌کشتی ماریتیغال (1028 گرم در مترمربع) و کم‌ترین آن در تیمار تک‌کشتی رازیانه (189 گرم در مترمربع) مشاهده شد (شکل 4 الف). در بین تیمارهای کشت مخلوط نیز بیش‌ترین میزان تجمع ماده خشک مربوط به تیمار کشت مخلوط 3:1 (25% رازیانه: 75% ماریتیغال) با 893 گرم در مترمربع بود (شکل 4 ب). بنابراین با افزایش سهم گیاه رازیانه در سیستم کشت مخلوط و پیش رفتن به سمت الگوهای کشت مخلوط 1:1 (50% رازیانه: 50% ماریتیغال) و کشت مخلوط 1:3 (75% رازیانه : 25% ماریتیغال) میزان تجمع ماده خشک کل کاهش یافت که این امر می‌تواند به‌دلیل تولید زیست‌توده بسیار کم در گیاه رازیانه در سال اول رشد در مقایسه با گیاه ماریتیغال باشد. البته ذکر این نکته نیز قابل توجه است که زیست‌توده کل تولید شده در تمامی تیمارهای کشت مخلوط بالاتر از حالت تک‌کشتی رازیانه بود (شکل 4) که این امر می‌تواند به دلیل توزیع کارآمدتر نور و جذب بیش‌تر توسط کانوپی مخلوط از طریق

بهبود ساختار کانوپی دو گیاه در کنار یکدیگر باشد. از سویی میزان تجمع ماده خشک، حاصل‌ضرب حد مطلوب تشعشع جذب شده در کارایی مصرف نور می‌باشد (DM = RUE × Iabs). بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که در سیستم‌های مخلوط امکان افزایش ماده خشک کل از طریق بهبود جذب تشعشع و همچنین افزایش میزان کارایی مصرف نور میسر خواهد بود. در پژوهش‌های دیگر نیز افزایش تجمع ماده خشک در سیستم کشت مخلوط در مقایسه با سیستم تک‌کشتی گزارش شده است (Koocheki et al., 2009; Hanming et al., 2012).



A- Pureculture of milk thistle and fennel

B- Intercropping (75% milk thistle-25% fennel)

D- Intercropping (25% milk thistle-75% fennel)

C- Intercropping (50% milk thistle-50% fennel)

