

بررسی رابطه آب و هوا با عملکرد و کارایی مصرف نور در

کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.)

محمد بنایان^{1*}، مرتضی گلدانی²، محمدرضا نادری³، سارا اسدی⁴

تاریخ دریافت: 1396/02/9 تاریخ پذیرش: 1396/3/7

چکیده

تغییرات اقلیمی از عوامل مهم نوسانات رشد و عملکرد اقتصادی گیاهان در مقیاس‌های زمانی و مکانی می‌باشد. ارزیابی تاثیرات اقلیمی بر رشد و عملکرد محصول به منظور دستیابی به الگوی رشد مطلوب و بالاترین عملکرد حایز اهمیت است. کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) گیاه مهمی به لحاظ اقتصادی است که در سرتاسر جهان برای مصارف دارویی کشت می‌شود. به‌منظور بررسی اثر تغییرات سالیانه آب و هوا بر تجمع ماده خشک، عملکرد و کارایی مصرف نور (RUE) کدو پوست کاغذی از داده‌های سه سال آزمایش زراعی (92، 91 و 1389) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد استفاده شد. آنالیز آماری عملکرد و کارایی مصرف نور در کدو پوست کاغذی با متغیرهای اقلیمی شامل درجه روز رشد (GDD)، بارندگی، تابش خورشیدی، پتانسیل تبخیر و تعرق و تعداد روز با دمای حداکثر بالاتر از 32 درجه سانتی‌گراد انجام شد. نتایج نشان داد که تاثیر کل بارندگی بر وزن خشک کدوی پوست کاغذی در سطح احتمال پنج درصد و تاثیر سایر متغیرها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین، تمامی متغیرهای اقلیمی نیز تاثیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر کارایی مصرف نور کدو پوست کاغذی نشان دادند. همچنین، وزن خشک کدو پوست کاغذی و کارایی مصرف نور به ترتیب با پتانسیل تبخیر و تعرق کل و بارندگی در طول فصل رشد همبستگی قوی داشت. از این‌رو، در تاریخ کشت مناسب و منطبق بر رشد کدو پوست کاغذی و در شرایط آب و هوایی مطلوب می‌توان بالاترین عملکرد ممکن را فراهم آورد.

واژه‌های کلیدی: گیاه و محیط، عملکرد کدو پوست کاغذی، عملکرد گیاهی، عوامل اقلیمی، *Cucurbita pepo* L.

مقدمه

شده است (Bannayan et al., 2010; Hoogenboom., 2000). کشور ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک واقع شده و آب و هوای متغیری دارد (Bannayan et al., 2011). در مناطق نیمه‌خشک ایران در طی سال‌های 1344 تا 1383، افزایش قابل توجهی از خشکی گزارش شده است. مدل‌های اقلیمی پیش‌بینی می‌کنند که اثرات منفی تغییرات آب و هوا در مناطق گرم و خشک بسیار شدید خواهد بود (Gregory et al., 2005; Parry et al., 2004). و از سوی دیگر، تعداد و شدت وقوع پدیده‌هایی از قبیل خشک‌سالی، گرما، سرما و سیل نیز تحت تاثیر تغییرات اقلیمی آینده تشدید خواهد شد (IPCC., 2007). عملکرد محصولات زراعی در مناطق خشک از سالی به سال دیگر متفاوت است که عمدتاً نتیجه شرایط آب و هوایی متغیر در این مناطق می‌باشد، بنابراین انتظار می‌رود که تولید محصولات زراعی در برابر تغییرات اقلیمی آسیب‌پذیر باشد (Bannayan et al., 2010). از این‌رو، اطلاعات دقیقی درباره اثرات آب و هوا بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی و به ویژه آنالیز کمی این اثرات بر ارزیابی واکنش گیاهان زراعی به تغییر اقلیم از اهمیت بسزایی برخوردار است (McKeown et al., 2006). این قبیل

در میان تمام فعالیت‌های بشر، کشاورزی بیش‌ترین وابستگی را به شرایط آب و هوایی دارد (Bannayan et al., 2011). عملکرد محصول در نتیجه اثرات متقابل میان ژنوتیپ (خصوصیات ارقام)، محیط (شرایط آب و هوایی و خاک) و سیستم مدیریتی می‌باشد (Jing et al., 2008). امروزه، علی‌رغم پیشرفت‌های مداوم در تکنولوژی و ارقام گیاهی، آب و هوا هنوز هم عامل اصلی غیرقابل کنترلی است که تولید محصولات زراعی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Decker., 1994). در برخی موارد، تا 80 درصد از تنوع تولید محصولات کشاورزی به‌علت تنوع در شرایط آب و هوایی گزارش

- 1- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 2- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 3- دکتری اکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 4- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
- * - نویسنده مسئول: (Email: banayan@um.ac.ir)

کارایی مصرف نور در کدو پوست کاغذی تحت شرایط مزرعه از آنالیز داده‌های سه سال زراعی استفاده شد.

مواد و روش‌ها

داده‌های رشد

داده‌های رشد کدو پوست کاغذی از آزمایشات سه سال زراعی (92، 91 و 1389) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (عرض جغرافیایی 36 درجه و 15 دقیقه شمالی، طول جغرافیایی 59 درجه و 38 دقیقه شرقی، ارتفاع 985 متری از سطح دریا) جمع‌آوری شد (Bannayan and Sanjani., 2011) (شکل 1). آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل مقادیر مختلف کود نیتروژن در سه سطح 150، 250 و 350 کیلوگرم در هکتار و عامل فرعی شامل تراکم در سه سطح 0/63، 1/25 و 2/5 بوته در مترمربع بودند. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین در اوایل اردیبهشت‌ماه و کاشت بذور کدو پوست کاغذی در 21 اردیبهشت‌ماه انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی هر هفت روز یک‌بار انجام شد. به‌علاوه، 1/3 کود نیتروژن مورد نیاز برای هر تیمار دو هفته پس از کاشت و 2/3 دیگر آن شش هفته پس از کاشت در کرت‌های مورد نظر توزیع گردید. در طول فصل رشد نیز علف‌های هرز با وجین دستی کنترل شدند. نمونه‌برداری در شش مرحله در طول فصل رشد به منظور بررسی دقیق‌تر مراحل مختلف رشد و توسعه این گیاه انجام گردید. اولین نمونه‌برداری 27 روز پس از کاشت و نمونه‌برداری‌های بعدی با فواصل هر 15 روز یک‌بار انجام گردید. در هر نمونه‌برداری دو گیاه از هر کرت به صورت تصادفی برداشت و پس از اندازه‌گیری سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ² (LI-3100)، اندام‌های هوایی هر گیاه به طور جداگانه در دمای 75 درجه سانتی‌گراد به مدت 72 ساعت خشک شدند. در نهایت، میانگین وزن خشک اندام‌های هوایی (g m^{-2}) و کارایی مصرف نور (g MJ^{-1}) (Rouphael and Colla., 2005) (معادله 1) برای هر تیمار تعیین گردید.

$$RUE = \frac{\text{above ground dry matter}}{\text{cumulative intercepted PAR}} \quad (1)$$

در این معادله ماده خشک اندام هوایی و تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی به ترتیب بر حسب گرم بر مترمربع (g m^{-2}) و مگاژول بر متر مربع (MJ m^{-2}) می‌باشد. همچنین، به منظور محاسبه کل تابش خورشیدی (R_s) از مدل انگستروم (Pohlert., 2004) (معادله 2) استفاده شد.

