نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 1، فروردین – اردیبهشت 1395، ص. 87-77

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 1, Mar.-Apr. 2016, p. 77-87

شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر نمو، نیاز آبیاری و عملکرد سویا در گرگان

علیرضا نه‌بندانی[1*]-افشین سلطانی[2]

تاریخ دریافت: 1393/04/30
تاریخ پذیرش: 1394/01/30

چکیده

هدف از این تحقیق، بررسی اثر افزایش دما و غلظت‌های مختلف CO_2 بر روز تا رسیدگی، نیاز آبیاری و عملکرد سویا (رقم سحر) در شرایط آبی گرگان با استفاده از مدل SSM-iLegume بود. ترکیبی از سناریوهای مختلف تغییر اقلیم شامل کاهش 1، 2، 3، 4، افزایش 1، 2، 3، 4، 5، 6، 7 و 8 درجه سانتی‌گرادی دما، عدم تغییر دما و غلظت‌های CO_2 به میزان350، 400، 450، 500، 550، 600، 650 و 700 پی‌پی‌ام درنظر گرفته شد. نتایج نشان دادکاهش دما نسبت به شرایط کنونی روز تا رسیدگی از 130 روز به 175 روز افزایش می‌دهد. با افزایش 1 تا 6 درجه دما نسبت به شرایط کنونی روز تا رسیدگی از 130 روز به 115 روز کاهش پیدا می‌کند. در یک دمای ثابت تغییرات غلظت CO_2 اثری بر روز تا رسیدگی ندارد.در دمای ثابت با افزایش غلظت CO_2 از 350 به 700 پی‌پی‌ام، کاهش بین 30 تا 40 میلی‌متر نیاز آبیاری قابل انتظار می‌باشد. کاهش بیش از 2 درجه دما نسبت به شرایط کنونی عملکرد بین 10 تا 20 گرم درمترمربع کاهش می‌دهد. در این شرایط با افزایش غلظت CO_2 از شدت کاهش عملکرد کاسته می‌شود. درصورت افزایش 2 تا 3 درجه دما نسبت به شرایط کنونی عملکرد به میزان 20 گرم درمترمربع افزایش می‌یابد. تفاوت عملکرد در این شرایط بین غلظت 350 و 700 پی‌پی‌ام CO_2 30 گرم درمترمربع بود. افزایش 3 تا 8 درجه دما نسبت به شرایط کنونی سبب کاهش عملکرد از حدود 400 به 250 گرم در مترمربع می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تغییر دما، تغییر غلظت CO_2، روز تا رسیدگی، مدل SSM-iLegume

مقدمه

تغییرات دما و CO_2 از مهم‌ترین متغیرهای محیطی مؤثر بر تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی و رشد در گیاهان می‌باشد. غلظت CO_2 در اتمسفر در طی سده گذشته عمدتاً به دلیل مصرف سوخت‌های فسیلی بصورت پیوسته در حال افزایش است و انتظار می‌رود که از سطح کنونی که حدوداً 384 پی پی ام به حدود 550 پی پی ام در سال 2050 برسد (8). با توجه به افزایش غلظت CO_2 انتظار می‌رود میانگین دمای سطح کره زمین بین 1/4 و 5/8 در قرن حاضر افزایش پیدا کند که می‌تواند تأثیرات منفی مهمی بر گیاهان زراعی داشته باشد (30).

گرم شدن اتمسفر زمین می‌تواند تنفس تاریکی را بالا برده و تنفس نوری در گیاهان C3 را تحریک کند (7). سرعت فتوسنتز تحت تأثیر دما قرار دارد بنابراین سرعت واکنش‌های بیوشیمیایی، واکنش‌های مورفولوژیکی و تبادل CO_2 و انرژی با جو نیز می‌تواند تحت تأثیر قرار گیرد (13).