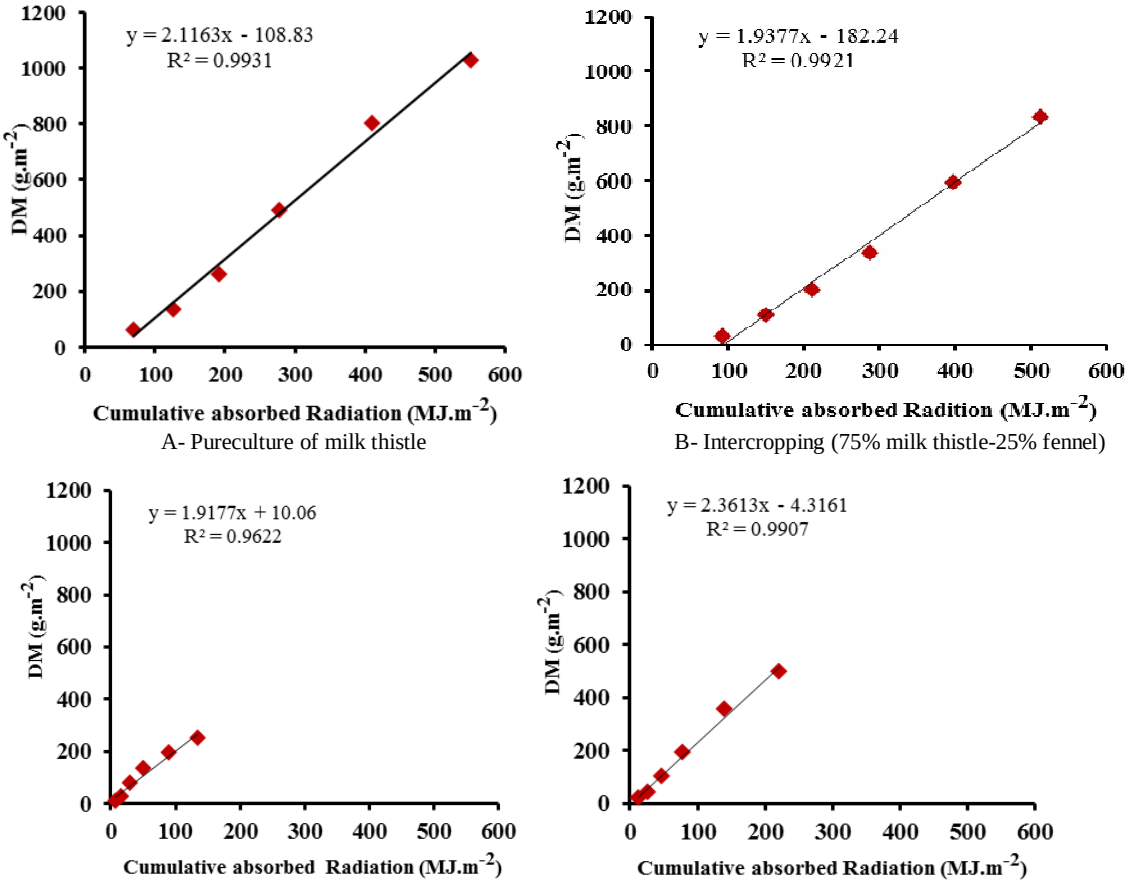
شکل 4- اثر تیمارهای کشت مخلوط بر روند تجمع ماده خشک کل ماریتیغال و رازیانه طی روزهای بعد از کاشت

Fig. 4- The effect of intercropping treatments on total dry weight of Milk thistle and Fennel during the days after planting. (S: Milk thistle and F: Fennel)

کارایی مصرف نور در گیاه ماریتیغال

بالاترین میزان کارایی مصرف نور در تیمار کشت مخلوط 50% ماریتیغال-50% رازیانه (2/36 گرم بر مگاژول) به‌دست آمد (شکل 5 ج). همچنین بین تیمارهای تک‌کشتی، کشت مخلوط 75%

ماریتیغال - 25% رازیانه و کشت مخلوط 25% ماریتیغال - 75% رازیانه از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول 2). این امر نشان‌دهنده استفاده کاراتر از نور در تیمارهای کشت مخلوط در مقایسه با تیمار تک‌کشتی در گیاه ماریتیغال می‌باشد. بین سرعت تولید ماده خشک (گرم در مترمربع در روز) و میزان تشعشع جذب شده تجمعی (مگاژول در مترمربع) رابطه‌ای خطی وجود دارد. شیب این خط که میزان تولید ماده خشک به‌ازای تشعشع جذب شده را نشان می‌دهد به کارایی مصرف نور (گرم به ازای مگاژول) موسوم است. با استفاده از این روش می‌توان سرعت تولید ماده خشک را به سهولت بر اساس تشعشع جذب شده محاسبه کرد (Koocheki & Khajeh Hosseini, 2008). گزارش‌های زیادی مبنی بر افزایش یا کاهش کارایی مصرف نور در گیاهان تحت شرایط مختلف وجود دارد و از جمله این گیاهان می‌توان به گندم (*Triticum aestivum* L.) و نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) (Patricio et al., 2012)، سویا (*Glycine max* (L.) Merr.) (Kumar et al., 2008) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) (Sinclair & Muchow, 1999) اشاره کرد. در رابطه با افزایش کارایی مصرف نور در کشت مخلوط نیز می‌توان به کشت مخلوط بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) (Awal et al., 2006) وکشت مخلوط لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و ریحان رویشی (*Ocimum basilicum* L.) (Alizadeh et al., 2010) اشاره کرد.



