Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 52, No 1, Sprig 2021 (109-121)
DOI: 10.22059/ijfcs.2020.291824.654652

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۰ (ص۱۲۱-۱۰۹)

بررسی اثر تنش کم آبی بر میزان جذب نور، کارایی مصرف نور و عملکرد ارقام مختلف ذرت (*Zea maize* L.) در شرایط ایلام

اخلاص امینی[۱]، علی‌اشرف مهرابی*[۲]، علی حاتمی[۳]، خلیل فصیحی[۴]، یاسر علی‌زاده[۵]

۱و۲و۳و٤و۵- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، استادیار، استادیار و استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۱۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲٤)

چکیده

به‌منظور بررسی جذب و کارایی مصرف نور و عملکرد ارقام ذرت دانه‌ای در سطوح مختلف آبیاری، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ایلام اجرا شد. آبیاری در سه سطح به کرت‌های اصلی (آبیاری پس از ۷۰، ۱۰۵ و ۱٤۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) اختصاص یافت و کرت‌های فرعی شامل چهار رقم هیبرید سینگل کراس ذرت (٥۲٤، ٦٦٦، ٦۷۷ و ۷۰٤) بود. سطوح آبیاری از نظر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت، اختلاف معنی‌دار داشتند. عملکرد دانه در سطح آبیاری I۱۰۵، حدود ۱۹ درصد و در سطح آبیاری I۱٤۰، حدود ٤۲ درصد کاهش یافت. شاخص برداشت در سطح آبیاری I۱٤۰، ۰/۸ درصد کاهش نشان داد. نتایج نشان داد که حداکثر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک، به‌ترتیب در ارقامSC704 SC677 مشاهده شد. تاثیر سطوح آبیاری بر کارایی مصرف نور معنی‌دار بود. بالاترین کارایی مصرف نور در ارقام مورد مطالعه در سطح آبیاری I۷۰ (با میانگین ۲/٤۳ گرم بر مگاژول) مشاهده شد. کمبود آب در سطح آبیاری I۱٤۰ باعث شد کارایی مصرف نور نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی، ۲٥/۱۱ درصد کاهش یابد. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد گرچه کارایی مصرف نور در شرایط تنش خشکی در تمامی ارقام ذرت کاهش یافت، ولی رقم SC٦۷۷ چه در شرایط تنش و چه در شرایط آبیاری مطلوب، بالاترین کارایی مصرف نور را نسبت به ارقام دیگر داشت.

واژه‌های کلیدی: تابش فعال فتوسنتزی، سطح آبیاری، شاخص سطح برگ.

Effect of drought stress on light absorption, radiation use efficiency and yield of different maize varieties (*Zea maize. L.*) under Ilam conditions

Ekhlas Amini[1], Ali Ashraf Mehrabi*[1], Ali Hatami[1], Khalil Fasihi[1], Yaser Alizadeh[1]

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Ilam

(Received: November 2, 2019- Accepted: January 14, 2020)

ABSTRACT

In order to investigate the light absorption and radiation use efficiency and grain yield of maize varieties in irrigation different levels, split plots experiment in randomized complete block design were conducted with three replications at Ilam University Research Field. Irrigation at three levels was assigned to the main plots (irrigation after 70, 105 and 140 mm evaporation from evaporation pan Class A) and four single cross corn hybrid varieties (524, 666, 677 and 704) were sub plots. Irrigation levels were significantly different in grain and biologic yields and harvest index. Grain yield decreased by 19% and 42% at I105 and I140 irrigation levels, respectively. Harvest index decreased by 0.8% at I140 Irrigation level. Results showed that maximum grain and biologic yields were observed in SC704, SC677 varieties, respectively. The effect of irrigation levels was significant on radiation use efficiency. The highest radiation use efficiency was observed in the studied varieties at I70 irrigation level (with an average of 2.43 g/mJ). Water deficit at I140 Irrigation level, radiation use efficiency was reduced by 25.11% relative to optimum moisture conditions. Based on the results, although all maize varieties showed reduced radiation use efficiency under drought stress, SC677 variety had the highest radiation use efficiency under stress and optimum irrigation conditions, compared to other varieties and cultivation of this variety is recommended, especially under stress conditions.

Keywords: Irrigation level, leaf area index, photosynthesis active radiation.

* Corresponding author E-mail: a.mehrabi@ilam.ac.ir

مقدمه

گیاهان همواره در معرض عوامل تنش‌زای محیطی قرار می‌گیرند و تحت تاثیر این عوامل تنش‌زا، رشد و عملکرد آن‌ها به شدت کاهش می‌یابد (Liu *et al*., 2009). در حال حاضر در بین عوامل تنش‌زا، خشکی خاک، گسترده‌ترین عامل تنش‌زای غیرزیستی در جهان است، به‌طوری‌که ۴۵ درصد زمین‌های زراعی جهان در معرض خشکی مستمر یا شدید قرار دارند و در این زمین‌ها، ۳۸ درصد جمعیت جهان ساکن هستند (Ashraf, 2010). بروز تنش رطوبتی در طول مراحل مختلف رشد ذرت، عملکرد آن را به درجات متفاوت کاهش می‌دهد که شدت کاهش عملکرد، نه تنها به شدت تنش بلکه به مرحله رشدی گیاه وابسته است (Cheng *et al*., 2017).

از روش‌های مهم برای افزایش عملکرد، بالا بردن بهره‌وری استفاده از منابع طبیعی مانند آب و مواد غذایی خاک، تشعشع خورشید، دی اکسید کربن اتمسفر می‌باشد. در بین منابع طبیعی، نور قابلیت ذخیره شدن ندارد و می‌تواند محدودیت بیشتری را در پی داشته باشد (Awal, 2006). شدت نور در یک منطقه، نسبتاً ثابت است و می‌توان از آن به عنوان منبعی نام برد که به‌طور کارآمدتری نسبت به سایر منابع مصرفی، بر تولید محصولات زراعی تاثیرگذار است (Yousef Nia *et al*., 2015). رشد و نمو گیاهان به‌طور مستقیم و غیرمستقیم، تحت تاثیر تشعشع خورشیدی قرار می‌گیرد (Kumar *et al*., 2008). کمیت و چگونگی تثبیت انرژی نورانی در گیاهان، از مهم‌ترین شاخص‌های اگروفیزیولوژیکی تعیین کننده رشد و عملکرد گیاهان می‌باشد (Zhang *et al*., 2008) که در اکوسیستم‌های زراعی، به دلیل انجام روش‌های مختلف مدیریت، دچار تغییر می‌شود. تنش خشکی، یکی از شرایط محیطی موثر بر این تغییرات است. خشکی به واسطه سه مکانیزم، عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد: الف) کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) توسط کانوپی که ناشی از کاهش سطح برگ می‌باشد (Earl and Davis, 2003)، ب) کاهش کارایی مصرف نور به ازای واحد نور جذب شده که این کاهش، به‌وسیله اندازه‌گیری میزان ماده خشک تجمع یافته در واحد نور جذب شده در یک دوره زمانی خاص (Stone *et al*.,2001)، تعیین می‌شود و ج) کاهش آنی در تبادل گاز کربنیک به ازای واحد نور جذب شده (Shekari, 2001).