$$R_s = R_a \left(A + B \frac{n}{N} \right) \quad (2)$$

آنالیزها، ممکن است شیوه‌های کشت قابل قبولی را در جهت کاهش اثرات تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد گیاه زراعی و امنیت غذایی فراهم آورد. آگاهی از ارتباط بین آب و هوا و تولید محصولات زراعی می‌تواند به ارزیابی پتانسیل‌های ممکن در جهت بهبود عملکرد، کمک شایانی نماید. نور یکی از عوامل موثر در تغییر اقلیم است که بر تولید محصولات زراعی تاثیرگذار می‌باشد (Bannayan and Sanjani., 2011). به‌علاوه، آگاهی از تاثیرات آب و هوا بر رشد محصولات زراعی به منظور بهینه‌سازی در کاربرد منابع امری اجتناب ناپذیر است (Kenter et al., 2006). همچنین، توابع تجربی به‌دست آمده می‌توانند مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی را در بر گیرند (Bannayan et al., 2008)، که برای آزمون اثرات تغییرات اقلیم آینده بر تولید محصولات زراعی به کار برده شوند (Jones et al., 2003; Bannayan et al., 2011). متغیرهای بحرانی در رابطه با رشد گیاه زراعی، بارش، دما و تابش خورشیدی است. دما در تغییرات اقلیمی به‌عنوان متغیر اصلی تنظیم‌کننده نرخ رشد رویشی و زیاشی و از عوامل کلیدی در تعیین میزان تبخیر و تعرق می‌باشد (Bannayan et al., 1998; Tao et al., 2009; Hoogenboom., 2008). تابش خورشید انرژی لازم برای فرآیندی را فراهم می‌سازد که منجر به فتوسنتز شده و در تجزیه کربوهیدرات و رشد هر قسمت از گیاه موثر است (Boote and Loomis., 1991). بارش به‌طور مستقیم فرآیندهای گیاه را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد، بلکه به‌طور غیرمستقیم نقشی تعدیل‌کننده در رشد و توسعه بسیاری از فرآیندهای گیاهی دارد (Hoogenboom., 2000). پتانسیل تبخیر و تعرق نیز یکی از متغیرهای مهم آب و هوایی است. اگرچه این کمیت ناشی از سایر متغیرهای آب و هوایی از قبیل تابش خورشیدی، دما، سرعت باد و کمبود فشار بخار می‌باشد (Hoogenboom., 2000). در شرایط مزرعه، رشد گیاه زراعی در واقع راندمان تبدیل انرژی تابشی جذب شده به ماده خشک است که کارایی مصرف نور¹ (RUE) نامیده می‌شود (Monteith., 1977). بسیاری از آزمایشات نشان می‌دهند که عملکرد محصول قطعا تحت تاثیر کارایی مصرف نور قرار دارد (Shen et al., 1993; Chen et al., 1989; Li et al., 2010; al., 2003). کاهش زیست توده محصول در اثر کاهش کارایی مصرف نور به‌عنوان محدودیتی عمده در عملکرد محصول در نظر گرفته می‌شود (Mayers et al., 1991). تغییرات اقلیمی ناشی از نوسانات فصلی و سالیانه می‌تواند کارایی مصرف نور و در نتیجه عملکرد محصول را تحت تاثیر قرار دهد (Marcelis., 1993; Pardossi et al., 2000). از این‌رو، در این تحقیق به منظور بررسی ارتباط برخی متغیرهای آب و هوایی (شامل درجه حرارت، تابش خورشیدی، بارش و پتانسیل تبخیر و تعرق) بر رشد و عملکرد و

(Jongschaap., 2007)

$$PAR_i = (1 - \rho)PAR_0(1 - e^{-k LAI}) \quad (3)$$

در این معادله ρ ضریب انعکاس کانوپی ($\rho=0.07$; Marcelis et al., 1998)، k ضریب خاموشی نور (برای کدو پوست کاغذی برابر با $0/72$) (Rouphael and Colla., 2005) و LAI شاخص سطح برگ می باشد.

که در آن R_s تابش کل روزانه ($MJ m^{-2} d^{-1}$)، R_a تابش خارج از جو روزانه ($MJ m^{-2} d^{-1}$)، n و N به ترتیب مدت تابش (ساعت) و طول روز نجومی (ساعت) (Pohlert., 2004) و A و B ضرایب ثابت معادله می باشند که برای مشهد با استفاده از داده های اندازه گیری شده این ضرایب به ترتیب $0/3$ و $0/37$ و $0/45$ (Ameri and Nassiri-Mahallati., 1387) برای محاسبه PAR_0 (PAR) کل نیز کل تابش خورشیدی در عدد $0/45$ ضرب گردید (Maddonni and Otegui., 1996). در نهایت، PAR_i با استفاده از معادله 3 تعیین شد

جدول 1- تاریخ کاشت، میزان نیتروژن، تراکم و طرح های آزمایشی به کار برده شده در طی سه سال آزمایش (1389 - 1392)

سال	تاریخ کاشت	میزان نیتروژن (کیلوگرم بر هکتار)	تراکم (بوته در مترمربع)	طرح آزمایشی
1389	11 اردیبهشت ماه	۱۵۰،۲۵۰،۳۵۰	0/625، 1/۲، ۲/5	کرت یکبار خوردشده در قالب بلوک کامل تصادفی
1391	11، 21 و 31 اردیبهشت ماه	صفر	2/5، 4	کرت یکبار خوردشده در قالب بلوک کامل تصادفی
1392	16 اردیبهشت ماه	۵۰، ۱۵۰، ۲۵۰	2/5	بلوک کامل تصادفی

$$GDD = \sum \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_b \quad (4)$$

که در آن T_{max} و T_{min} به ترتیب دمای حداکثر و حداقل روزانه و T_b دمای پایه کدو پوست کاغذی (Smith., 1997) ($T_b=10$) است. اگر $[(T_{max}+T_{min})/2] < T_b$ در نتیجه $[(T_{max}+T_{min})/2] = T_b$ می باشد (McMaster and Wilhelm., 1997). معنی دار بود ($R^2= 0.70, P < 0.01$) (جدول 4). از این رو، درجه روز رشد می تواند به عنوان بهترین معیار در

داده های آب و هوایی

داده های آب و هوای روزانه هر فصل رشد (میانگین دمای روزانه، دمای حداقل و حداکثر روزانه، ساعات آفتابی، بارش و پتانسیل تبخیر و تعرق) از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مشهد به دست آمد. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق در شکل 1 و میانگین بلندمدت ماهیانه (از سال 1330 تا 1380) برخی ویژگی های آب و هوایی در جدول 2 نشان داده شده است.

به علاوه، برای محاسبه تابش کل (R_s) و زمان حرارتی یا درجه روز رشد (GDD) به ترتیب از معادلات 2 و 4 استفاده شد.



شکل 1- موقعیت منطقه مورد مطالعه، شهرستان مشهد در استان خراسان رضوی

جدول 2- میانگین بلندمدت برخی از ویژگی‌های اقلیمی مشهد

ویژگی‌های آب و هوا	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
میانگین دما (سانتی‌گراد)	1/7	3/6	8/3	14/5	19/4	24/2	26/5	24/6	20/2	14/2	8/6	3/9
میانگین دمای حداقل (سانتی‌گراد)	-3/8	-2/1	2/6	8/2	12/2	16/2	18/5	16/2	11/5	6/1	1/7	-1/9
میانگین دمای حداکثر (سانتی‌گراد)	7/2	9/2	13/9	20/8	26/6	32/2	34/4	33	28/9	22/3	15/4	9-7
مجموع بارندگی ماهیانه (میلی‌متر)	33	35/2	55/6	46/3	27/6	4/2	1/1	0/8	1/7	8/6	16/4	24/7
مجموع ساعات آفتابی ماهیانه	149/1	147/3	161/2	198/6	279/2	341/7	366/1	358/7	304/5	247/4	187/5	151/1
مجموع تشعشع ماهیانه (مگاژول بر مترمربع)	287/3	332/2	454/9	560/4	712/5	786/4	814/2	758/1	609/8	499/4	324	266/8

جدول 3- خلاصه داده‌های اقلیمی سه سال آزمایش (1389-1392) برای هر مرحله از فصل رشد کدو پوست کاغذی

1392			1391			1389			ویژگی‌های آب و هوا
مرحله پیری	مرحله خطی	مرحله نمایی	مرحله پیری	مرحله خطی	مرحله نمایی	مرحله پیری	مرحله خطی	مرحله نمایی	
-8/5	347/8	65/3	-7	311/25	24/5	-40/8	373	57	میانگین وزن خشک (گرم بر مترمربع)
1/45	1/8	1/1	1/5	1/6	0/9	2/1	2/54	2/14	میانگین کارایی مصرف نور (گرم بر مگاژول)
134	483/3	550/6	250	752	509/5	75	815	496/9	درجه روز رشد (سانتی‌گراد روز)
29	27/1	23/4	27/7	27/9	23/8	25	29/4	22/4	میانگین دما روزانه (سانتی‌گراد)
36/6	34/3	30/7	35/3	35/3	31/2	32/5	37/4	29/6	میانگین حداکثر دمای روزانه (سانتی‌گراد)
21/4	19/9	20/1	20/1	20/5	16/5	17/2	21/4	15/5	میانگین حداقل دمای روزانه (سانتی‌گراد)
0	0	27/2	1	6/7	11/2	0	2/3	41/4	مجموع بارندگی (میلی‌متر)
27	26/1	25/1	25/8	26/4	23/5	27/3	27/1	22/8	تابش خورشیدی (مگاژول بر مترمربع)
12/3	11/4	9/3	12/2	12	8/4	11/4	11/9	6/6	تبخیر و تعرق پتانسل (میلی‌متر)
7	27	24	14	62	32	5	42	18	روز با دمای حداکثر بالای 32 درجه سانتی‌گراد

تجزیه و تحلیل

(RUE) کدو پوست کاغذی در طی مرحله رشدی در هر سال همراه با داده‌های متغیر آب و هوا و مشتقات آن‌ها (شامل زمان حرارتی، درجه روز رشد، بارش کل، تابش جمعی، پتانسیل تبخیر و تعرق جمعی و تعداد کل روزهای با دمای بالاتر از 32 درجه سانتی‌گراد) در طول فصل رشد در جدول 3 نشان داده شده است.