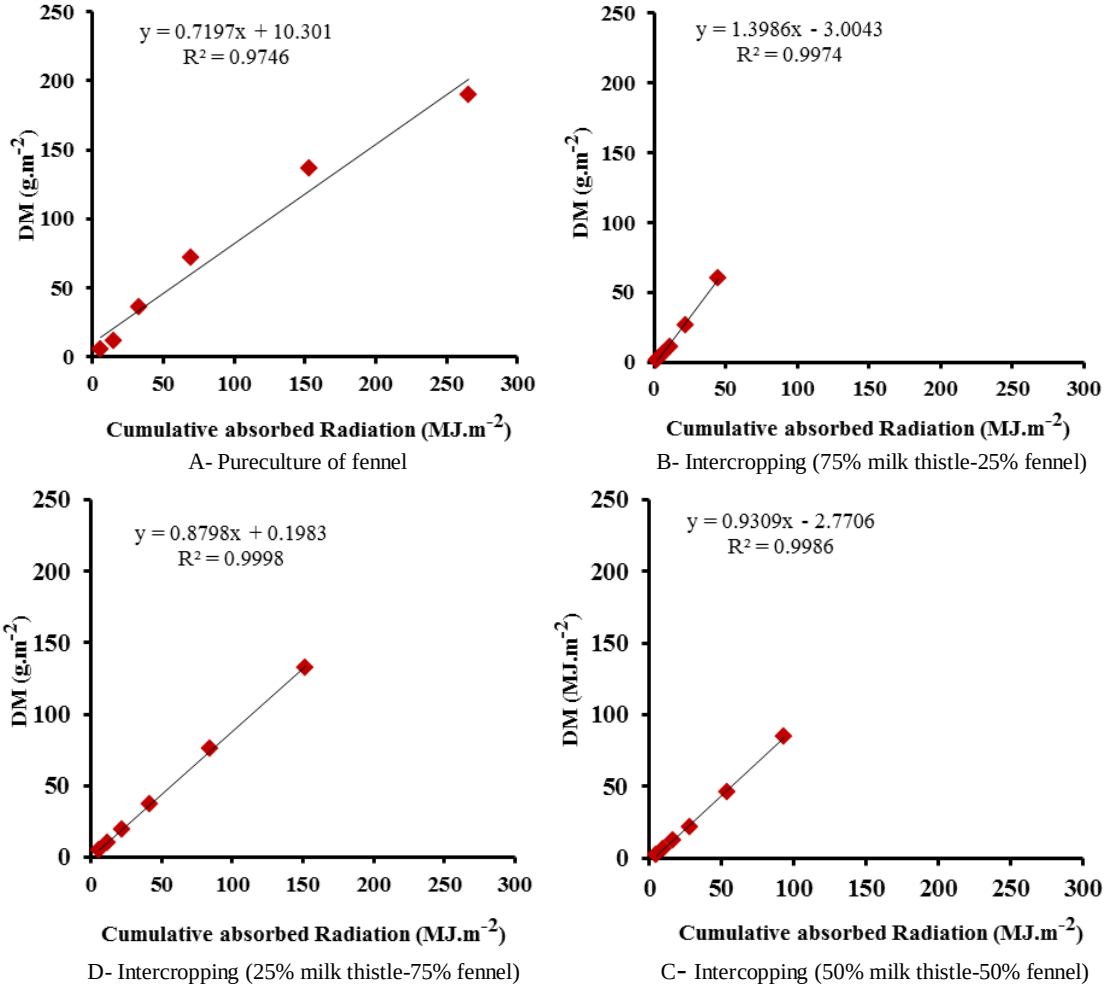
شکل 5- رابطه رگرسیونی بین میزان تجمع ماده خشک و تشعشع جذب شده در کشت خالص و کشت مخلوط ماریتیغال

شیب خط نشان‌دهنده کارایی مصرف نور می‌باشد.