کارایی مصرف نور، بیانگر مقدار ماده خشک تولید شده به ازای واحد نور جذب شده است و واحد آن، گرم ماده خشک تولید شده بر مگاژول تشعشع جذب شده می‌باشد (Hosseinpanahi, 2008). بین وزن خشک تولیدی با میزان نور جذب شده رابطه خطی وجود دارد (Muurinen *et al*., 2006). شیب رگرسیون خطی بین جذب تشعشع تجمعی و بیوماس تولیدی گیاه، کارایی مصرف نور را تعیین می‌کند (Ceotto and Castelli 2002; Akmal and. Janssens, 2004). گیاهان چهار کربنه، دارای کارایی مصرف نور بالاتری نسبت به گونه‌های سه کربنه می‌باشند و در گیاهان چهار کربنه، حداکثر کارایی مصرف نور، به‌ترتیب به نیشکر، ذرت و سورگوم با دو، ۱/۷۷ و ۱/۴ و در گیاهان سه کربنه، بالاترین کارایی مصرف نور به‌ترتیب به سیب‌زمینی، آفتابگردان، برنج و جو با ۱/۶۷، ۱/۵۶، ۱/۴۶ و ۱/۳۹ گرم بر مگاژول تعلق دارد (Sinclair and Muchow 1999). برخی از محققین (Mendham *et al*.,1981; Dwyer *et al*., 1992) گزارش کرده‌اند که کارایی مصرف نور عمدتاً از طریق عوامل ژنتیکی کنترل می‌شود، ولی تحت تاثیر عوامل محیطی و عملیات مدیریتی قرار می‌گیرد. کمبود آب و ژنوتیپ، از عوامل موثر در تغییر کارایی مصرف نور می‌باشند. این‌که آیا ارقام مختلف در شرایط تنش با حفظ شاخص سطح برگ بتوانند کارایی مصرف نور بالاتری داشته باشند و به دنبال آن، عملکرد خود را در سطح بالاتر حفظ کنند، بسیار حائز اهمیت است؛ بنابراین آزمایش حاضر با هدف ارزیابی کارایی مصرف نور و بررسی اثر آن بر عملکرد گیاه در سطوح مختلف آبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی جذب، کارایی مصرف نور و عملکرد ارقام ذرت دانه‌ای در سطوح مختلف آبیاری، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ایلام با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۱۷۴ متر انجام شد. طبق نتایج آزمون خاک، بافت خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متری لومی و از عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری لومی رسی بود (جدول ۱). درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی، ۲۵ درصد بود. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی به سه رژیم آبیاری، I۷۰: آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (شرایط رطوبتی مطلوب)، I۱۰۵: آبیاری پس از ۱۰۵ میلی‌متر تبخیر و I۱۴۰: آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر و کرت‌های فرعی به چهار رقم هیبرید ذرت (۵۲۴، ۶۶۶، ۶۷۷ و ۷۰۴) اختصاص داده شدند. رقم ۷۰۴ با طول دوره رشد ۱۳۵-۱۲۵ روز، جزو ارقام هیبرید دیررس است و میانگین عملکرد دانه آن، هشت تن در هکتار می‌باشد. ارقام ۶۷۷ و ۶۶۶ جزو ارقام هیبرید میان‌رس هستند و پنج تا شش روز زودتر از رقم ۷۰۴ آماده برداشت می‌شوند. رقم ۵۲۴، هیبرید میان‌رس است و طول دوره رشد آن، هفت تا ده روز کمتر از رقم ۷۰۴ است. کرت‌های فرعی به ابعاد چهار متر در چهار متر آماده شدند. عملیات کاشت در ۱۵ اردیبهشت ماه به روش دستی و به‌صورت کپه‌ای، با تراکم نهایی ۶/۶۷ بوته در مترمربع در عمق چهار تا پنج سانتی‌متری انجام شد. اعمال سطوح مختلف آبیاری پس از استقرار کامل گیاه، از مرحله چهار تا شش برگی آغاز و تا رسیدگی دانه ادامه یافت. سطوح مختلف آبیاری بر اساس میزان تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A اعمال شد. برای تامین عناصر غذایی مورد نیاز بر اساس آزمون خاک، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به خاک اضافه شد؛ یک سوم کود اوره قبل از کاشت و بقیه کود در دو مرحله چهار تا شش برگی و قبل از ظهور گل‌تاجی مصرف شد و با توجه به میزان فسفر و پتاسیم خاک، از کودهای فسفره و پتاسه استفاده نشد. در تاریخ ۱۱ شهریور ماه و با در نظر گرفتن اثر حاشیه، از هر کرت شش بوته به‌طور تصادفی برای اندازه‌گیری صفات عملکردی برداشت شد. برای محاسبه کارایی مصرف نور، میزان شاخص سطح برگ روزانه و همچنین تشعشع جذب شده روزانه برآورد شد. بدین منظور، مقادیر شاخص سطح برگ روزانه با برازش تابع لجستیک پیک (معادله ۱) به مقایر LAI اندازه‌گیری شده (Y) تعیین شد (Tsubo *et al*., 2005) .

(معادله ۱):

$$y=a+b\times4\times(\exp(-(x-c)/d))/(1+\exp(-(x-c)/d))^2$$

که در آن، a: عرض از مبدا، b: زمان رسیدن به حداکثر LAI، c: حداکثر LAI، d: نقطه عطف منحنی که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود و x: زمان بر حسب روز پس از کاشت است.

میزان تشعشع خورشیدی روزانه، بر اساس تعداد ساعات آفتابی استخراج شده از داده‌های ایستگاه هواشناسی ایلام، به روش گودریان و وان‌لار (Goudriaan & Van Laar, 1993) محاسبه شد و تشعشع جذب شده روزانه بر اساس معادله (۲) محاسبه شد.

$$Iabs=I0\times(1-P)\times(1-\exp(-K\times LAI)) \quad \text{(معادله ۲)}$$

در این معادله، Iabs: نور جذب شده توسط کانوپی (مگاژول بر مترمربع)، I0: نور رسیده به بالای کانوپی (مگاژول بر مترمربع)، P: ضریب انعکاس که ۰/۰۵ منظور شد، K: ضریب خاموشی ذرت که ۰/۷ در نظر گرفته شد (Goldani *et al*., 2009) و LAI: شاخص سطح برگ است. برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ، هر هفت روز یک بار، از بوته ها نمونه‌گیری شد و سطح برگ‌ها توسط دستگاه سطح برگ سنج مدل CL۲۰۳ ساخت ایالات متحده آمریکا اندازه‌گیری شد. اولین مرحله اندازه‌گیری LAI، ۵۶ روز پس از کاشت انجام شد.