افزایش غلظت CO_2 سبب افزایش عملکرد گیاهان C3 مانند گندم، برنج و سویا شده و سبب افزایش عملکرد اندکی در گیاهان C4 مانند ذرت، سورگوم و نیشکر می‌شود (9). افزایش CO_2 از طریق افزایش کربوکسیلاسیون و کاهش تنفس نوری می‌تواند سبب افزایش فتوسنتز خالص گردد. افزایش فتوسنتز و تغییرات مورفولوژی در اثر افزایش CO_2 سبب افزایش 24 تا 37 درصد عملکرد دانه می‌شود (1 و 2). افزایش CO_2 بصورت مستقیم سبب افزایش کربوهیدرات در دسترس و کارایی مصرف آب در گیاه می‌شود (24). به‌طور کلی، افزایش غلظت CO_2 به دو طریق بر فرآیندهای گیاه اثر می‌گذارد؛ یکی تأثیر مستقیم این گاز بر فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی گیاه است و دیگری تأثیر غیرمستقیم آن از طریق تغییرات دما و بارندگی می‌باشد. تأثیر نهایی افزایش غلظت CO_2 و تغییرات آب و هوایی همراه با آن بر گیاهان زراعی کاملاً به شرایط محیطی جاری در محل موردنظر بستگی دارد و ممکن است از محلی به محل دیگر متفاوت باشد (12).

تغییر اقلیم می‌تواند بر آب قابل دسترس برای کشاورزی تأثیر

1و 2- به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: Email: a.nehbandani@yahoo.com)

گذاشته و منجر به خشک شدن محیط در مناطق نیمه خشک ایران گردد (19). آبیاری گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان به‌منظور حفظ تولید و پاسخگویی به نیاز غذایی جمعیت موجود امری بسیار ضروری می‌باشد. بنابراین، تغییر اقلیم می‌تواند امنیت غذایی را کاهش داده و سبب افزایش آسیب‌پذیری کشاورزان در این مناطق گردد.

یکی از گیاهان زراعی که شرایط آینده زمین می‌تواند کشت و کار آن را دستخوش تغییر کند گیاه سویا است. حساسیت‌های خاص سویا به عوامل اقلیمی از جمله درجه حرارت، طول روز و رطوبت یکی از عوامل تعیین‌کننده عملکرد این گیاه است. مطالعه اثرات تغییر اقلیم به معنای افزایش درجه حرارت و غلظت CO_2 می‌تواند به گسترش استراتژی‌های سازگاری مورد نیاز کمک کرده تا بتوان به عملکرد بیشتر و پایدارتری دست یافت.بنابراین، در این مطالعه اثرات دما و CO_2 بر روی روز تا رسیدگی، نیاز آبیاری و عملکرد سویا تحت شرایط آبی در گرگان با استفاده از مدل SSM-iLegume بررسی شد.

مواد و روش‌ها

مدل مورد استفاده: برای شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر تولید سویا از مدل SSM-iLegume (27) استفاده شد. این مدل توانایی شبیه‌سازی مراحل فنولوژی، گسترش و پیری برگ، توزیع ماده خشک، موازنه نیتروژن گیاه، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک را دارد. پاسخ فرآیندهای گیاهی به عوامل محیطی مانند تشعشع خورشیدی، فتوپریود، حرارت، نیتروژن و آب قابل دسترس و تفاوت‌های ژنتیکی ارقام در مدل در نظر گرفته شده است. مدل شبیه‌سازی را به صورت روزانه انجام می‌دهد و از اطلاعات قابل دسترس آب و هوا و خاک استفاده می‌کند (27). لازم به ذکر است که این مدل اثر آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز را بر روی گیاه در نظر نمی‌گیرد، بنابراین، در این تحقیق نیز اثر این عوامل بر خصوصیات فیزیولوژیکی و صفات گیاهی مطرح نمی‌باشد.

سناریوهای تغییر اقلیم: برای نشان دادن روند دقیق اثر تغییر اقلیم بر سویا در این آزمایش ترکیبی از سناریوهای مختلف تغییر اقلیم شامل کاهش 1، 2، 3، 4، افزایش 1، 2، 3، 4، 5، 6، 7 و 8 درجه سانتی‌گراد دما، عدم تغییر دما،غلظت‌های مختلف CO_2 شامل350، 400، 450، 500، 550، 600، 650 و 700 پی‌پی‌ام درنظر گرفته شد. این گونه مطالعه یک دید کلی در مورد چگونگی پاسخ سیستم به محدوده‌ای از شرایط می‌دهد و این امکان را به وجود می‌آید تا اثر هر یک از اجزاء متفاوت تغییر اقلیم جدا شود. با اعمال تغییرات دمایی ذکر شده در داده‌های هواشناسی واقعی سال‌های 1980 تا 2009 ایستگاه سینوپتیک گرگان با عرض جغرافیایی 37 درجه و 45 دقیقه شمالی، طول جغرافیایی 54 درجه و 30 دقیقه شرقی، داده‌های هواشناسی برای شرایط آینده و تحت هر سناریو تولید شدند.