Fig. 5- Linear regression between dry matter accumulation and absorbed radiation of Milk thistle in mono and intercrop systems

The slope of regression indicates radiation use efficiency (RUE).

از سویی علی‌رغم تحقیقات زیادی که در رابطه با کارایی مصرف نور انجام شده، گزارش‌های موجود در مورد کارایی مصرف نور در گیاهان دارویی ماریتیغال و رازیانه بسیار محدود می‌باشد. از جمله تحقیقات انجام شده در رابطه با این گیاه می‌توان به تحقیق قلی بیگیان و همکاران (Gholi Beygian et al., 2008)، اشاره کرد که در آن مقدار کارایی مصرف نور در گیاه ماریتیغال تحت تأثیر مقادیر مختلف تراکم و کود نیتروژن حدود 2- 1/5 گرم بر مگاژول گزارش شد. همچنین در این آزمایش مشخص شد که کارایی مصرف نور در گیاه ماریتیغال در مقایسه با کارایی مصرف نور در گیاه رازیانه چه در تیمارهای تک‌کشتی و چه در تیمارهای کشت مخلوط مقادیر بالاتری را دارا بود. این امر می‌تواند به دلیل وجود تفاوت در سرعت رشد دو گیاه، ساختار کانوپی دو گیاه و همچنین چندساله بودن گیاه رازیانه و رشد اندک این گیاه در سال اول در مقایسه با سال دوم رشد باشد که در مجموع باعث شده تا گیاه ماریتیغال میزان زیست‌توده بالاتری را در مقایسه با گیاه رازیانه به ازای مگاژول تشعشع دریافتی تولید کند.



شکل 6- رابطه رگرسیونی بین میزان تجمع ماده خشک و تشعشع جذب شده در کشت خالص و کشت مخلوط رازیانه

شیب خط نشان‌دهنده کارایی مصرف نور می‌باشد.

Fig. 6- Linear regression between dry matter accumulation and absorbed radiation of Fennel in mono and intercrop systems

The slope of regression indicates radiation use efficiency (RUE).

کارایی مصرف نور در گیاه رازیانه

در تمامی تیمارهای کشت مخلوط ماریتیغال و رازیانه، بین ماده خشک تجمعی و میزان تشعشع تجمعی دریافت شده ارتباط خطی وجود داشت که شیب این خط بیانگر کارایی مصرف نور است و میزان آن در گیاه رازیانه از 0/7 تا 1/39 گرم بر مگاژول به‌ترتیب در تیمارهای تک‌کشتی و کشت مخلوط 75% ماریتیغال- 25% رازیانه، متغیر بود (شکل 6 الف و ب). کارایی مصرف نور دو تیمار دیگر بین این دو مقدار قرار داشت (شکل 6 ج و د). در بررسی که بر روی گیاه زیره سبز انجام شد میزان کارایی مصرف نور در این گیاه 0/9 گرم بر مگاژول گزارش شد (Kamkar et al., 2011).

به‌طور کلی، مهم‌ترین مزیت کشت‌های مخلوط بالا بردن کارآیی جذب و مصرف منابع به‌ویژه نوراست. البته استفاده از این مزایا مستلزم طراحی صحیح مخلوط و انتخاب مناسب گونه‌های همراه می‌باشد (Nassiri Mahallati et al., 2011). از این‌رو بالاتر بودن کارایی مصرف نور در تیمارهای کشت مخلوط در مقایسه با تیمار کشت خالص برای گیاه رازیانه تأیید کننده همین امر است. بالاترین میزان کارایی مصرف نور (1/39 گرم بر مگاژول) در تیمار کشت مخلوط 75% ماریتیغال- 25% رازیانه برای این گیاه حاصل شد (جدول 2). از سویی دیگر این تیمار کم‌ترین تراکم را در مقایسه با سایر تیمارها برای گیاه رازیانه دارا بود. در مطالعه‌ای مشخص شده که توزیع بهتر نور درون کانوپی سبب افزایش کارایی مصرف نور می‌شود (Beheshti et al., 2002). بنابراین، می‌توان دلیل احتمالی این امر را سازگار شدن گیاه رازیانه به شرایط نوری کم و استفاده کاراتر از همین میزان نور در دسترس در طول فصل زراعی دانست. این مسئله گویای یکی از اصول مهم در رابطه با کشت‌های مخلوط است و آن اصل تولید رقابتی است که در آن دو گونه به نحوی با یکدیگر رقابت می‌کنند که هردو از منابع موجود به صورت مؤثرتر و کاراتر استفاده می‌کنند (Javanshir et al., 2000).