مطابق بررسی‌های کنتر و همکاران توابع خطی، چندجمله‌ای و سیگموئیدی به داده‌ها برازش و با یکدیگر مقایسه شدند. معادلات مرتبه بالا⁵ تنها زمانی در نظر گرفته می‌شوند که بالاترین ضریب همبستگی (R^2) را نشان دهند (Kenter et al., 2006). در نهایت، برای تعیین موثرترین متغیر آب و هوایی بر ماده خشک جمعی و کارایی مصرف نور در طول هر مرحله مجزا از رشد گیاه، تجزیه و

تعریفی خاص و مقیاس فنولوژیک ثابت برای کدو پوست کاغذی موجود نمی‌باشد. گیاهان جنس *Cucurbita* در آب و هوای معتدل می‌توانند 6 تا 7 هفته پس از کاشت به انتهای مرحله رشد نمایی خود برسند (Brant-Loy., 2004). فصل رشد کدو پوست کاغذی (بر اساس داده‌های سه سال آزمایش) به 3 مرحله نمایی¹ (6 تا 7 هفته پس از کاشت)، خطی² (5 تا 6 هفته پس از پایان مرحله نمایی) و پیری³ (از انتهای مرحله خطی تا مرگ گیاه) تقسیم می‌شود. خلاصه-ای از داده‌های تجمع ماده خشک (DM)⁴ و کارایی مصرف نور

- 1- Exponential phase
- 2- Linear phase
- 3- Senescent phase
- 4- Dry matter

5- High order

(حدود 520 درجه روز رشد) در تاریخ کاشت 21 اردیبهشت، به سطح بهینه نزدیکتر بود که این امر ممکن است به دلیل وزن خشک بیش‌تر مرحله نمایی در این تاریخ کاشت در مقایسه با سایر تاریخ‌های کاشت باشد. همبستگی بین وزن خشک کدو پوست کاغذی با درجه روز رشد در طی مرحله نمایی معنی‌دار بود ($R^2 = 0.70, P < 0.01$) (جدول 4). از این رو، درجه روز رشد می‌تواند به‌عنوان بهترین معیار در انتخاب تاریخ کاشت مناسب برای کدو پوست کاغذی در هر مکان در نظر گرفته شود. کاشت زود هنگام نیز می‌تواند سبب کاهش سرعت رشد و متعاقباً استقرار ضعیف و حساسیت آن به تنش‌های زنده و غیرزنده شود. به‌علاوه، تاخیر در کاشت نیز می‌تواند در یک مدت زمان طولانی با محدوده دمایی (32 درجه سانتی‌گراد) (Jovanovic and Annandale, 2000) باعث کاهش رشد و عملکرد گردد. در سال 1391، بیش‌ترین وزن خشک کدو پوست کاغذی در تاریخ کاشت 21 اردیبهشت‌ماه بود و کاشت زودتر یا دیرتر از این تاریخ باعث کاهش وزن خشک این گیاه شد. بنایان و همکاران در بررسی آب و هوای مناسب رشد کدو پوست کاغذی بیان کردند که تاریخ کاشت مطلوب این گیاه بین ماه‌های اردیبهشت تا شهریور می‌باشد (Bannayan et al., 2011). در این تحقیق نیز این گیاه در طول مرحله خطی، درجه روز رشد 1350 (حدود 800 درجه روز رشد از پایان مرحله نمایی) به حداکثر رشد خود رسیده است (شکل 2). بنابراین، رشد مطلوب کدو پوست کاغذی در طول مرحله خطی تنها در شرایطی بود که در درجه روز رشد تجمعی حدود 21 درجه روز رشد به ازای هر روز بود یا بوته‌ها در متوسط دمای روزانه 31 درجه سانتی‌گراد (با فرض 38 روز برای مرحله خطی) قرار داشتند. همبستگی قوی و معنی‌دار ($R^2 = 0.75, P < 0.01$) بین وزن خشک و درجه روز رشد (جدول 4) نقش کلیدی این معیارها را در رشد و عملکرد کدو پوست کاغذی نشان می‌دهد. در این سه سال آزمایش، بیش‌ترین وزن خشک در مرحله خطی در سال 1389 به‌دست آمد (جدول 3). اگرچه، در سال 1391 نیز وزن خشک کدو پوست کاغذی در طول مرحله خطی در تاریخ کاشت 21 اردیبهشت‌ماه حاصل شد. در مرحله پیری نیز همبستگی بین وزن خشک کدو پوست کاغذی و درجه روز رشد معنی‌دار نبود (جدول 4) بلکه در طول این مرحله با افزایش درجه روز رشد از وزن خشک این گیاه کاسته شد (جدول 4). همچنین، رابطه رگرسیونی درجه دوم بین بارش و وزن خشک تجمعی کدو پوست کاغذی وجود داشت (شکل 2). حداکثر وزن خشک در بارش کل 25 میلی‌متر بود و پس از آن با افزایش بارندگی، وزن خشک این گیاه کاهش یافت (شکل 2). بنابراین، براساس داده‌های 3 سال آزمایش، 25 میلی‌متر بارش می‌تواند به‌عنوان بارش مطلوب در تمام طول فصل رشد کدو پوست کاغذی در نظر گرفته شود. اگرچه، با فرض 375 میلی‌متر به‌عنوان میزان آب کافی از طریق آبیاری جوی پشته‌ای برای 50 سانتی‌متر عمق ریشه (Kamal., 2011)، میزان 25 میلی‌متر

تحلیلی بر داده‌های سه سال آزمایش انجام شد. برای این منظور، میانگین دمای متوسط روزانه، حداکثر و حداقل بر حسب درجه سانتی‌گراد، تعداد روزها با دمای بالاتر از 32 درجه سانتی‌گراد در طول هر مرحله رشدی، زمان حرارتی تجمعی برای هر مرحله رشدی (GDD)، بارش کل، تابش خورشیدی و پتانسیل تبخیر و تعرق به‌عنوان متغیرهای توصیفی برای هر مدت زمان از مرحله رشدی تعریف شده است. ضرایب همبستگی نیز توسط R^2 و با استفاده از مقادیر P -value مشخص شده است.

نتایج و بحث

نوسانات متغیرهای اقلیمی

میانگین حداکثر و حداقل دمای روزانه در طول فصل رشد کدو پوست کاغذی (اردیبهشت تا شهریورماه) به ترتیب در سال 1389، 33/7 و 18/3 درجه سانتی‌گراد، در سال 1391، 33/1 و 18/2 درجه سانتی‌گراد و در سال 1392، 32/7 و 18/2 درجه سانتی‌گراد بود. همچنین، بارش کل در طول فصل رشد کدو پوست کاغذی برای سال‌های 1389، 91 و 92 به ترتیب 43/7، 27/9 و 29/6 میلی‌متر به‌دست آمد. میانگین دمای حداکثر و حداقل فصل رشد، ساعات آفتابی و بارش کل در سال 1389 بیش‌تر از دو سال دیگر (91 و 92) بود. همچنین، تعداد روز با دمای بالاتر از 32 درجه سانتی‌گراد برای سال 1389 به ترتیب 6 و 5 روز بیش‌تر از سال‌های 91 و 92 (92 روز در مقایسه با 86 و 87 روز) بود. تعداد روزهای خشک در طول فصل رشد نیز برای هر سه سال 1389، 91 و 92 به ترتیب 111، 109 و 118 روز مشخص گردید. بنابراین، از میان داده‌های سه سال آزمایش، فصل رشد کدو پوست کاغذی در سال 92 بیش‌ترین تعداد روزهای خشک را دارا بود زیرا در این سال تابش خورشیدی و میزان تبخیر و تعرق بیش‌تر و میزان بارش کم‌تر از دو سال دیگر بود.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

وزن خشک

نتایج بررسی‌ها، رابطه‌ی سیگموئیدی بین وزن خشک کدو پوست کاغذی و درجه روز رشد در طول فصل رشد را نشان داد که حداکثر وزن خشک طی مرحله نمایی رشد کدو پوست کاغذی در 550 درجه روز رشد به دست آمد (شکل 2). بنابراین با فرض 40 روزه‌بودن مرحله نمایی رشد به ازای هر روز، 13/7 درجه روز رشد و یا متوسط دمای روزانه 32/7 درجه سانتی‌گراد نیاز است. بنایان و همکاران گزارش کردند که رشد رویشی سریع کدوی تابستانه نیازمند دمای 22 تا 27 درجه سانتی‌گراد است (Bannayan et al., 2011). در میان سه تاریخ کاشت سال 1391، درجه روز رشد تجمعی مرحله نمایی رشد