کارایی مصرف نور با محاسبه شیب خط رگرسیون بین مادهٔ خشک (گرم بر متر مربع) و میزان تشعشع تجمعی (مگاژول بر متر مربع) محاسبه شد (Hoosienpanahi *et al*., 2010). محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برازش و

رسم نمودارها نیز به‌ترتیب با نرم افزارهای Slide write و Excel انجام شد.

جدول ۱- مشخصات خاک محل اجرای آزمایش

Table 1.Characteristics of soil in experimental site

Soil depth (cm)	Texture	EC ($ds.m^{-1}$)	PH	O.C (%)	N (%)	P (ppm)	K $(ppm)^{-1}$
0-30	Loamy	0.62	7.32	1.4	0.12	19.6	601
30-60	Loamy-Clay	0.69	7.14	1.17	0.08	17.6	470

نتایج و بحث

عملکرد دانه و بیولوژیک و شاخص برداشت

تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد دانه تحت تاثیر اثر آبیاری و رقم، به‌ترتیب در سطح یک وپنج درصد قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات ارزیابی شده

Table 2. Analysis of variance of evaluated traits

S.O.V	Df	Mean Squares				
		Grain yield	Biologic yield	Harvest index	Leaf area index	Radiation use efficiency
Block	2	556099.9^{ns}	1612803.4^{ns}	47.283*	0.032 ^{ns}	0.193 ^{ns}
Irrigation	2	57359841.2**	145618334.7**	61.667*	2.309**	1.064**
Ea	4	1324652.9	7723874.4	14.291	0.180	0.067
Variety	3	1797020.9*	9766327.0*	37.306^{ns}	0.052 ^{ns}	0.042 ^{ns}
Variety × Irrigation	6	677594.9^{ns}	597983.2^{ns}	16.477^{ns}	0.005 ^{ns}	0.12 ^{ns}
Eb	18	487129.1	2927310.9	13.214	0.031	0.1
Coefficient of variation		8.50	10.94	6.93	6.09	17.30

*و** و^{ns}: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیرمعنی‌دار.

ns, *,**: non-significant and significant at 0.05% and 0.01% of probability levels, respectively.

سطح آبیاری I۷۰ با عملکرد ۱۰۳۰۶/۵ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد و سطح آبیاری I۱۴۰ با ۴۲/۳۲ درصد کاهش، کمترین مقدار عملکرد دانه را به خود اختصاص داد (جدول ۳). بین ارقام، رقم SC۶۷۷ دارای بیشترین عملکرد (۸۸۲۰/۷ کیلوگرم در هکتار) و رقم SC۵۲۴ دارای کمترین عملکرد در واحد سطح بودند. علت کاهش عملکرد دانه در شرایط محدودیت آبی، کاهش تعداد دانه و وزن دانه می‌باشد (Maazou *et al*., 2016). تجزیه واریانس صفت عملکرد بیولوژیک نشان داد که که تنها اثرات آبیاری و رقم بر عملکرد بیولوژیک ذرت معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات ارزیابی شده معنی دار

Table 3. Mean comparison of the significant traits

Treatment	Grain yield (kg/ha)	Biologic yield (kg/ha)	Harvest index	Leaf area index	Radiation use efficiency (g/MJ)
Irrigation					
I70	10306.5 a	18991 a	54.23 a	3.37 a	2.43 a
I105	8390.4 b	15899 a	53.18 a	2.83 b	2.16 ab
I140	5944.6 c	12039 b	49.89 b	2.50 b	1.83 b
Variety					
SC524	7784.7 b	14506.8 b	53.73 a		
SC666	8000.9 b	15014.3 ab	53.52 a	-	-
SC677	8820.7 a	16445.9 a	53.08 a		
SC704	8248.9 ab	16604.6 a	49.41 a		

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصدمی‌باشند

In each column means with the similar letter are not significantly different (P<0.05).

دلیل افزایش عملکرد بیولوژیک در سطح آبیاری I۷۰، گسترش بیشتر سطح برگ بود که موجب ایجاد توان بالایی در جهت استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی و تولید عملکرد بیولوژیک شد. رقم SC۷۰۴ با توجه به طولانی‌تر بودن دوره رشد و استفاده وسیع‌تر از منابع، عملکرد بیولوژیک بالاتری را در مقایسه با سایر ارقام تولید کرد (جدول ۳).