جدول 2- کارایی مصرف نور (گرم ماده خشک بر مگاژول تشعشع) در دو گیاه ماریتیغال و رازیانه در سیستم تک کشتی و مخلوط

Table 2- Radiation use efficiency ($g.MJ^{-2}$) of Milk thistle and Fennel in mono and intercrop systems

تیمار Treatment	ماریتیغال Milk thistle	رازیانه Fennel
تک‌کشتی ماریتیغال Monocrop of Milk thistle	2.11^{b*}	-
تک‌کشتی رازیانه Monocrop of Fennel	-	0.71^{d}
کشت مخلوط 75% ماریتیغال - 25% رازیانه Intercropping (75% Milk thistle-25% Fennel)	1.93^{c}	1.39^{a}
کشت مخلوط 50% ماریتیغال - 50% رازیانه Intercropping (50% Milk thistle-50% Fennel)	2.36^{a}	0.93^{b}
کشت مخلوط 25% ماریتیغال - 75% رازیانه Intercropping (25% Milk thistle-75% Fennel)	1.91^{c}	0.87^{c}

*در هر ستون تفاوت بین دو میانگین دارای یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیست.

*In each column difference of means having similar letters not significant at the 5% level of probability.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش کشت مخلوط جایگزینی دو گیاه ماریتیغال و رازیانه در مقایسه با کشت خالص آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. به طور کلی، نتایج نشان داد که کشت مخلوط باعث بهبود کارایی مصرف نور در ماریتیغال و رازیانه می‌شود. به‌طوری‌که بهترین الگوی کشت مخلوط، نسبت کشت 50% ماریتیغال-50% رازیانه بود. مقدار کارایی مصرف نور برای گیاه ماریتیغال تنها در تیمار کشت مخلوط 50% ماریتیغال-50% رازیانه در بالاترین مقدار بود. این در حالی است که مقدار کارایی مصرف نور برای گیاه رازیانه در تمامی تیمارهای کشت مخلوط بالاتر از تک کشتی بود. سیستم‌های کشت مخلوط یکی از روش‌های مدیریت تولید محصولات زراعی است که در راستای رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار و عملکرد مطلوب با حداقل مصرف یا بدون مصرف نهاده‌های خارجی اجرا می‌گردد. البته مطالعات علمی زیادی در زمینه کشت مخلوط انجام گرفته و مزایای حاصله از

مخلوط‌های جایگزینی نسبت به کشت خالص این دو گیاه دارویی نیاز به مطالعات بیشتری دارد.

سپاسگزاری

هزینه‌های انجام این طرح توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی و در قالب طرح تحقیقاتی مصوب پایان نامه با کد 26556 تأمین شده است که بدین وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه فردوسی مشهد سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

Alizadeh, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2010. Evaluation of radiation interception and use in intercropping of beans *(Phaseolus vulgaris* L.) and basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agroecology 2(1): 85-94. (In Persian with English Summary)

Awal, M.A., Koshi, H., and Iked, T. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Agricultural and Forest Meteorology 139: 74-83.

Banayan, M. 2002. Development and Applications of Simulation Models in Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Mashhad, Iran. 208 pp. (In Persian)

Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S.S. 2006. Wheat and chickpea intercropping systemes in additive series experiment: Advantages and somthering. European Journal of Agronomy 24: 324-332.