شبیه‌سازی‌ها: مدل SSM-iLegume برای شرایط آبی و تحت سناریوهای مختلف اجرا شد. تراکم بوته 30 بوته در مترمربع منظور شد. تاریخ کاشت برای تمام سناریوها 3 تیر در نظر گرفته شد و از پارامترهای رقم سحر، که رقم محلی خود منطقه می‌باشد، استفاده شد. مقدار نیتروژن خاک که در اول فصل قابل جذب است، 4 گرم در مترمربع در نظر گرفته شد. وقتی کسر آب قابل تعرق خاک به کمتر از 0/5 کاهش می‌یافت، آبیاری انجام می‌شد. نوع خاک سیلتی رسی لوم با عمق 120 سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آلبید و 0/13، فاکتور زهکشی 0/5 و شماره منحنی خاک 79 درنظر گرفته شد (27).

اثر غیرمستقیم افزایش غلظت CO_2 (تغییر دما)، با تغییرات اعمال شده در داده‌های هواشناسی، خروجی‌های مدل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اما برای تأثیر مستقیم آن نیاز به اعمال تغییراتی در مدل می‌باشد؛افزایش غلظت CO_2 به‌طور مستقیم دو پارامتر مدل یعنی کارایی استفاده از تشعشع و ضریب کارایی تعرق را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای اعمال این تغییرات به این علت که بر روی سویا مشاهدات مستقیمی وجود نداشت، کارایی استفاده از تشعشع براساس گزارش سلطانی و همکاران (29) در نخود مبنی‌بر افزایش 23 درصدی کارایی استفاده از تشعشع و کارایی تعرق براساس گزارش آسنگ و همکاران (5) در گندم مبنی‌بر افزایش 37 درصدی کارایی تعرق در اثر دو برابر شدن CO_2 از 350 به 700 پی‌پی ام تغییر داده شد (12).

با اجرای مدل برای هر سال و تحت هر سناریو، روز تا رسیدگی،نیاز آبیاری (با فرض اینکه راندمان آبیاری 100 درصد باشد) و عملکرد دانه از خروجی مدل ثبت شد. به منظور بررسی پاسخ روز تا رسیدگی، مجموع آب مصرفی در آبیاری و عملکرد دانه به تغییرات همزمان دما و غلظت CO_2 و تعیین حد مطلوب آن‌ها، تجزیه داده‌ها با استفاده از روش آنالیز سطح پاسخ[1] در نرم‌افزار SAS (3) انجام شد. سطح پاسخ درواقع عبارت است از یک رگرسیون چندگانه که در آن دما و غلظت CO_2 متغیرهای مستقل می‌باشند. در این آنالیز وضعیت سطح پاسخ متغیر اندازه‌گیری شده به سطوح هر دو عامل به‌طور همزمان مطالعه شده تا بدین وسیله مقدار سطحدما و غلظت CO_2 که در آن متغیر اندازه‌گیری شده به حداکثر یا حداقل خود می‌رسد، یافت شود.

آنالیز سطح واکنش با مدل درجه دوم زیر انجام گرفت:

$$Y= \beta_0+ \beta_1x_1+ \beta_2x_2 + \beta_{11}x_1^2 +\beta_{22}x_2^2+\beta_{12}x_1x_2$$

در این فرمول Yمتغیر پاسخ (روز تا رسیدگی، مجموع آب مصرفی در آبیاری و عملکرد دانه)، x_1 و x_2 متغیر مستقل (به ترتیب دما و غلظت CO_2)، β_0 ضریب ثابت، β_1 و β_2 اثرات خطی، β_{11} و β_{22} اثر

1- Response surface analysis

مربعات و β_{12} اثر متقابل می‌باشد.