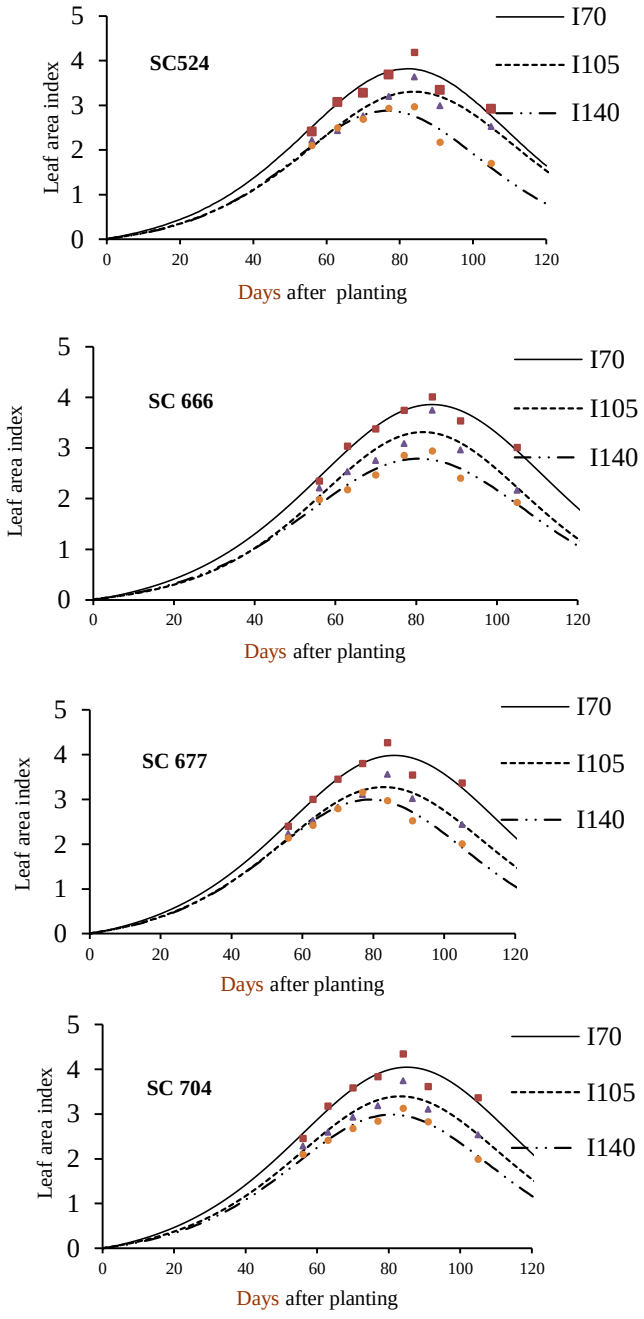
سطوح آبیاری بر شاخص برداشت اثر معنی‌داری نشان داد. سطح آبیاری I۷۰ بیشترین (۵۴/۲۳ درصد) و سطح آبیاری I۱۴۰ کمترین (۴۹/۸۹ درصد) میزان شاخص برداشت را دارا بودند (جدول ۳). علت کمتر بودن شاخص برداشت در شرایط محدود رطوبتی، کاهش بیشتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک است (Dehghani *et al*., 2017). عملکرد دانه ذرت، به کم‌آبی حساس‌تر می‌باشد، زیرا کم‌آبی از چند جنبه از جمله ممانعت از لقاح، سقط جنین، کاهش حضور مواد غذایی، افزایش تنفس و کاهش طول دوره‌ی پر شدن دانه (Gooding *et al*., 2003) عملکرد دانه را تهدید می‌کند؛ بنابراین با توجه به فرمول شاخص برداشت، با کاهش شدیدتر عملکرد دانه در صورت کسر، شاخص برداشت در شرایط محدودیت رطوبتی کاهش می‌یابد. کاهش شاخص برداشت تحت شرایط کمبود آب، توسط پژوهشگران دیگر (Ghazian Tafrishi *et al*., 2013) در ذرت گزارش شده است.

شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فقط اثر آبیاری بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین شاخص سطح برگ به سطح آبیاری I۷۰ (۳/۳۷) و کمترین آن با ۲۵/۸۲ درصد کاهش، به سطح آبیاری I۱۴۰ تعلق داشت. شکل (۱) روند تغییرات شاخص سطح برگ را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است، در ابتدای دوره رشد و با گذشت زمان، افزایش شاخص سطح برگ به کندی صورت گرفت و در ادامه، افزایش شاخص سطح برگ روند خطی یافت و پس از آن که در انتهای فصل رشد به حداکثر مقدار خود رسید، به دلیل پیری و ریزش برگ‌ها، روند نزولی را در پیش گرفت. محققین اظهار داشتند که منحنی رشد برگ به‌صورت لگاریتمی است که در اواسط فصل رشد به حداکثر خود می‌رسد و سپس با از بین رفتن برگ‌های پیر کاهش می‌یابد و سطح برگ از بین رفته با سطح برگ جدید ساخته شده کاملاً جبران نمی‌شود (Jaggard and Clark. 2000). در ابتدای فصل رشد، بین شاخص سطح برگ در تیمارهای مختلف آبی در همه ارقام، تفاوت جزئی مشاهده شد، زیرا در ابتدای فصل رشد گیاه، بیشتر انرژی صرف توسعه ریشه می‌شود، ولی با شروع رشد سریع گیاه، اختلاف شاخص سطح برگ در تیمارها مورد مطالعه افزایش یافت. بیشترین شاخص سطح برگ در سطح آبیاری I۷۰ مشاهده شد و ارقام ۶۷۷ SCو SC۷۰۴ در این سطح آبیاری، دارای بیشترین شاخص سطح برگ بودند. ارقام SC۶۷۷ و SC۷۰۴ به دلیل طولانی بودن دوره رشدشان، فرصت بیشتری برای توسعه سطح برگ دارند. کمبود آب باعث کاهش شاخص سطح برگ شد و کمترین شاخص سطح برگ در سطح آبیاری I۱۴۰ مشاهده شد. ۵۶ روز پس از کاشت، تفاوت معنی‌داری بین سطوح آبیاری از نظر شاخص سطح برگ مشاهده نشد، اما از ۶۳ روز پس از کاشت که گیاهان مدت بیشتری با تنش کم‌آبی مواجه بودند تا انتهای دوره رشد، اختلاف بین سطوح آبیاری معنی‌دار بود (شکل ۲).

تغییر شاخص سطح برگ، فرایند مهمی است که محصولات تحت تنش، از آن طریق کنترل خود را بر منابع آبی حفظ می‌کنند Blum and Emercon, (1998). نتایج تحقیقات مختلف نشان داد که تنش کمبود آب با کاهش شاخص سطح برگ، باعث کاهش سطح فعال فتوسنتزی و در نتیجه کاهش عملکرد می‌شود (Cakir, 2004). محققین اعلام کردند با افزایش تنش خشکی، شاخص سطح برگ کاهش یافت و تنش خشکی در مرحله رویشی در مقایسه با مرحله زایشی، شاخص سطح برگ بالاتری را به خود اختصاص داد (Baghbani Arani *et al*., 2017). تنش ناشی از کمبود رطوبت قبل و بعد از گلدهی، اثرات متفاوتی را بر سطح برگ می‌گذارد. تنش خشکی پیش از گلدهی، گسترش برگ را از راه کاهش اندازه سلول‌ها محدود می‌کند و ممکن است تغییری در شکل برگ هم ایجاد نماید (Emam and Seghatoleslami, 2005)، در

حالی که تنش خشکی بعد از گلدهی، از طریق تسریع پیری برگ، سبب کاهش شاخص سطح برگ می‌شود.