Beheshti, A., Koocheki, A., and Nassiri Mahalati, M. 2002. The effect of planting pattern on light interception and radiation use efficiency in canopy of three maize cultivars. Nahal and Bazr 18(4): 417-431. (In Persian with English Summary)

Davazdah Emami, S., and Majnoon Hosseini, N. 2008. Cultivation and Production of Certain Herbs and Spices. 2nd Edition. University of Tehran Press, Tehran, Iran. 300 pp. (In Persian)

Ebrahimpour, F., and Eydizadeh, K. 2008. Medicinal Plants. Payam-e-Nur University Press. Tehran. Iran. pp. 178. (In Persian)

Gholi Beygian, M., Zarghami, R., Nasri, M., Zargari, K., and Haj Seyed Hadi, M.R. 2008. Effect of plant density and N-fertilizer on radiation use effeciency and extinction coefficient in milk thistle (*Silybum marianum* L.) as a medicinal plant. Iranian Journal of Dynamic Agriculture 6(1): 1-12. (In Persian with English Summary)

Goudriaan, J., and Van Laar, H.H. 1994. Modelling Potential Crop Growth Processes. Kluwer Academic Press. Dordrecht. Netherlants. 236 pp.

Graf, B., Gutierrez, A.P., Rakotobe, O., Zahner, P., and Delucchi, V. 1990. A simulation model for the dynamics of rice growth and development. Part II. The competition with weeds for nitrogen and light. Agricultural Systems 32: 367-392.

Hanming, H., Lei, Y., Lihua, Z., Han, W., Liming, F., Yong, X., Youyong, Z., and Chengyun, L. 2012. The Temporal-spatial distribution of light intensity in maize and soybean intercropping systems. Journal of Resources and Ecology 3(2): 169-173.

Hossein Panahi, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2010. Evaluation of radiation interception and use in intercropping of maize (*Zea mays* L.) and potato (*Solanum tuberosum* L.). Journal of Agroecology 1: 45-54. (In Persian with English Summary)

Hossein Panahi, F., Pour Amir, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2011. Evaluation of radiation interception and use in substitution intercropping of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of Agroecology 3(1): 106-120. (In Persian with English Summary)

Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., Amiri, M.B., and Ehyayi, H.R. 2013. Radiation absorption and use efficiency of Sesame as affected by biofertilizers inoculation in a low input cropping system. Industrial Crops and Products 43: 606–611.

Javanshir, A., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Hamidi, A., and Gholi Pour, M. 2000. The Ecology of Intercropping (translated). Jahad-e Daneshgahi of Mashhad Press, Mashhad, Iran. 222 pp. (In Persian)

Kamkar, B., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Teixeira da Silva, J.A., Rezvani Moghaddam, P., and Kafi, M. 2011. Fungal diseases and inappropriate sowing dates, the most important reducing factors in cumin fields of Iran, a case study in Khorasan provinces. Crop Protection 30: 208-215.

Keating, B.A., and Carberry, P.S. 1993. Resource capture and use in intercropping: solar radiation. Field Crops Research 34: 273-301.

Koocheki, A. 2001. Sustainable Agriculture. Jahad-e Daneshgahi of Mashhad Press, Mashhad, Iran. 316 pp. (In Persian)

Koocheki, A. and Khajeh Hosseini, M., 2008. Modern Agronomy. 2nd Edition. Jihad Daneshgahi of Mashhad, Mashhad, Iran. 704 pp. (In Persian)

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Madani, F., Feyzi, H., and Amir Moradi, S. 2009. Evaluation of radiation interception and use by Maize and Bean intercropping canopy. Journal of Agroecology 1(1): 13-23. (In Persian with English Summary)

Kumar, A., Pandey, V., Shekh, A.M. and Kumar, M. 2008. Radiation use efficiency and weather parameter influence during life cycle of Soybean (*Glycine max* L.) Production as well accumulation of dry matter. American-Eurasian Journal of Agronomy (2): 41-44.