مرحله نمایی) می‌باشد (شکل 2). وزن خشک کدو پوست کاغذی در تمام طول فصل رشد با پتانسیل تبخیر و تعرق (ET_0) بیش‌ترین همبستگی را نشان داد (شکل 2). در حقیقت دلیل این امر آن است که میزان پتانسیل تبخیر و تعرق تلفیقی از متغیرهای اقلیمی مانند تابش خورشیدی، دمای هوا، سرعت باد و کمبود فشار بخار می‌باشد (Hoogenboom., 2000). از سوی دیگر، وزن خشک کدو پوست کاغذی در طول مرحله نمایی به بالاترین سطح پتانسیل تبخیر و تعرق تجمعی 380 میلی‌متر رسید (شکل 2). از این‌رو، میانگین مطلوبی از پتانسیل تبخیر و تعرق روزانه در طی مرحله نمایی فصل رشد کدو پوست کاغذی حدود 9/5 میلی‌متر است. در سال 1392، میانگین روزانه پتانسیل تبخیر و تعرق در طول مرحله نمایی فصل رشد کدو پوست کاغذی نزدیک به سطح مطلوب پیشنهاد شده بود (جدول 3) و این ممکن است یکی از دلایل وزن خشک بیش‌تر در طول مرحله نمایی باشد. به‌علاوه، در سال 1391 پتانسیل تبخیر و تعرق کل در طول مرحله نمایی فصل رشد کدو پوست کاغذی در دومین تاریخ کاشت (21 اردیبهشت‌ماه)، که دارای بالاترین وزن خشک در میان سه سال تاریخ‌های کاشت بود توانست بهترین تطابق را با سطح مطلوب پیشنهاد شده (350 میلی‌متر) پتانسیل تبخیر و تعرق کل در طول مرحله نمایی نشان دهد. همچنین، بین وزن خشک و میانگین روزانه پتانسیل تبخیر و تعرق در طول مرحله نمایی فصل رشد کدو پوست کاغذی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت ($R^2 = 0.55, P < 0.01$). به طوری که وزن خشک کدو پوست کاغذی با افزایش پتانسیل تبخیر و تعرق کل در طول مرحله نمایی افزایش یافت. در مرحله خطی، حداکثر وزن خشک کدو پوست کاغذی در پتانسیل تبخیر و تعرق کل 830 میلی‌متر (حدود 450 میلی‌متر بعد از پایان مرحله نمایی) مشخص شد (شکل 2). بنابراین، متوسط روزانه مطلوب پتانسیل تبخیر و تعرق در طول مرحله خطی فصل رشد کدو پوست کاغذی حدود 11/8 میلی‌متر می‌باشد. در میان سه سال آزمایش، در سال 1389 (جدول 3)، و از بین سه تاریخ کاشت در سال 1391، تاریخ کاشت 21 اردیبهشت ماه (حدود 11/9 میلی‌متر به ازای هر روز) هر دو بیش‌ترین وزن خشک را در طی مرحله خطی با تطابق با سطح مطلوب نشان دادند. همبستگی معنی‌دار ضعیفی ($R^2 = 0.35, P < 0.05$) (جدول 4) از وزن خشک کدو پوست کاغذی و متوسط روزانه پتانسیل تبخیر و تعرق در طول مرحله خطی نشان داد که شدت تاثیر پتانسیل تبخیر و تعرق در طول این مرحله کم‌تر از مرحله نمایی است، که دلیل این امر آن است که گیاهان در مرحله نمایی هنوز به محیط اطراف خود سازگار نیستند و بیش‌تر تحت تاثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرند. مطالعات گوناگون نشان داد که دمای حداکثر برای کدو پوست کاغذی 32 درجه سانتی‌گراد است (Jovanovic, Bannayan et al., 2011; and Annandale., 2000). اما سایر مطالعات (Ghaderi et al., 2008; Zehtab-Salmasi., 2006)

بارش برای حمایت از رشد کدو پوست کاغذی در طول چرخه زندگی آن کافی نمی‌باشد. از آن‌جایی که مشهد در منطقه با آب و هوای خشک قرار دارد و بارش کل در این منطقه در طول فصل رشد کدو پوست کاغذی کم‌تر از 36 میلی‌متر می‌باشد (جدول 2)، بنابراین آبیاری در دوره خشک چرخه زندگی این گیاه، امری ضروری است. در طول مراحل نمایی و خطی چرخه رشد کدو پوست کاغذی بین بارش متوسط روزانه و وزن خشک همبستگی منفی وجود داشت (جدول 4). این امر می‌تواند به دلیل وجود بیش‌ترین میزان بارش در مشهد در آغاز فصل رشد کدو پوست کاغذی باشد که در این زمان نیاز آبی گیاه کم است. در حالی که در سایر مراحل رشد، مقدار بارش تا نزدیک به صفر کاهش می‌یابد و رشد کدو پوست کاغذی تنها متکی به تامین آب از طریق آبیاری می‌باشد. از این‌رو، بین بارش روزانه در طول هر دو مرحله نمایی و خطی و وزن خشک کدو پوست کاغذی همبستگی منفی وجود داشت. اگرچه، بارش زیاد در طی مراحل اولیه رشد ممکن است به صورت رطوبت در خاک ذخیره شود و متعاقب آن گیاه می‌تواند رطوبت ذخیره شده را در مراحل بعدی رشد استفاده نماید. بنابراین، در میان سه سال آزمایش، بیش‌ترین مقدار وزن خشک در طول مرحله خطی در سال 1391 نشان داده شد (جدول 3)، و این امر احتمالاً به دلیل بارش بیش‌تر و در نتیجه تولید ماده خشک باشد (جدول 3). با این حال، وزن خشک کدو پوست کاغذی در طی تمام طول فصل رشد دارای کم‌ترین همبستگی ($R^2 = 0.08$) با کل بارش داشت (شکل 2). این امر نیز ممکن است به علت کاهش بارندگی در طول دوره‌هایی است که نیاز آبی در چرخه رشدی این گیاه بیش‌تر بوده است (توزیع بارش نامناسب در طول فصل رشد کدو پوست کاغذی). کنتر و همکاران بیان کردند که بارش تنها می‌تواند اندکی رشد برگ چغندر را تحت تاثیر قرار دهد (Kenter et al., 2006). ارتباط بین تابش تجمعی و وزن خشک تابعی سیگموئیدی را نشان داد (شکل 2). حداکثر وزن خشک کدو پوست کاغذی در طول مرحله نمایی در تابش تجمعی 1000 MJ m^{-2} به دست آمد (شکل 2). به عبارت دیگر، تابش مطلوب روزانه در طول مرحله نمایی فصل رشد کدو پوست کاغذی می‌تواند حدود 25 MJ m^{-2} باشد. متوسط روزانه تابش خورشیدی در طول مرحله نمایی فصل رشد کدو پوست کاغذی در سال 1392 با مقدار مطلوب تابش خورشیدی نسبت به دو سال دیگر تطابق بیش‌تری داشت (جدول 3). همچنین، وزن خشک کدو پوست کاغذی در طول مرحله نمایی با متوسط روزانه تابش خورشیدی و درجه روز رشد همبستگی قوی نشان داد ($R^2 = 0.70, P < 0.01$) (جدول 4). این همبستگی قوی نیز نشان دهنده نقش موثر تابش خورشیدی و درجه روز رشد بر رشد و استقرار مطلوب کدو پوست کاغذی در طول مرحله نمایی چرخه رشد گیاه است. به‌علاوه، حداکثر وزن خشک کدو پوست کاغذی برای مرحله خطی زمانی است که تابش تجمعی حدود 2050 MJ m^{-2} (1050 MJ m^{-2}) بعد از پایان

بالا تر از 32 درجه سانتی‌گراد همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت ($R^2 = 0.50, P < 0.01$) (جدول 4).

دماهایی بالاتر را گزارش کردند. اگرچه، در این تحقیق بین وزن خشک کدو پوست کاغذی در مرحله نمایی و تعداد روزها با دمای