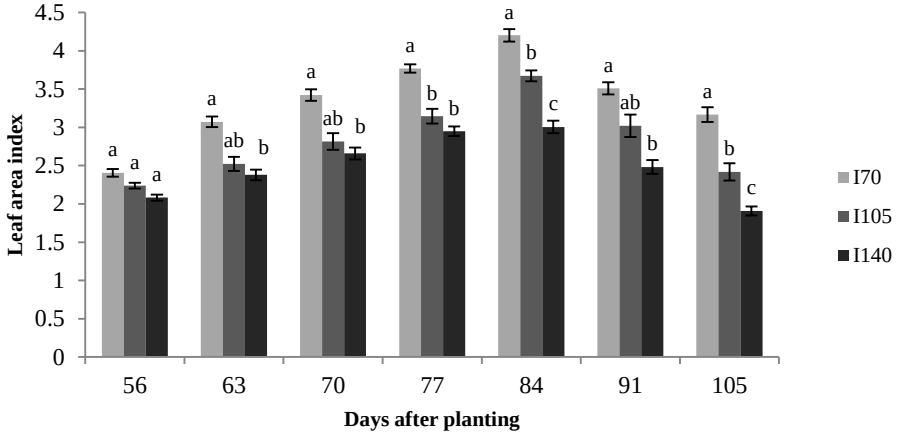
شکل ۱- اثر سطوح مختلف آبیاری بر شاخص سطح برگ ارقام ذرت

Figure 1.The effect of different levels of irrigation on leaf area index of corn varieties

کارایی مصرف نور

جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنها تاثیر آبیاری بر کارایی مصرف نور معنی‌دار (در سطح احتمال یک درصد) بود (جدول ۲). کمبود آب باعث کاهش کارایی مصرف نور شد، به‌طوری‌که کمترین میزان آن در سطح آبیاری I۱۴۰ (۱/۸۳ گرم بر مگاژول) مشاهده شد (جدول ۳). شیب خط رگرسیونی برازش یافته به تغییرات ماده خشک تجمعی در برابر تشعشع تجمعی جذب شده، بیانگر کارایی مصرف نور توسط گیاه می‌باشد (Koocheki *et*

al., 2017). در همه تیمارهای مورد بررسی، ارتباط خطی بین ماده خشک تجمعی و تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی با ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۸۶ وجود داشت (شکل ۳) شیب این ارتباط، بیانگر کارایی مصرف نور می‌باشد که در سطوح آبیاری و ارقام مختلف متفاوت بود.

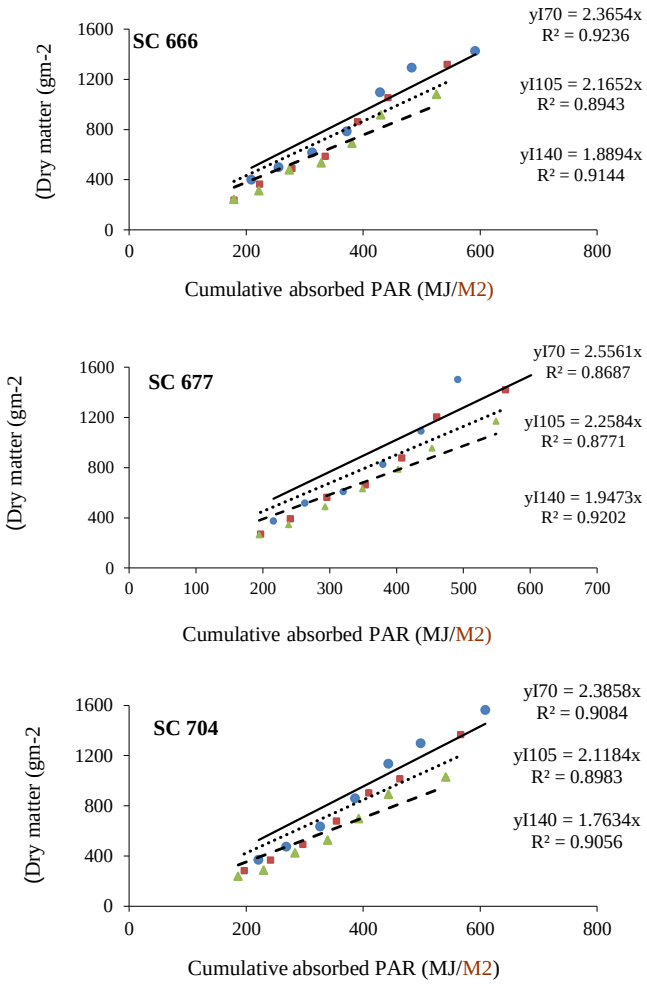


شکل ۲- تغییرات شاخص سطح برگ در سطوح مختلف آبیاری در طول دوره رشد در هر مرحله زمانی، ستون‌های با حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند. خطوط عمودی نشان دهنده خطای معیار می‌باشند.
Figure 2. Leaf area index changes of different irrigation levels during the growth period. At each period, column with the same letter are not significantly different at 5% of probability level. Vertical bars represent standard errors.

بالاترین کارایی مصرف نور در ارقام مورد مطالعه، در سطح آبیاری I۷۰ (با میانگین ۲/۴۳ گرم بر مگاژول) مشاهده شد و کمبود آب در سطوح آبیاری I۱۰۵ و I۱۴۰ باعث کاهش کارایی مصرف نور شد، به‌طوری‌که کمترین کارایی مصرف نور در سطح آبیاری I۱۴۰ (با میانگین ۱/۸۲ گرم بر مگاژول) مشاهده شد. در سطح آبیاری I،۱۴۰ کمبود آب شبب کاهش ۲۵/۱۱ درصدیکارایی مصرف نور نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی شد. کمبود آب از طریق کاهش فتوسنتز، منجر به کاهش ماده خشک در بخش‌های مختلف گیاه و در نتیجه کاهش کارایی مصرف نور شد. در بین ارقام مورد مطالعه، رقم SC۶۷۷ در تمام سطوح آبیاری، دارای بالاترین کارایی مصرف نور بود. کارایی مصرف نور بیشتر در این رقم، نشان دهنده این است که در تبدیل نور به ماده خشک بهتر عمل می‌کند و از یک واحد نور، مقدار ماده خشک بیشتری تولید می‌کند. در سطح آبیاری I۷۰، کمترین کارایی مصرف نور در رقم SC۶۶۶ (۲/۳۶۵ گرم بر مگاژول) دیده شد. در سطح آبیاری I۱۰۵، حداقل کارایی مصرف نور مربوط به رقم SC۷۰۴ (۲/۱۱۸ گرم بر مگاژول) بود و در سطح آبیاری I۱۴۰، کمترین کارایی مصرف نور در رقم SC۵۲۴ دیده شد. اگرچه کارایی مصرف نور، بیشتر از طریق عوامل ژنتیکی تحت تاثیر قرار می‌گیرد، ولی عوامل محیطی و عملیات مدیریتی، به دلیل نقش مهم در فعالیت فتوسنتزی، این عامل را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Monteith, 1972).