Majd Nasiri, B., and Ahmadi, M.R. 2000. Effect of planting season and density on light distribution and interception in canopy in different safflower (*Carthamus tinctorious* L.) genotypes. Iranian Journal of Agriculture Science 36(1): 63-73. (In Persian with English Summary)

Mazaheri, D. 1994. Intercropping. University of Tehran Press. Tehran, Iran. 262 pp. (In Persian)

Mirhashemi, S.M., A. Koocheki, A., Parsa. M., and Nassiri Mahallati, M. 2008. Evaluating the benefit of Ajowan and Fenugreek intercropping in different levels of manure and planting pattern. Iranian Journal of Field Crops Research 7(1): 269-279. (In Persian)

Nassiri Mahallati, M. 2000. Modeling of the processes of growth of crop plants. Jihad-e Daneshgahi of Mashhad Press, Mashhad, Iran. 274 pp. (In Persian)

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Jahan, M. 2011. Radiation uptake and use efficiency in relay intercropping and consecutive culture of winter wheat and maize. Iranian Journal of Field Crops Research 8(6): 878-890. (In Persian with English Summary)

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Beheshti, A., 2001. Agroecology (translated). Ferdowsi University of Mashhad Publication, Mashhad, Iran. 459 pp. (In Persian)

Patricio, S., Ramírezb, M., and Pinochetb, D. 2012. Radiation interception and radiation use efficiency of wheat and pea under different P availabilities. Field Crops Research 127: 44–50.

Sinclair, T.R., and Muchow, R.C. 1999. Radiation use efficiency. Advances in Agronomy 65: 215-265.

Spitters, C.J.T, Van Keulen, H. and Van Kraalingen, D.W.G. 1989. A Simple and Universal Crop Growth Simulator: SUCROS87. In: Simulation and Systems Management in Crop Protection. (Eds). R. Rabbinge, S.A. Ward, and H.H. Van Laar,). Wageningen, The Netherlands p. 147-181.

Tsubo, M., Walker, S., and Ogindo, H.O. 2005. A simulation model of cereal–legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. Field Crops Research 93: 10-22.

Wells, R., and Faden, M. 1991. Soybean growth response to plant density. Relationships among canopy photosynthesis, leaf area and light interception. Crop Science 31: 805-810.

YiKa, Z., FanJun, C., Long, L., YanHua, C., BingRan, L., YuLing, Z., LiXing, Y., FuSuo, Z. and GuoHua, M. 2012. The role of Maize root size in phosphorus uptake and productivity of Maize/Faba bean and Maize/Wheat intercropping systems. Life science. Science China 55(11): 993-1001.

Journal of Agroecology
Vol. 10, No.2, Summer 2018, p. 313-326

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 10، شماره 2، تابستان 1397، ص. 326-313

Evaluation of Radiation Interception and Use Efficiency in Substitution Intercropping of Milk thistle (*Silybum marianum* L.) and Fennel (*Foenicolum vulgar* Mill.)

H. Solouki[1], M. Nassiri Mahallati[2*], A. Koocheki[2] and P. Rezvani Moghaddam[2]

Submitted: 06-11-2013
Accepted: 25-08-2014

Solouki, H., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Rezvani Moghaddam, P. 2018. Evaluation of radiation interception and use efficiency in substitution intercropping of Milk thistle (*Silybum marianum* L.) and Fennel (*Foenicolum vulgar* Mill.). Journal of Agroecology. 10(2): 313-326.

Introduction

Sunlight is the main source of energy in Agro ecosystems. Light is absorbed by leaves and this energy is stored during the process of photosynthesis in chemical bonds of organic compounds and finally converts to the plant biomass. In order to increase the efficiency of this process and understanding how light changes within the plant canopy is necessary to be aware of how changes in light absorption within a farming system, especially when considering various intercropping systems, agroforestry systems and even non-crop species management. Available reports have shown that the higher resources use efficiency in intercropping systems, especially light, water and nitrogen.