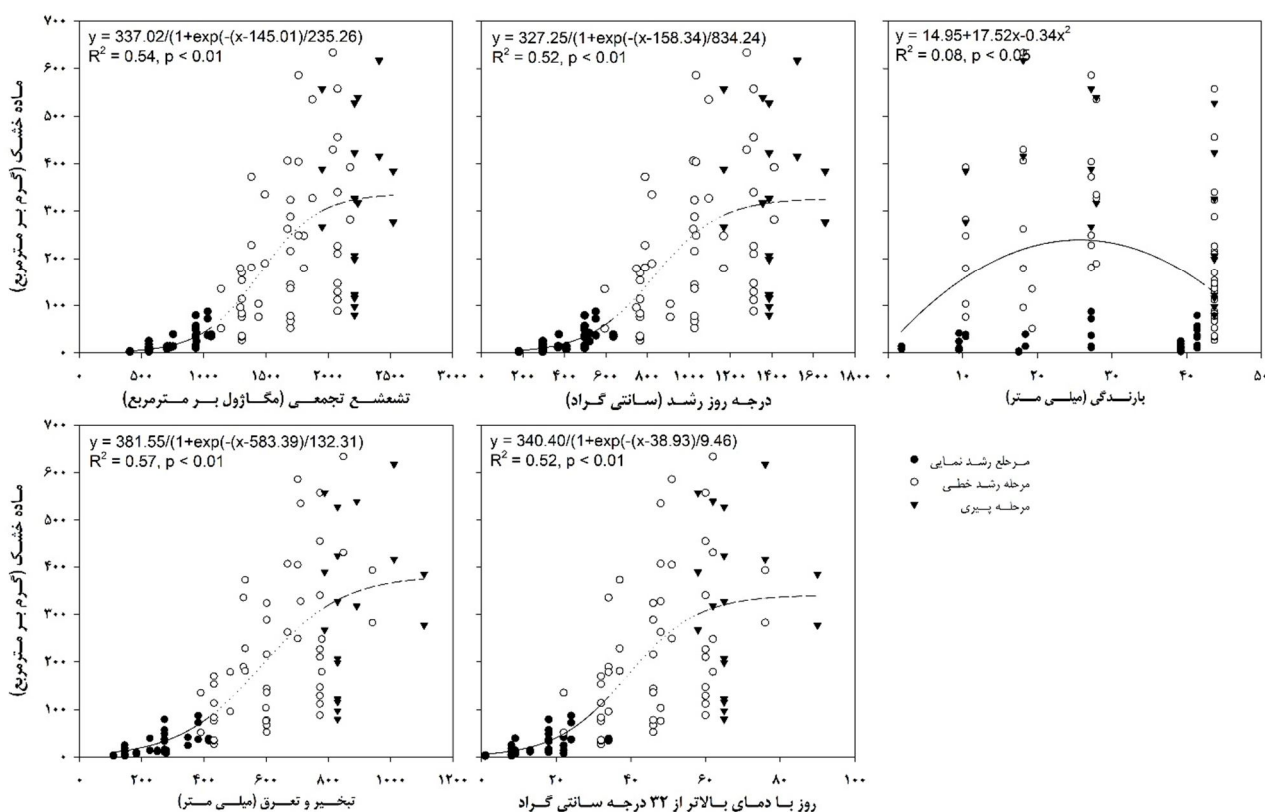
جدول 4- تجزیه و تحلیل همبستگی بین وزن خشک، کارایی مصرف نور کدو پوست کاغذی و توصیف متغیرهای آب و هوای مشهد در مراحل رشد

کارایی مصرف نور (گرم بر مگاژول)			ماده خشک (گرم)			متغیرهای توصیف آب و هوای
مرحله نمایی رشد	مرحله خطی رشد	مرحله پیری رشد	مرحله نمایی رشد	مرحله خطی رشد	مرحله پیری رشد	
0/85**	0/07ns	0/34*	-0/32ns	0/75**	0/70**	درجه روز رشد (سانتی‌گراد روز)
0/74**	-0/40**	0/41*	-0/11ns	0/36**	0/57**	میانگین دما روزانه (سانتی‌گراد)
0/73**	-0/20ns	0/44**	-0/10ns	0/24**	0/52**	میانگین حداکثر دمای روزانه (سانتی‌گراد)
0/71**	-0/51**	0/38*	-0/11ns	0/24ns	0/59**	میانگین حداقل دمای روزانه (سانتی‌گراد)
0	0/14ns	-0/36*	0	-0/40**	-0/51**	میانگین بارندگی روزانه (میلی‌متر)
-0/53*	-0/37**	0/31ns	0/48*	0/19ns	0/70**	میانگین تابش خورشیدی روزانه (مگاژول بر مترمربع)
0/69**	0/03ns	0/35*	-0/16ns	0/32*	0/55**	میانگین تبخیر و تعرق پتانسل روزانه (میلی‌متر)
0/74**	0/10ns	0/26ns	-0/14ns	0/75**	0/50**	روز با دمای حداکثر بالای 32 درجه سانتی‌گراد

*, **, و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری

بالا تر از 32 درجه سانتی‌گراد در طول مرحله خطی (62 روز) از سطح مطلوب بسیار فاصله داشت و این امر ممکن است منجر به ایجاد وزن خشک حداقل در میان سه سال آزمایش شده باشد (جدول 3). همچنین، نتایج این تحقیق نشان داد که تاثیر تمام متغیرهای آب و هوایی (بجز بارش) بر وزن خشک کدو پوست کاغذی در تمام طول فصل رشد معنی‌دار بود ($P < 0.01$) (شکل 2). به علاوه، رگرسیون بین بارش کل و وزن خشک کدو پوست کاغذی نیز در تمام طول فصل رشد معنی‌دار ($P < 0.05$) بود (شکل 2). درجه روز رشد، تابش خورشیدی، پتانسیل تبخیر و تعرق و تعداد روزهای با دمای بالاتر از 32 درجه سانتی‌گراد مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی موثر بر ماده خشک تجمعی در تمام طول فصل رشد کدو پوست کاغذی بودند. بنایان و همکاران گزارش کردند با توجه به آزمایش‌های مزرعه‌ای (Brant-Whitaker and Davis, 1962; Loy., 2004) دما، نیاز آبی و ساعات آفتابی به ترتیب بیش‌ترین تاثیر را بر رشد کدو پوست کاغذی داشتند (Bannayan at al., 2011). همچنین، تجزیه همبستگی نشان داد که در طول مرحله نمایی، وزن خشک کدو پوست کاغذی با متوسط روزانه تابش خورشیدی و درجه روز رشد، دارای همبستگی قوی بود (جدول 4). بنابراین، این متغیرهای آب و هوایی می‌توانند به عنوان عوامل محدود کننده در طول مرحله نمایی رشد این گیاه در نظر گرفته شوند. از این رو، وزن خشک کدو پوست کاغذی در طول مرحله خطی با درجه روز رشد و روزهای با دمای حداکثر بالاتر از 32 درجه سانتی‌گراد، دارای همبستگی قوی بود (جدول 4).

تجزیه و تحلیل رگرسیون نشان داد که وزن خشک کدو پوست کاغذی در طول مرحله نمایی زمانی به بیش‌ترین مقدار خود رسید که تعداد روزها با دمای بالاتر از 32 درجه سانتی‌گراد، 24 روز بود (شکل 2). به نظر می‌رسد که سطح مطلوبی برای این متغیر در طی مرحله نمایی فصل رشد کدو پوست کاغذی وجود دارد و 24 روز می‌تواند به عنوان سطح مطلوب برای روزهای با دمای حداکثر بیش‌تر از 32 درجه سانتی‌گراد در طول مرحله نمایی در نظر گرفته شود. در میان سه سال آزمایش، در سال 1392 (جدول 3) و تاریخ کاشت 21 اردیبهشت‌ماه سال 1391 (22 روز) سطح مطلوب روزهای با دمای حداکثر بالاتر از 32 درجه سانتی‌گراد در طول مرحله نمایی آن‌ها مطابقت بیش‌تری با یکدیگر داشت. افزایش سطح مطلوب روزهای با دمای حداکثر بالاتر از 32 درجه سانتی‌گراد می‌تواند منجر به کاهش شدید وزن خشک کدو پوست کاغذی در طول مرحله نمایی گردد (جدول 3). در مرحله خطی نیز همانند مرحله نمایی، بین وزن خشک و تعداد روزهای با دمای حداکثر بالاتر از 32 درجه سانتی‌گراد، همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری وجود داشت ($R^2 = 0.75, P < 0.01$) (جدول 4). اگرچه، تجزیه و تحلیل رگرسیون نشان داد که وزن خشک کدو پوست کاغذی در طول مرحله خطی در زمانی که 62 روز دمای حداکثر بالاتر از 32 درجه سانتی‌گراد بود (حدود 41 روز از پایان مرحله نمایی) به بیش‌ترین مقدار خود رسید (شکل 2). بنابراین، می‌توان آن را به عنوان سطح مطلوب روزهای با دمای حداکثر بالاتر از 32 درجه سانتی‌گراد در طول مرحله خطی رشد کدو پوست کاغذی در نظر گرفت. در سال 1391، مجموع تعداد روزهای با دمای حداکثر



شکل 2- رابطه وزن خشک (گرم بر مترمربع) کدو پوست کاغذی با درجه روز رشد (سانتی گراد)، بارش کل (میلی متر)، تابش تجمعی (مگاژول بر مترمربع) بر مترمربع، پتانسیل تبخیر و تعرق کل (میلی متر) و روزهای با دمای حداکثر بالاتر از 32 درجه سانتی گراد در مراحل مختلف رشد