شرایط محیطی از جمله میزان تابش، کمبود آب، تنش مواد غذایی، بیماری‌ها و یا دمای کم می‌توانند سبب تغییر کارایی مصرف نور شوند (O'Connell *et al*., 2004). مقدار آب خاک، تعیین کننده وضعیت آب گیاه است و وضعیت آب گیاه، نقش کلیدی در تنظیم هدایت روزنه‌ای و به تبع آن فتوسنتز کانوپی دارد. کمبود آب در خاک، باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز می‌شود. کاهش کارایی فتوسنتز نیز به نوبه خود، باعث کاهش کارایی مصرف نور در کانوپی می‌شود (Richter *et al*., 2001). در شرایط تنش خشکی در تعدادی از لگوم‌های زراعی، کاهش کارایی مصرف نور نزدیک به ۷۰ درصد مشاهده شده است (Nam *et a*l., 1998). همچنین برتری گونه‌های چهار کربنه نسبت به گونه‌های سه کربنه در کارایی مصرف

نور، با افزایش شدت تنش خشکی از بین می‌رود.

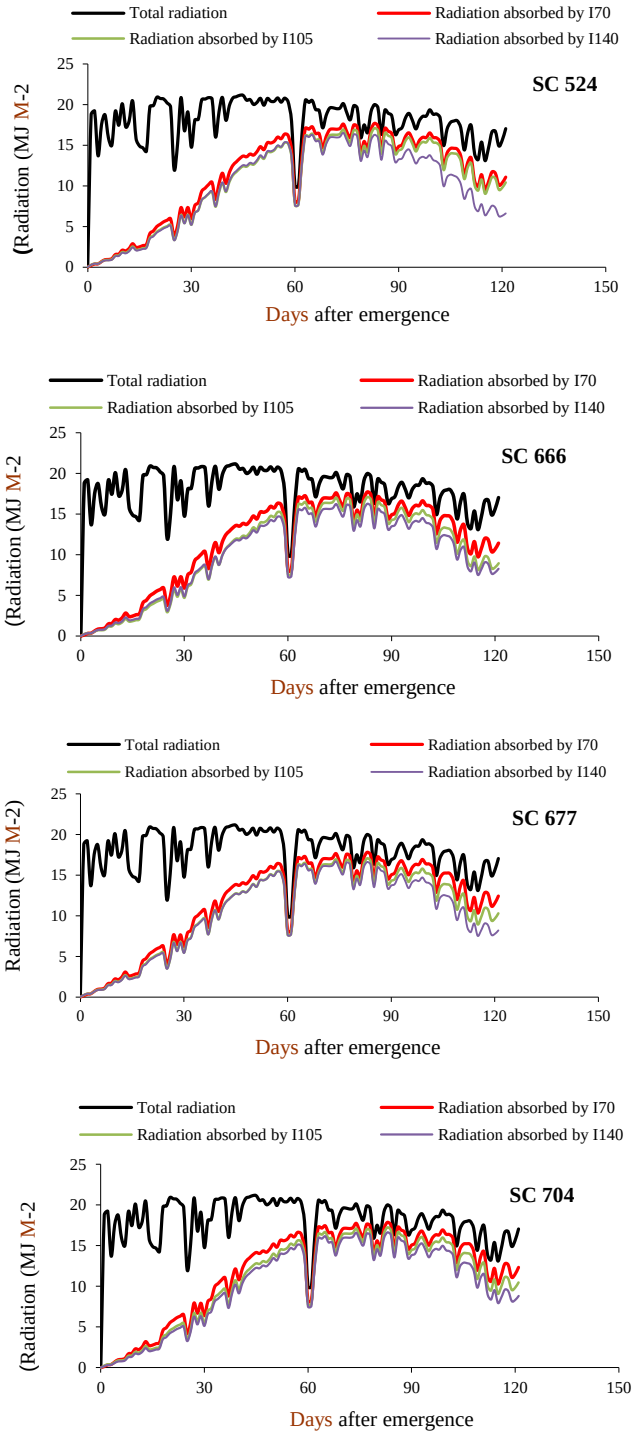


شکل ۳- اثر سطوح مختلف آبیاری بر کارایی مصرف نور ارقام ذرت

Figure 2. Effect of different irrigation levels on radiation use efficiency of corn varieties

در بسیاری از نواحی بسیار خشک مانند غرب آفریقا، کارایی مصرف نور در گیاهانی مانند ارزن مزواریدی و سورگوم (چهار کربنه)، اغلب مشابه گیاهانی مثل لوبیا (سه کربنه) است (Tesfaye *et al.*, 2006). Ezzat Ahmadi *et al* (2012) نیز دریافتند که شرایط تنش خشکی، سبب کاهش شاخص سطح برگ گندم و متعاقب آن کاهش قابل توجه کارایی مصرف نور نسبت به حالت آبیاری مطلوب می‌شود. بررسی کارایی مصرف نور در چچم دائمی (*Lolium perenne* L.) نشان داد که در شرایط تنش خشکی، کارایی مصرف نور ۲/۸۲-۲/۰۱ گرم بر مگاژول و در شرایط عدم تنش خشکی، کارایی مصرف نور ۴/۲۴-۳/۳۴ گرم بر مگاژول بود (Akmal and. Janssens, 2004). روند تغییرات کل تشعشع رسیده به سطح زمین و میزان تشعشع جذب شده توسط کانوپی ذرت در شکل (۳) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که اگرچه در ابتدای دوره رشد، میزان کل تشعشع ورودی زیاد است، ولی به دلیل پایین بودن شاخص سطح برگ و باز بودن کانوپی، جذب نور توسط گیاه محدود می‌باشد. با گذشت زمان و متناسب با افزایش شاخص سطح برگ، میزان جذب نور توسط کانوپی افزایش یافت و پس از رسیدن به میزان حداکثر خود، به علت کاهش سطح برگ، تا انتهای دوره رشد روند نزولی در پیش گرفت. در شرایط کمبود آب، سرعت کاهش روند

جذب نور بیشتر است.



شکل ۴- اثر سطوح مختلف آبیاری بر روند جذب تشعشع ارقام ذرت

Figure 3. Effect of different irrigation levels on absorbed radiation of corn varieties

با توجه به این‌که جذب نور به میزان تشعشع برخورد کرده به کانوپی، شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی

نور بستگی دارد و از آن‌جا که در این آزمایش، ضریب خاموشی نور ثابت و برابر ۰/۶ در نظر گرفته شد، بنابر این تفاوت جذب تشعشع در تیمارهای مختلف، ناشی از تفاوت در شاخص سطح برگ آنها بود. به علت این‌که ارقام ذرت مورد بررسی از نظر شاخص سطح برگ اختلاف معنی‌داری نداشتند، از نظر جذب تشعشع نیز تفاوتی نشان ندادند. سطوح آبیاری در این آزمایش، جذب تشعشع توسط کانوپی را تحت تاثیر قرار داد و کمبود آب، باعث کاهش جذب تشعشع شد، زیرا کمبود آب علاوه بر کاهش شاخص سطح برگ، غلظت کلروفیل a و b را به‌طور متوسط به‌ترتیب در حدود ۳۵ و ۳۸ ئرصد کاهش می‌دهد (Kafi *et al.*, 2009)؛ این در حالی است که جذب انرژی نورانی از طریق برگ‌ها، مستلزم حضور رنگدانه‌های گیاهی می‌باشد. در اواخر دوره رشد، تفاوت جذب تشعشع در سطوح مختلف آبیاری بیشتر شد. کاهش جذب تابش توسط پوشش گیاهی پس از گرده‌افشانی در تمام تیمارها، ناشی از پیری تدریجی برگ‌های پایین و سایه‌اندازی برگ‌های بالایی است (Beheshti *et al.*, 2002; Vargas *et al*., 2002) Araus *et al* .(2003) نیز اثر تنش رطوبتی بر تسریع پیری برگ، کاهش سطح سبز برگ و در نتیجه کاهش جذب نور فعال فتوسنتزی گزارش کردند.

عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک، شاخص سطح برگ و کارایی مصرف نور همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد و با شاخص برداشت همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح پنج درصد داشت. بین عملکرد بیولوژیک با شاخص سطح برگ و کارایی مصرف نور همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت. کارایی مصرف نور، همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد با شاخص برداشت و شاخص سطح برگ نشان داد (جدول ۴).

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی در ارقام ذرت تحت شرایط تنش خشکی

Table 4. Correlation coefficients among investigated traits in corn varieties under drought stress

Variables	Grain yield	Biologic yield	Harvest index	Leaf area index	Radiation use efficiency
Grain yield	1				
Biologic yield	0.939**	1			
Harvest index	0.408*	0.077ns	1		
Leaf area index	0.825**	0.850**	0.144ns	1	
Radiation use efficiency	0.663**	0.500**	0.567**	0.535**	1

*و** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیرمعنی‌دار.

ns, *,**: non-significant and significant at 0.05% and 0.01% of probability levels, respectively.

نتایج همبستگی، نشان‌دهنده ارتباط بین شاخص سطح برگ، کارایی مصرف نور و عملکرد ذرت بود. ماده خشک تولید شده در گیاه، به میزان دی‌اکسیدکربن تثبیت شده و تسهیم آن بستگی دارد و در شرایط بدون تنش، میزان ماده خشک تولیدی به‌طور مستقیم به میزان نور جذب شده گیاه وابسته است (Lindqueist *et al*., 2005). کارایی بالاتر مصرف نور، نشان‌دهنده استعداد بیشتر گیاه در تبدیل نور به زیست توده می‌باشد و به دلیل همبستگی بالای بین کارایی مصرف نور و تولید ماده خشک، بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی رشد محصول با استفاده از مفهوم RUE برای پیش‌بینی رشد و عملکرد محصول در محیط‌های مختلف ساخته شده است (Muchow *et al.*, 1990; Brisson *et al*., 2003;) در شرایط تنش، کاهش شاخص سطح برگ گیاه ذرت، سبب کاهش میزان جذب نور و در نتیجه کاهش عملکرد می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

کمبود آب سبب کاهش همه صفات مورد بررسی شد. در سطح آبیاری I۱۴۰، عملکرد دانه و بیولوژیک، شاخص برداشت و سطح برگ و کارایی مصرف نور، به‌ترتیب ۴۲/۲۳، ۳۶/۶۱، ۰/۸، ۲۵/۸۲ و ۲۵/۱۱ درصد

کاهش نشان دادند. در بین ارقام مورد بررسی، ارقام SC۶۷۷ و SC۵۲۴، به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین عملکرد دانه در واحد سطح بودند. عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد بیولوژیک، شاخص سطح برگ و کارایی مصرف نور در سطح یک درصد و با شاخص برداشت در سطح پنج درصد داشت. نتایج آزمایش نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب، میزان جذب و کارایی مصرف نور در ارقام (SC۶۷۷ و SC۷۰۴) که سریع‌تر شاخص سطح برگ خود را گسترش دادند، بالاتر بود و در نتیجه عملکرد بالاتری به‌دست آوردند و در شرایط تنش خشکی، ارقام SC۶۷۷ و SC۷۰۴ که شاخص سطح برگ خود را در دوره بالاتری حفظ کردند، از کارایی مصرف نور و عملکرد بالاتری برخوردار بودند. به‌طورکلی در این آزمایش که در شهرستان ایلام اجرا شد، رقم ذرت SC۶۷۷ در شرایط تنش خشکی شدید (I۱۴۰) و ملایم (I۱۰۵)، بالاترین میزان کارایی مصرف نور را در بین ارقام داشت که این کارایی بالاتر، منجر به عملکرد دانه بالاتر (۸۸۲۰/۷ کیلوگرم در هکتار) شد.

REFERENCES

1. Akmal, M. & Janssens, M. J. (2004). Productivity and light use efficiency of perennial ryegrass with contrasting water and nitrogen supplies. *Field Crop Research*, 88, 143-155.
2. Araus, J. L., Bort, J., Steduto, P., Villegas, D. & Royo, C. (2003). Breeding cereals for Mediterranean conditions: ecophysiological clues for biotechnology application. *Annals Applied Biology*, 142, 129-141.
3. Ashraf, M. (2010). Inducing drought tolerance in plants: Recent advances. *Biotechnology Advances*, 28, 169–183.
4. Awal, M. A., Koshi, H. & Ikeda, T. (2006). Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. *Agriculture, Forest and Meteorology*, 139, 74-83.
5. Baghbani Arani, A., Modarres Sanavy, S. A., Mashhadi Akbar Boojar, M. & Mokhtassi Bidgoli, A. (2017). Effect of deficit water stress on some growth indices and yield of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in response to the zeolite and nitrogen fertilizer. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11(4) 697-720. (In Persian).
6. Beheshti, A., Koocheki, A. & Nassiri Mahalati, M. (2002). The effect of planting pattern on light interception and radiation use efficiency in canopy of three maize cultivars. *Seed and Plant*, 18, 417-431. (In Persian).
7. Blum, A. & Emercon, A. (1981). Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Science*, 21, 43-47.
8. Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., Zimmer, D., Sierra, J., Bertuzzi, P., Burger, P., Bussiere, f., Cabidoche, Y. M., Cellier, P., Debaeke, P., Gaudillere, J. P., Henault, C., Maraux, F., Seguin, B. & Sinoquet. H. (2003). An overview of the crop model STICS. *Eroupean Journal of Agronomy*, 18, 309-332.
9. Cakir, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crop Research*, 89, 1-16.
10. Ceotto, E. & Castelli, F. (2002). Radiation use efficiency in flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.): Response to nitrogen supply, climate variability and sink limitations. *Field Crop Research*, 74, 117-130.
11. Cheng, L. I., Sun, B. C., Tang, H .J., Wang, T. Y., Yu, L. I., Zhang, D. F., Xie, X. Q., Shi, Y. S., Song, Y. C., Yang, X. H. & Li, J. S. (2017). Simple nonlinear model for the relationship between maize yield and cumulative water amount. *Journal of Integrative Agriculture*, 30(16), 858-669.
12. Dehghani, A., Kazemeini, S. A. & Alijani, K. (2017). Effect of sowing date and water stress on yield and some agronomic traits of three sweet corn (*Zea mays* var. saccharata) hybrids. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 49(3), 59-70. (In Persian).
13. Dwyer, L., Stewart, R., Hamilton, I. & Honwing, L. (1992). Ear position and vertical distribution of leaf area in corn. *Agronomy Journal*, 84, 430-438.
14. Earl, H. J. & Davis, R. F. (2003). Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*, 95, 688-696.
15. Emam, Y. & Seghatoleslami, M. J. (2005). Crops yield: Physiology and process. Shiraz University Press. (In Persian).