جدول 1- نتایج تجزیه واریانس برازش سطح پاسخ درجه دوبرای صفات مورد مطالعه (براساس آنالیز سطح پاسخ)

Table 1- Analysis of variance quadratic response surface fit for the studied traits (based on response surface analysis)

منابع تغییر Sources of change	درجه آزادی Degrees of freedom	مجموع مربعات Sum of squares		
		روز تا رسیدگی Days to maturity	نیاز آبیاری (میلی‌متر) Irrigation requirements (mm)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع) Yield (grams per square meter)
رگرسیون Regression	5	8538489**	4053128**	7462806**
خطی Linear	2	5298136**	877148**	4756579**
درجه دوم Quadratic	2	3240353**	3172563**	2603067**
برهم کنش Interaction	1	0 ns	3417ns	103160**
دما Temperature	3	8538489**	3334511**	7134343**
CO_2	3	0ns	722034**	431624**
خطای باقیمانده Residual error	3114	2951653	12497203	2654501

جدول2- مقادیر ضرایب مدل برازش شده در آنالیز سطح پاسخ برای صفات مورد مطالعه

Table 2. The values of the coefficients in the model fitted response surface analysis for the studied traits

ضریب Coefficient	صفت Trait		
	روز تا رسیدگی Days to maturity	نیاز آبیاری (میلی‌متر) Irrigation requirements (mm)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع) Yield (grams per square meter)
β_0	145**	371**	315**
β_1	-21**	10.93**	-7.85**
β_2	0ns	0.01ns	0.27**
β_{11}	2.6**	-2.56**	-2.32**
β_{12}	0ns	0.002ns	0.01**
β_{22}	0ns	-0.0001*	-0.001**

نتایج و بحث

تجزیه واریانس سطح واکنش به‌منظور تعیین معنی‌داری مدل چند جمله‌ای درجه دوم برای روز تا رسیدگی،نیاز آبیاریو عملکرد صورت پذیرفت (جدول 1). با توجه به جدول سطح پاسخ درجه دو در سطح 1 درصد برای تمامی صفات معنی‌دار بود.

روز تا رسیدگی

نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان داد که از اثرات خطی، فقط اثر دما در سطح 1 درصد بر روزتارسیدگی معنی‌دار می‌باشد. در مورد اثرات درجه دوم نیز فقط اثر دما در سطح 1 درصد معنی‌دار بود. اثرات متقابل دما و غلظت CO_2 معنی‌دار نبودند. بنابراین تغییرات دما مؤثرترین عامل بر روزتارسیدگی بوده و تغییرات غلظت CO_2 اثر معنی‌داری بر آن نداشتند (جدول 1 و 2).

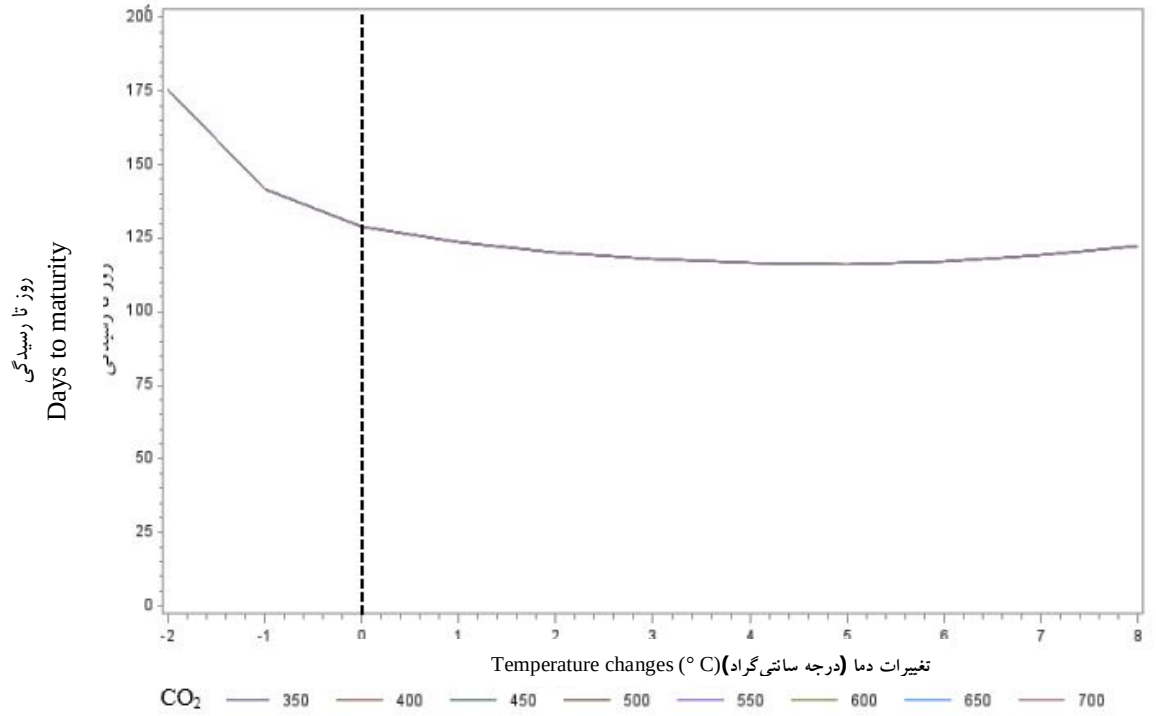
با استفاده از ضرایب متغیرها مدل درجه دوم زیر بدست آمد:

$$y = 145 - 21x_1 + 2.6x_1^2$$

براساس آنالیز ریج اگر x_1، 4 درجه سانتی‌گراد نسبت به شرایط کنونی افزایش یابد و x_2 برابر 689 پی‌پی‌ام باشد حداقل تعداد روز تا رسیدگی به میزان 101 روز به دست خواهد آمد.

شکل 1 ارتباط بین روز تا رسیدگی در سویا را با تغییرات دما در شرایط افزایش غلظت CO_2 را نشان می‌دهد. همان‌طوری‌که شکل نشان می‌دهد در صورت کاهش دما نسبت به شرایط کنونی روز تا رسیدگی از 130 روز به 175 روز افزایش می‌یابد زیرا در این شرایط سرعت نمو سویا که به شدت وابسته به دما می‌باشد به دلیل نامساعد شدن دما کاهش یافته و از این‌رو، روز تا رسیدگی افزایش می‌یابد. با افزایش 1 تا 6 درجه دما نسبت به شرایط کنونی روز تا رسیدگیاز 130 روز به 115 روز کاهش پیدا می‌کند که به دلیل سرعت نموبیشتر و طی شدن سریع‌تر مراحل نموی سویا می‌باشد. افزایش دما بیش از 6 درجه سانتی‌گراد سبب می‌شود تأثیر دما بر کاهش روز تا رسیدگی کمتر گردد. این امر به دلیل افزایش تعداد روزهایی است که میانگین دما بیشتر از حد مطلوب برای گیاه بوده که در آن‌ها سرعت نمو رو به کاهش می‌گذارد.در یک دمای ثابت همانطور که در شکل مشخص

است تغییرات غلظت CO_2 اثری بر روز تا رسیدگی ندارد.



شکل 1. تأثیر تغییرات دما بر روز تا رسیدگی سویا در شرایط افزایش غلظت CO2. اعداد زیر شکل (از 350 تا 700 پی‌پی‌ام) غلظت CO_2 را نشان می‌دهد

Figure 1. Effect of temperature on soybean days to maturity in conditions increasing concentrations of. The following numbers (of 350 to 700 ppm) shows CO_2concentration

سایر مطالعات انجام شده بر روی تاثیر تغییر اقلیم در نخود (۱۲،۱۹)، گندم (18)، برنج (23)، ذرت (14) و سویا (21) نیز نشان داده است افزایش غلظت CO_2 تاثیر مستقیمی بر فنولوژی این گیاهان ندارد اما تاثیر غیرمستقیم آن از طریق افزایش دما به‌طور معنی‌داری روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی را کاهش می‌دهد.

نیاز آبیاری

نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان داد که از اثرات خطی، فقط دما در سطح 1 درصد بر نیاز آبیاری معنی‌دار می‌باشد. در مورد اثرات درجه دوم اثر دما در سطح 1 درصد و اثر غلظت CO_2 در سطح 5 درصد معنی‌دار بود. اثرات متقابل دما و غلظت CO_2 معنی‌دار نبودند (جدول 2).

با استفاده از ضرایب متغیرها مدل درجه دوم زیر بدست آمد:

$$y = 371 + 10.94x_1 + 0.01x_2 - 2.57x_1^2 - 0.0001x_2^2$$

براساس آنالیز ریج اگر x_1، 2/3 درجه سانتی‌گراد نسبت به شرایط کنونی افزایش یابد و x_2 برابر 350 پی‌پی‌ام باشد حداکثرنیاز آبیاری به میزان 372میلی‌متر به دست خواهد آمد. همچنین بر این اساس اگر x_1، 4 درجه سانتی‌گراد نسبت به شرایط کنونی کاهش یابد و x_2 برابر 549 پی‌پی‌ام باشد حداقل نیاز آبیاری به میزان 247 میلی‌متر به دست خواهد آمد.