اصلی تاثیرگذار بر عملکرد ذرت در میسوری³ از سال 1895 تا 1998 بودند (Hu and Buyanovsky., 2003). چالینورو همکاران نشان دادند که 50 درصد از تغییر عملکرد بادامزمینی در مقیاس کل هند می تواند از طریق تغییر در کل بارش های فصلی از سال های 1966 تا 1995 باشد (Challinor et al., 2003). در مقابل، لاندو و همکاران گزارش کردند که تغییرات اقلیمی سالانه انگلیس تنها می تواند برای حدود 10 درصد از عملکرد گیاه زراعی محاسبه شود (Landau et al., 1998). حسینی و همکاران در بررسی ارتباط بین عملکرد زعفران و متغیرهای اقلیمی در استان خراسان، کاهش عملکرد زعفران در این استان را با تغییرات در عوامل اقلیمی به ویژه دما و بارش در طول 10 سال گذشته مرتبط دانستند. آن ها دریافتند که 31 تا 66 درصد از تغییر عملکرد در مکان های اصلی کاشت زعفران در خراسان می تواند از طریق این متغیرهای آب و هوایی توصیف شود. همچنین، نتیجه گیری شد که بارش در مقایسه با دمای ماهیانه تاثیر کمتری بر عملکرد داشت (Hosseini et al., 2008). بنایان و سنجانی، شرایط آب و هوایی مرتبط با گیاهان زراعی دارای آبیاری در استان خراسان را

این دو متغیر اقلیمی ممکن است عوامل کنترل کننده خشک تجمعی در طول مرحله خطی رشد کدو پوست کاغذی باشند. در مطالعاتی که تاکنون انجام شده نیز اثرات متغیرهای اقلیمی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی مختلف گزارش شده است. جینگ و همکاران در نتایج بررسی تاثیر عوامل محیطی بر عملکرد و جذب نیتروژن برنج در آسیا نشان دادند که تامین نیتروژن، تابش و دما به طور متفاوتی تغییر در عملکرد شبیه سازی شده، جذب و کارایی مصرف نیتروژن (NUE)¹ را بیان می کند (Jing et al., 2008). کوتچر و همکاران با بررسی اثرات دما و بارش بر عملکرد کلزا در ساسکاچوان² کانادا، گزارش کردند که تعداد روزهای با دمای حداکثر بالاتر از 30 درجه سانتی گراد، همبستگی قوی با عملکرد به دنبال بارش کل در فصل رشد نشان می دهد. همچنین این محققین نشان دادند که متوسط دمای دارای همبستگی کم تر از عوامل ذکر شده در بالا با عملکرد کلزا است (Kutcher et al., 2010). هو و بویانوسکی گزارش کردند که در طول فصل رشد، تغییر در دما و بارش به عنوان عوامل

1- Nitrogen use efficiency

2- Saskatchewan

3- Missouri

نمایی می‌باشند. همبستگی مثبت بین میانگین حداقل دمای روزانه و کارایی مصرف نور (جدول 4) نشان داد که در طول مرحله نمایی چرخه رشد کدو پوست کاغذی، با افزایش کارایی مصرف نور بر میانگین حداقل دمای روزانه نیز افزوده شد. برخلاف مرحله خطی، در طول مرحله نمایی رشد کدو پوست کاغذی با افزایش میانگین حداقل دمای روزانه افزایشی در کارایی مصرف نور این گیاه حاصل نگردید. در سال 1389، حداکثر کارایی مصرف نور در طول مرحله نمایی رشد کدو پوست کاغذی در کم‌ترین میانگین حداقل دمای روزانه در طول مرحله نمایی نشان داده شد (جدول 3). به‌علاوه، در سال‌های 1391 و 1392، کارایی مصرف نور با افزایش میانگین حداقل دمای روزانه در طول مرحله نمایی رشد کدو پوست کاغذی کاهش یافت (جدول 3). به نظر می‌رسد که سطح مطلوب برای میانگین حداقل دمای روزانه در طول مرحله نمایی چرخه رشد کدو پوست کاغذی در دامنه دمایی 15 تا 15/5 درجه سانتی‌گراد است. در مرحله خطی، کارایی مصرف نور کدو پوست کاغذی همبستگی بسیار ضعیفی ($R^2 = -0.51, P < 0.01$) با میانگین حداکثر دمای روزانه نشان داد (جدول 4). بنابراین، برخلاف مرحله نمایی، میانگین حداکثر دمای روزانه محدود کننده‌ترین متغیر کارایی مصرف نور در طول مرحله خطی آن بود. رابطه منفی بین کارایی مصرف نور کدو پوست کاغذی و میانگین حداکثر دمای روزانه (جدول 4) نشان داد که کارایی مصرف نور با افزایش میانگین حداکثر دمای روزانه در طول مرحله خطی رشد این گیاه کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که کارایی مصرف نور کدو پوست کاغذی در سرتاسر آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق نسبتاً ثابت و پایدار بوده است. سایر محققان نیز گزارش کردند که کارایی مصرف نور در سرتاسر محیط‌هایی با آب و هوای متفاوت تحت شرایط مطلوب رشد ثابت است (Sinclair and Muchow., 1998). برای مثال، بررسی عوامل فیزیولوژیکی تعیین کننده عملکرد بادام‌زمینی، پایداری نسبی را در سرتاسر محیط‌ها برای کارایی مصرف نور نشان می‌دهد. کارایی مصرف نور می‌تواند از طریق عوامل غیرزنده (Jamieson et al., 1995) و فراهمی عناصر غذایی تحت تاثیر قرار گیرد (Sinclair and Horie., 1989). بنابراین، پایداری کارایی مصرف نور می‌تواند به طور موثر برای مدل‌سازی تولید زیست توده گیاهان زراعی در دامنه‌ای از شرایط آب و هوایی و محیطی استفاده شود. در میان سه سال آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق، حداکثر و حداقل مقدار کارایی مصرف نور در طول تمام فصل رشد کدو پوست کاغذی در سال‌های 1389 و 1391 بود که به ترتیب حداکثر و حداقل بارش کل را داشتند (جدول 3).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد با انتخاب تاریخ کاشت مناسب، می‌توان اثرات

بررسی کردند و نشان دادند که ارتباط بین عملکرد محصولات گوناگون و متغیرهای آب و هوایی وجود دارد (Bannayan and Sanjani., 2011). به‌علاوه، نتایج نشان داد که به جز بارش کل، سایر متغیرهای آب و هوایی درجه روز رشد، تابش تجمعی، پتانسیل تبخیر و تعرق کل و روزهای با دمای حداکثر بالاتر از 32 درجه سانتی‌گراد در مراحل مختلف رشد بیش‌ترین تأثیر و همبستگی را بر وزن خشک کدو پوست کاغذی داشت.

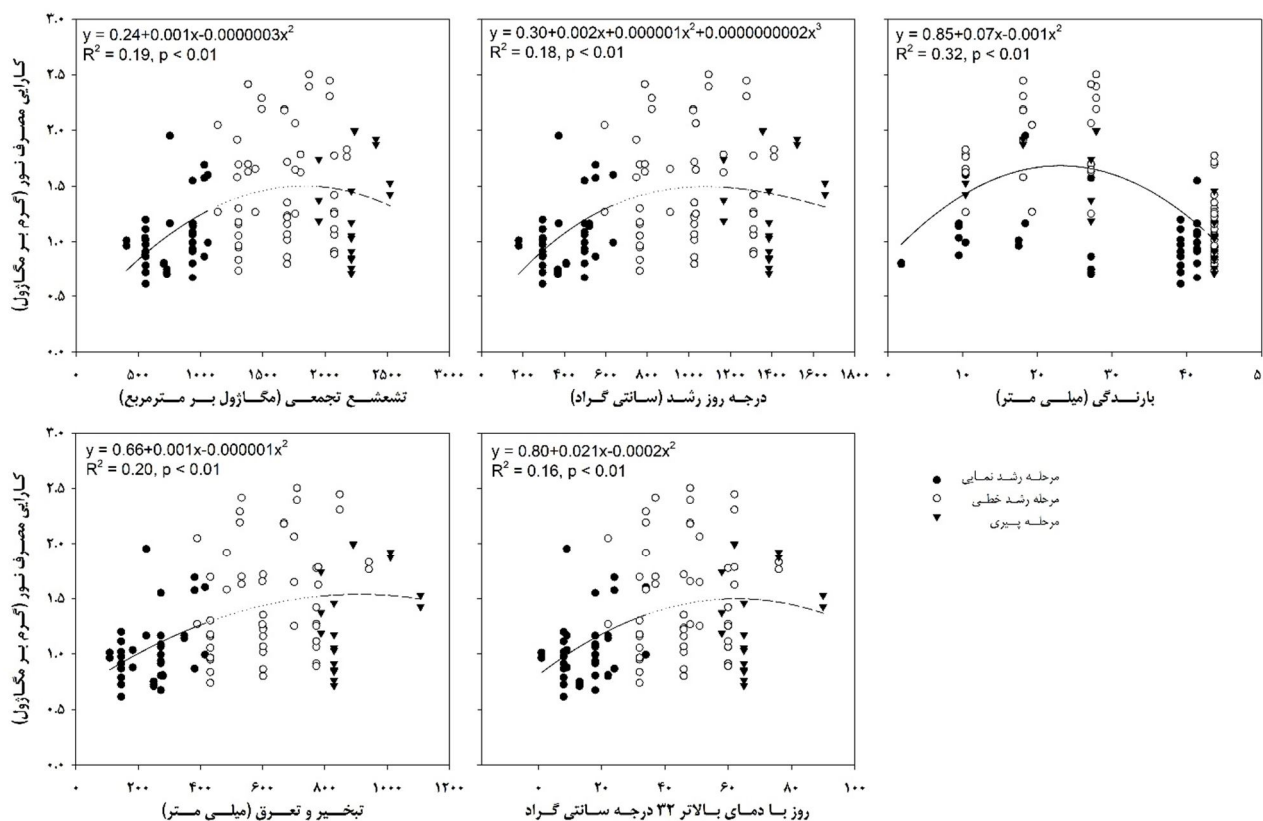
کارایی مصرف نور (RUE)