16. Ezzat Ahmadi, M., Noor Mohammadi, G., Moghaddasi, M. & Kafi, M. (2012). Evaluation of radiation and water use efficiency in bread wheat genotypes in condition of different photosynthetic and moisture stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(1), 225-239. (In Persian).
17. Ghazian Tafrishi, S., Ayenehband, A., Tavakoli, H., Khavari Khorasani, S. & Joleini, M. (2013). Effect of limited irrigation on yield and yield component of several sweet corn (*Zea mays* L. var Saccharata) varieties. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 11(1), 171-178. (In Persian).
18. Goldani, M., Rezvani Moghddam, P., Nassiri Mahallati, M. & Kaffi, M. (2009). Radiation use efficiency of maize (*Zea may* L.) hybrids with different growth types in response to density. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7(2), 595-604. (In Persian).
19. Gooding, M. j., Ellis, R. H., Shewry, P. R. & Schofield, J. D. (2003). Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling drying and quality of winter wheat. *Journal of Cereal Science*, 37,295-309.
20. Goudriaan, J. & Van Laar, H. H. (1993). Modelling potential crop growth processes. Kluwer Academic Press, Netherlands.
21. Hosseinpanahi, F. (2008). Evaluation of yield, yield component and radiation use efficiency in corn/potato intercropping. MS.c. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).
22. Jaggard, K. & Clark, C. (2000). Growth of sugar beet crops in 1999. British Sugar Beet Review. 68(1), 6-11.
23. Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A. & Nabati, J. (2009). Physiology of environmental stresses in plants.Jahad Daneshgahi Mashhad Press. (In Persian).
24. Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., Zarghani, H. & Norooziyan, A. (2017). Evaluation of yield and radiation use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in relay intercropping. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(4), 539-557. (In Persian).
25. Kumar, A., Pandey, V., Shekh, A. M. & Kumar, M. (2008). Radiation use efficiency and weather parameter influence during life cycle of soybean (*Glycine max*. [L] Mirrll) production as well accumulation of dry matter. *American-Eurasian Journal of Agronomy*, 1(2), 41-44.
26. Lindquist, J. L., Timothy, J., Arkebauer, D. T., Walters, K. G. & Dobermann, A. (2005). Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agronomy Journal*, 97, 72-78.
27. Liu, L., Hu, X., Song, J., Zong, X., Lib, D. & Li, D. (2009). Over-expression of a *Zea mays* L. protein phosphatase 2C gene (ZmPP2C) in *Arabidopsis thaliana* decreases tolerance to salt and drought. *Journal of Plant Physiology*, 166, 531-542.
28. Maazou, A. S., Tu, J., Qiu, J. & Liu. Z. (2016). Breeding for drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). *American Journal of Plant Sciences*, 7, 1858-1870.
29. Mendham, N. J., Shipway, P. A. & Scott, R. K. (1981). The effects of delayed sowing and weather on growth, development and yield of winter oil-seed rape (*Brassica napus*). *Journal of Agricultural Science*, 96 (2), 389-416.
30. Monteith, J. L. (1972). Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, 9, 747-766.
31. Muchow, R. C., Sinclair, T. R. & Bennett. J. M. (1990). Temperature and solar radiation effects on potential maize yields across loca tions. *Agronomy Journal*, 82, 338-342.
32. Muurinen, S., Slafer, G. & Peltonen-Sainio, P. (2006). Breeding effects on nitrogen use efficiency of spring cereal under northern conditions. *Crop Science*, 1, 111-126.
33. Nam, N. H., Subbarao, G. V., Ghauhan, Y. S. & Johansen, C. (1998). Importance of canopy attributes in determining dry matter accumulation of pigeon pea under contrasting moisture regimes. *Crop Science*, 38, 955- 961.
34. O'Connell, M. G., O'Leary, G. J., Whitfield, D. M. & Connor, D. J. (2004). Interception of photosynthetically active radiation and radiation-use efficiency of wheat, field pea and mustard in a semi-arid environment. *Field Crops Research*, 85, 111-124.
35. Richter, G. M., Jaggard, K. W. & Mitchell, A. C. (2001). Modeling radiation interception and radiation use efficiency for sugar beet under variable climatic stress. *Agricultural and Forest Meteorology*, 109, 13-25.
36. Shekari, F. (2001). Effect of drought stress on phenology, water relations, growth, yield and quality of Canola (*Brassica napus* L.). Ph. D. Dissertation, University of Tabriz.
37. Sinclair, T. R. & Muchow, R. C. (1999). Radiation-use efficiency. In: Advances in Agronomy. Sparks, D.L., (ed.). pp. 215-265.
38. Stone, P. J., Wilson, D. R., Ried, J. B. & Gillespie, G. N. (2001). Water deficit effects on sweet corn. I: Water use, radiation use efficiency, growth and yield. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52, 103-113.

39. Tesfaye, K., Walker, S. & Tsubo, M. (2006). Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. *European Journal of Agronomy*, 25, 60-70.
40. Tsubo, M., Walker, S. & 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.
41. Vargas, L. A., Andersen, M. N., Jensen, C. R. & Orgenses, V. J. (2002). Estimation of leaf area index, light interception and biomass accumulation of *Miscanthus sinensis* 'Goliath' from radiation measurements. *Biomass and Bioenergy*, 22, 1-14.
42. Yousef Nia, M., Banayan Aval, M. & Khorramdel, S. (2015). Evaluation of radiation use and interception of fenugreek (*Trigonella foenumgraecum* L.) and dill (*Anethum graveolens* L.) intercropping canopy. *Journal of Agroecology*, 7(3), 412-424. (In Persian).
43. Zhang, L., Vander Werf, W., Bastiaans, L., Zhang, S. B. & Spiertz, J. H. (2008). Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. *Field Crop Research*, 107, 29-42.