Materials and Methods

This study was aimed to investigate radiation absorption and use efficiency in substitution intercropping of milk thistle (*Silybum marianum* L.) and fennel (*Foenicolum vulgar* L.). The experiment was set up with five treatments in a randomized complete block design with three replications at the farm of the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, during 2012- 2013 growing season. In order to implement an ecological and low input system, no chemical inputs (fertilizers and pesticides) was applied. The experiment constituted 5 treatments: sole crop of milk thistle and fennel, intercropping (75% milk thistle-25% fennel), intercropping (50% milk thistle-50% fennel) and intercropping (25% milk thistle-75% fennel). Crops were harvested every eight days corresponding to 6 harvests starting with the development of the fourth leaf and ending at the early flowering. Above ground dry matter (DM) was determined after oven drying at 70 ˚C for 48 h. Leaf area was determined on the same harvested area used for the measurement of above ground dry matter. Leaf area of the Milk thistle was determined by LI3100 area meter. The green area index of Fennel was also calculated, according to the equation 1.

$GAI = M \times LWR/SLW$ (Equation 1)

GAI: green area index, M: daily dry matter allocated to the leaf + stem, LWR: leaf weight ratio and SLW: specific leaf weight.

Incident and transmitted radiation of the canopy was measured using the Sun scan Canopy Analysis System (Accu PAR LP-80). The light extinction coefficient (LEC) was determined from the slope of the linear regression between the natural logarithm of radiation transmission and leaf area index. According to the equation 2.

$$I_i/_{I_o = e^{-K.LAI}}$$ (Equation 2)

I_o:amount of radiation on the top of canopy, I_i: amount of radiation at the bottom of canopy, K: light extinction coefficient and LAI: leaf area index.

The daily light absorption for both species was calculated according to the equation 3 t0 5.

$$I_i = I_o\ (1-\exp((-K_S.L_S) + (-K_F.L_F)))$$ (Equation 3)

$$I_s = I_i\left(\frac{(K_S.L_S)}{((K_S.L_S)+(K_F.L_F))}\right)$$ (Equation 4)

1 and 2- Phd student and Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: mnassiri@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/jag.v10i2.34659

$I_F = I_i - I_s$ (Equation 5)

I_o: amount of radiation on the top of canopy, I_i: amount of radiation at the bottom of canopy, I_s: amount of absorbed radiation by milk thistle, I_F: amount of absorbed radiation by fennel, K_s: light extinction coefficient of milk thistle K_F: light extinction coefficient of fennel and L_s: leaf area index of milk thistle and L_F: leaf area index of fennel.

Radiation use efficiency (RUE) was computed by the linear regression between dry matter accumulation ($g.m^{-2}$) and cumulative amount of radiation absorption ($MJ.m^{-2}$). The data statistical analysis and draw the figures were performed by Minitab, V16, Excel and Edraw MaxV5.0. Means were also compared by HSD test at the 5% probability level.

Results and Discussion

Results indicated that radiation use efficiency of milk thistle throughout the growing season was variable from 1.91 to 2.36 $g.MJ^{-1}$ and in intercropping treatment (50% milk thistle-50% fennel) was at the highest amount. The amount of radiation use efficiency in fennel was variable from 0.71 to 1.39 $g.MJ^{-1}$. The best recommendable treatment for intercropping of milk thistle and fennel was (50% milk thistle-50% fennel), in which case radiation use efficiency of milk thistle was at the highest level (2.36 $g.MJ^{-1}$) and radiation use efficiency of fennel was higher than sole cropping (0.93 $g.MJ^{-1}$). Based on the findings of this study it seems that enhancing diversity in agronomic practices is an effective operational approach to increasing the efficiency of resources.

Acknowledgments

The authors acknowledge the financial support of the project (Grant number 26556) by Vice President for Research and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Keywords: Cumulative dry matter, Light extinction coefficient, Medicinal plants, Radiation absorption, Temporal diversity