اثر تمامی متغیرهای آب و هوایی بر کارایی مصرف نور کدو پوست کاغذی بسیار معنی‌دار بود ($P < 0.01$) (شکل 3). الگوی ارتباط بین کارایی مصرف نور کدو پوست کاغذی و تمامی متغیرهای آب و هوایی از نوع تابع درجه دوم و به حالت نزولی بود (شکل 3). این امر حاکی از آن است که کارایی مصرف نور کدو پوست کاغذی در سطوح بالاتر تمامی متغیرهای آب و هوایی افزایش یافته بود و به مقدار حداکثر در سطح معین از متغیرها (سطح مطلوب) رسید و سپس کاهش یافت. بر این اساس، سطح مطلوب درجه روز رشد، بارش کل، تابش تجمعی، پتانسیل تبخیر و تعرق کل و روزهای با دمای حداکثر بالاتر از 32 درجه سانتی‌گراد در تمام طول فصل رشد کدو پوست کاغذی آبی به ترتیب 1000°Cd ، 25 میلی‌متر، 1700 MJ m^{-2} ، 750 میلی‌متر و 50 روز بود (شکل 3). بیش‌ترین کارایی مصرف نور در طول مرحله نمایی در سال 1391 زمانی بود که حداکثر بارش کل در طی این مرحله وجود داشت (جدول 3). بدین دلیل که وقوع بارش در طول مرحله نمایی رشد کدو پوست کاغذی می‌تواند کارایی مصرف نور آن را تحت تاثیر قرار دهد و منجر به افزایش کارایی مصرف نور این گیاه گردد. بنابراین، همبستگی منفی بین کارایی مصرف نور و بارش در طول مرحله نمایی که از اواسط تا انتهای این مرحله مورد بررسی قرار گرفت ممکن است به این علت باشد که در طول این دوره بارش بسیار اندک بود. به نظر می‌رسد که بارش اندک ارتباط بین کارایی مصرف نور و بارش در طول مرحله نمایی را پنهان می‌کند. همان‌طور که هیچ‌گونه بارندگی در مشهد از اواسط مرحله نمایی تا پایان فصل رشد وجود ندارد، از این‌رو، رشد کامل کدو پوست کاغذی وابسته به تامین آب از طریق آبیاری است (جدول 4).

در این تحقیق، ارزیابی روابط بین کارایی مصرف نور و بارش نشان داد که کارایی مصرف نور کدو پوست کاغذی به حداکثر مقدار خود در بارش‌های بسیار کم (25 میلی‌متر) رسید. تجزیه و تحلیل‌ها (جدول 4) نشان داد که در طول مرحله نمایی فصل رشد کدو پوست کاغذی، بیش‌ترین رابطه ($P < 0.01$) بین کارایی مصرف نور این گیاه با حداقل دمای روزانه بود. به نظر می‌رسد که این متغیرهای آب و هوایی از عوامل مهم محدود کننده کارایی مصرف نور در طول مرحله

پاسخی سازگار به تغییرات اقلیمی در نظر گرفته شود (Delgado et al., 2013).

منفی تغییرات آب و هوایی و همچنین تغییر اقلیم را بر رشد و عملکرد گیاه زراعی کاهش داد. بنابراین، تغییر تاریخ کاشت می‌تواند به‌عنوان



شکل 3- رابطه کارایی مصرف نور (گرم بر مگازول) کدو پوست کاغذی با درجه روز رشد (سانتی‌گراد)، بارش کل (میلی‌متر)، تابش تجمعی (مگازول بر مترمربع)، پتانسیل تبخیر و تعرق کل (میلی‌متر) و روزهای با دمای حداکثر بالاتر از 32 درجه سانتی‌گراد در مراحل مختلف رشد

خشک‌سالی همراه باشد (Delgado et al., 2013). از این‌رو، تاریخ کشت 21 اردیبهشت‌ماه در منطقه مشهد در طی سه سال آزمایش می‌تواند بهترین زمان کاشت این گیاه باشد. بنابراین، به منظور انتخاب تاریخ کاشت مناسب برای کدو پوست کاغذی بایستی شرایط آب و هوایی به دقت در نظر گرفته شود، زیرا با انتخاب تاریخ کاشت مناسب، اثرات منفی نوسانات آب و هوایی به‌طور قابل توجهی کاهش یافته و در نهایت رشد و عملکرد مطلوبی را برای کدو پوست کاغذی به همراه خواهد داشت. همچنین، با در نظر گرفتن شرایط رشد بهینه کدو پوست کاغذی در هر منطقه و با استفاده از داده‌های متغیرهای آب و هوایی هم‌چون بارش کل، تابش تجمعی، پتانسیل تبخیر و تعرق و روزهای با دمای حداکثر بالاتر از 32 درجه سانتی‌گراد و درجه روز رشد در هر مرحله رشدی می‌توان بهترین زمان کاشت این گیاه در هر منطقه را به‌دست آورد.

نتایج این مطالعات نشان داد که، حداکثر مقدار وزن خشک کدو پوست کاغذی (حدود 405 گرم بر مترمربع) در سال 1392 و در میان سه تاریخ کاشت در 21 اردیبهشت‌ماه (حدود 260 گرم بر مترمربع) به‌دست آمد. سال 1389 دارای بیش‌ترین مقدار بارش در طول فصل رشد کدو پوست کاغذی در مقایسه با دو سال دیگر (1391 و 1392) بود، در حالی‌که وزن خشک کدو پوست کاغذی در این فصل رشد کمتر از سال 1392 (389 گرم بر مترمربع در مقابل 405 گرم بر مترمربع) بود. به‌علاوه، در میان سه تاریخ کاشت در سال 1391، بیش‌ترین بارش در طول چرخه زندگی کدو پوست کاغذی در تاریخ کاشت 11 اردیبهشت‌ماه بود که در آن وزن خشک کدو پوست کاغذی به‌طور قابل توجهی کمتر از 21 اردیبهشت‌ماه تعیین شد (207 گرم بر مترمربع در مقابل 260 گرم بر مترمربع). از این‌رو، کاشت زود هنگام کدو پوست کاغذی می‌تواند رشد این گیاه را کاهش دهد. از سوی دیگر، کشت دیر هنگام در تاریخ کاشت 31 اردیبهشت‌ماه در سال 1391 می‌تواند منجر به کاهش تولید زیست توده شود که دلیل این امر نیز وجود تنش‌های دمایی بالا است به‌خصوص اگر با

- cumin (*Nigella sativa* L.). Asian Journal of Plant Sciences. 7: 574-578.
- Gregory, P.J., Ingram, J.S.I., Brklacich, M. 2005. Climate change and food security. Philosophical Transactions of the Royal Society. 360: 2139-2148.
- Hodges, T. 1998. Water and nitrogen applications for potato: commercial and experimental rates compared to a simulation model. Journal of Sustainable Agriculture. 13: 79-90.
- Hoogenboom, G. 2000. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. Agricultural and Forest Meteorology. 103: 137-157.
- Hosseini, M., Mollafilabi, A and Nassiri, M. 2008. Spatial and temporal patterns in saffron (*Crocus sativus* L.) yield of Khorasan province and their relationship with long term weather variation, Iran. Field Crop Research. 6: 79-88.
- Hu, Q and Buyanovsky, G. 2003. Climate effects on corn yield in Missouri. Journal of Applied Meteorology. 42: 1626-1635.
- IPCC. 2007. Summary for Policy Makers. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jamieson, P.D., Martin, R.J., Francis, G.S and Wilson, D.R. 1995. Drought effects on biomass production and radiation-use efficiency in barley. Field Crops Research. 43: 77-86.
- Jing, Q., Bouman, B., van Keulen, H., Hengsdijk, H., Cao, W and Dai, T. 2008. Disentangling the effect of environmental factors on yield and nitrogen uptake of irrigated rice in Asia. Agricultural Systems. 98: 177-188.
- Jones, P.D., Lister, D.H., Jaggard, K.W and Pidgeon, J.D. 2003. Future climate impact on the productivity of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Europe. Climatic Change. 58: 93-108.
- Jongschaap, R.E.E. 2007. Sensitivity of a crop growth simulation model to variation in LAI and canopy nitrogen used for run-time calibration. Ecological modeling. 200: 89-98.
- Jovanovic, N.Z and Annandale, J.G. 2000. Crop growth model parameters of 19 summer vegetable cultivars for use in mechanistic irrigation scheduling models. Water Southern African. 26: 67-76.
- Kamal, H.A. 2011. Effect of irrigation method and quantity on squash yield and quality. Agricultural Water Management. 98(8): 1197-1206.
- Kenter, C., Hoffmann, C.M and Marlander, B. 2006. Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). European Journal of
- عامری، ع.ا و نصیری محلاتی، م. 1387. اثرات سطوح مختلف نیتروژن و تراکم بر میزان تولید گل مواد موثره و کارایی مصرف نور در گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis*). پژوهش و سازندگی. 4.21: 144-133.
- Bannayan, M and Hoogenboom, G. 2008. Weather analogue: A tool for real-time prediction of daily weather data realizations based on a modified k-nearest neighbor approach. Environmental Modeling and Softwares. 23: 703-713.
- Bannayan, M and Sanjani, S. 2011. Weather conditions associated with irrigated crops in an arid and semi arid Environment. Agricultural and Forest Meteorology. 151: 1589-1598.
- Bannayan, M., Eyshi Rezaei, E and Alizadeh, A. 2011. Climatic Suitability of Growing Summer Squash (*Cucurbita pepo* L.) as a Medicinal Plant in Iran. Notulae Scientia Biologicae. 3: 39-46.
- Bannayan, M., Sadeghi Lotfabadi, S., Sanjani, S., Mohamadian, A and Aghaalikhani, M. 2010. Effects of precipitation and temperature on crop production variability in northeast Iran. International Journal of Biometeorology. 55: 387-401.
- Boote, K.J and Loomis, R.S. 1991. Modeling crop photosynthesis - from biochemistry to canopy. CSSA Special Publication Number 19. Crop Science Society of America, Madison, WI.
- Brant-Loy, J. 2004. Morpho-Physiological aspects of productivity and quality in Squash and Pumpkins (*Cucurbita* spp.). Critical Reviews in Plant Science. 23: 337-363.
- Challinor, A.J., Slingo, J.M., Wheeler, T.R., Craufurd, P.Q and Grimes, D.I.F. 2003. Towards a combined seasonal weather and crop productivity forecasting system: determination of the working spatial scale. Journal of Applied Meteorology. 42: 175-192.
- Chen, Y.H., Yu, S.L., Yu, Z.W. 2003. Relationship between amount or distribution of PAR interception and grain output of wheat communities. Acta Agronomica Sinica. 29 .5: 730-734.
- Decker, W.L. 1994. Developments in agricultural meteorology as a guide to its potential for the twenty-first century. Agricultural and Forest Meteorology. 69: 9-25.
- Delgado, J.A., Nearing, M.A., Rice, C.W. 2013. Conservation practices for climate change adaptation. Advances in Agronomy. 121: 47-115.
- Ghaderi, F.A., Soltani, A., Sadeghipour, H.R. 2008. Cardinal temperature of germination in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* convar. Pepo var. styriaca), Borago (*Borago officinalis* L.) and Black

- The influence of growing season on fruit yield and quality of greenhouse melon (*Cucumis melo* L.) grown in nutrient film technique in a Mediterranean climate. *Journal of Horticultural Science*. 75 .4: 488-493.
- Parry, M., Rosenzweig, C., Inglesias, A., Livermore, M., Gischer, G. 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Changes*. 14: 53-67.
- Pohlert, T. 2004. Use of empirical global radiation models for maize growth simulation. *Agricultural and Forest Meteorology*. 126: 47-58.
- Rouphael, Y and Colla, G. 2005. Radiation and water use efficiencies of greenhouse zucchini squash in relation to different climate parameters. *European Journal of Agronomy*. 23: 183-194.
- Shen, X.Y., Dai, J.Y., Hu, A.C., Gu, W.L., Zheng, B. 1993. Studies on relationship among character of canopy light interception and yield in maize populations (*Zea mays* L.). *Acta Agronomica Sinica*. 19.3: 246-252.
- Sinclair, T.R and Horie, T. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: A review. *Crop Science*. 29: 90-98.
- Sinclair, T.R., Muchow, R.C. 1998. Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy*. 65: 215-265.
- Tao, F., Yokozawa, M and Zhang, Z. 2009. Modelling the impacts of weather and climate variability on crop productivity over a large area: A new process-based model development, optimization, and uncertainties analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149: 831-850.
- Whimeld, D.M., Smith, C.J. 1989. Effect of irrigation and nitrogen on growth, light interception and efficiency of light conversion in wheat. *Field Crop Research*. 20: 279-295.
- Whitaker, T.W and Davis, G.N. 1962. Cucurbits. *InterScience INC*. New York. 10.
- Zehtab-Salmasi, S. 2006. Study of cardinal temperatures for pumpkin (*Cucurbita pepo*) seed germination. *Journal of Agronomy*. 5: 95-97.
- Agronomy*. 24: 62-69.
- Kutcher, H.R., Warland, J.S and Brandt, S.A. 2010. Temperature and precipitation effects on canola yields in Saskatchewan, Canada. *Agricultural and Forest Meteorology*. 150: 161-165.
- Landau, S., Mitchell, R.A.C., Barnett, V., Colls, J.J., Craigon, J., Moore, K.L and Payne, R.W. 1998. Testing winter wheat simulation models' predictions against observed UK grain yields. *Agricultural and Forest Meteorology*. 89: 85-99.
- Li, S., Wheeler, T., Challinor, A., Lin, E., Ju, H., Xu, Y. 2010. The observed relationships between wheat and climate in China. *Agricultural and Forest Meteorology*. 150: 1412-1419.
- Maddonni, G.A and Otegui, M.E. 1996. Leaf area, light interception, and crop development in maize. *Field Crops Research*. 48: 81-87.
- Marcelis, L.F.M. 1993. Fruit growth and biomass allocation to the fruits in cucumber. Effect of fruit load and temperature. *Scientia Horticulturae*. 54: 107-121.
- Marcelis, L.F.M., Heuvelink, E and Goudriaan, J. 1998. Modelling biomass production and yield of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae*. 74: 83-111.
- Mayers, J.D., Lawn, R.J., Byth, D.E. 1991. Agronomic studies on soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] in the dry Season of the tropics. I. Limits to yield imposed by phenology. *Australian Journal of Agricultural Research*. 42: 1075-1092.
- McKeown, A.W., Warland, J and McDonald, M.R. 2006. Long-term climate and weather patterns in relation to crop yield: a minireview. *Canadian Journal of Botany*. 84: 1031-1036.
- McMaster, G.S and Wilhelm, W.W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*. 87: 291-300.
- Monteith, J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London*. 281: 277-294.
- Pardossi, A., Giacomini, P., Malorgio, F., Albin, F.M., Murelli, C., Serra, G., Vernieri, P., Tognoni, F. 2000.

Weather Association with Yield Production and Radiation use Efficiency of Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.)

M. Bannayan^{1*}, M. Goldani², M. R. Naderi³, S. Asadi⁴

Recived: Apr.29, 2017

Accepted: May.28, 2017

Climate variation is one of the major factors causing fluctuation of growth and economic yield of plants at both temporal and spatial scales. Evaluation of climate impacts on growth and yield of plants is important to achieve desirable growth pattern and highest possible yield. Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) is an economically important plant and is cultivated throughout the world for oil and medicinal purposes. The current study was conducted to investigate the impacts of annual climate variations on dry matter accumulation, yield production and radiation use efficiency (*RUE*) of pumpkin. The required data of pumpkin growth were collected from three years experiment (2010, 2012 and 2013) at research farm of Ferdowsi university of Mashhad. A thorough analysis was carried out between yield production and radiation use efficiency of pumpkin with climate variables (including growing degree day (*GDD*), precipitation, solar radiation, potential evapotranspiration and number of days with maximum temperature higher than 32 °C). This study showed that the impact of total precipitation on pumpkin dry weight was significant ($P<0.05$) and the effects of other variables were highly significant ($P<0.01$). All climate variables also showed significant ($P<0.01$) effect on pumpkin radiation use efficiency. The strongest correlation of pumpkin dry weight and radiation use efficiency was with total potential evapotranspiration and total precipitation during the growth season, respectively. The results proper sowing date of pumpkin which coincided the crop growth with the optimum climate conditions can enable it to achieve the highest possible yield.

Key words: Crops and environment, *Cucurbita pepo* L, production, Pumpkin production, Weather and crop.

1- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- PhD of Ecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

4- PhD Student of Agroecology, Department of Agronomy, Ferdowsi University of Mashhad

(*- Corresponding Author Email: banayan@um.ac.ir)