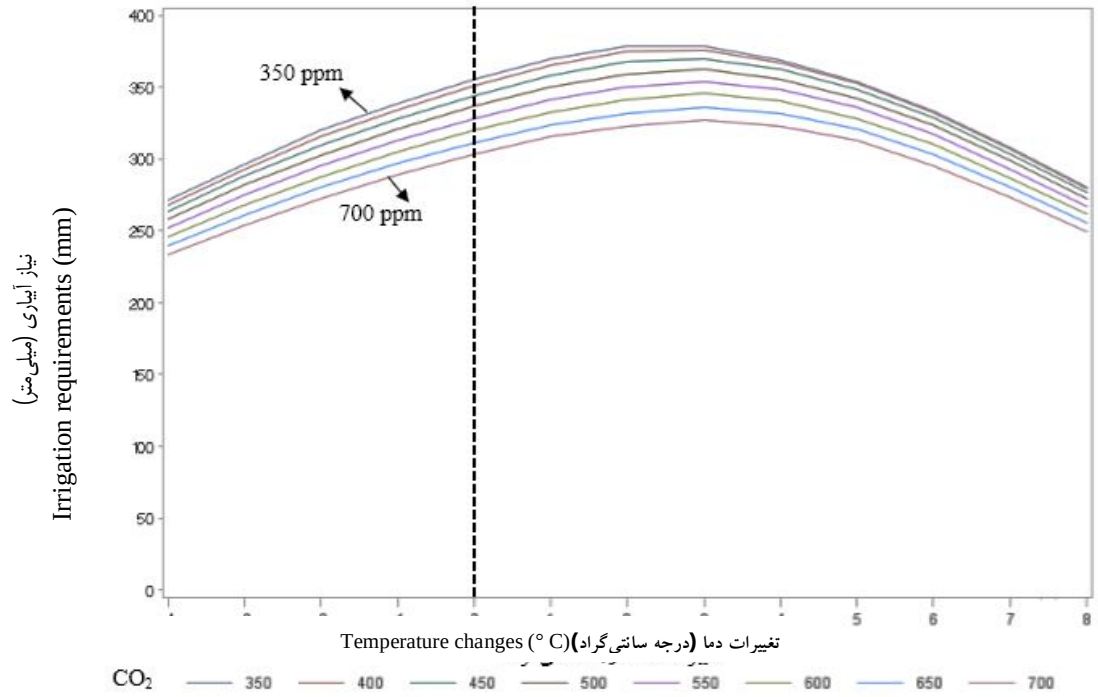
شکل 2 ارتباط بین نیاز آبیاری در سویا را با تغییرات دما در شرایط افزایش غلظت CO_2 را نشان می‌دهد. همان‌طوری‌که شکل نشان می‌دهد در صورت کاهش دما نسبت به شرایط کنونی شاهد کاهش نیاز آبیاری خواهیم بود. بعنوان مثال کاهش 4 درجه‌ای دما نسبت به شرایط کنونی سبب کاهش حدود 70 میلی‌متر نیاز آبیاری نسبت به شرایط کنونی می‌گردد. علت کاهش نیاز آبیاری در این شرایط، کاهش تعرق می‌باشد. در دمای ثابت با افزایش غلظت CO_2 از 350 به 700 پی‌پی‌ام، کاهش بین 30 تا 40 میلی‌متر نیاز آبیاری قابل انتظار می‌باشد (شکل 3). این امر ناشی از تاثیرات افزایش غلظت CO_2 در کاهش هدایت روزنه‌ای در گیاه، افزایش کارایی تعرق و به دنبال آن کاهش تعرق می‌باشد (6 و 31).

افزایش 1 تا 3 درجه سانتی‌گراد دما نسبت به شرایط کنونی منجر به افزایش نیاز آبیاری به میزان 30 میلی‌متر می‌گردد (شکل 2). افزایش دما منجر به افزایش در ارتفاع بوته و تعداد شاخه و سطح برگ

در سویا می‌شود (13) بنابراین تعرق در سویا افزایش یافته و نیاز آبیاری افزایش می‌یابد.

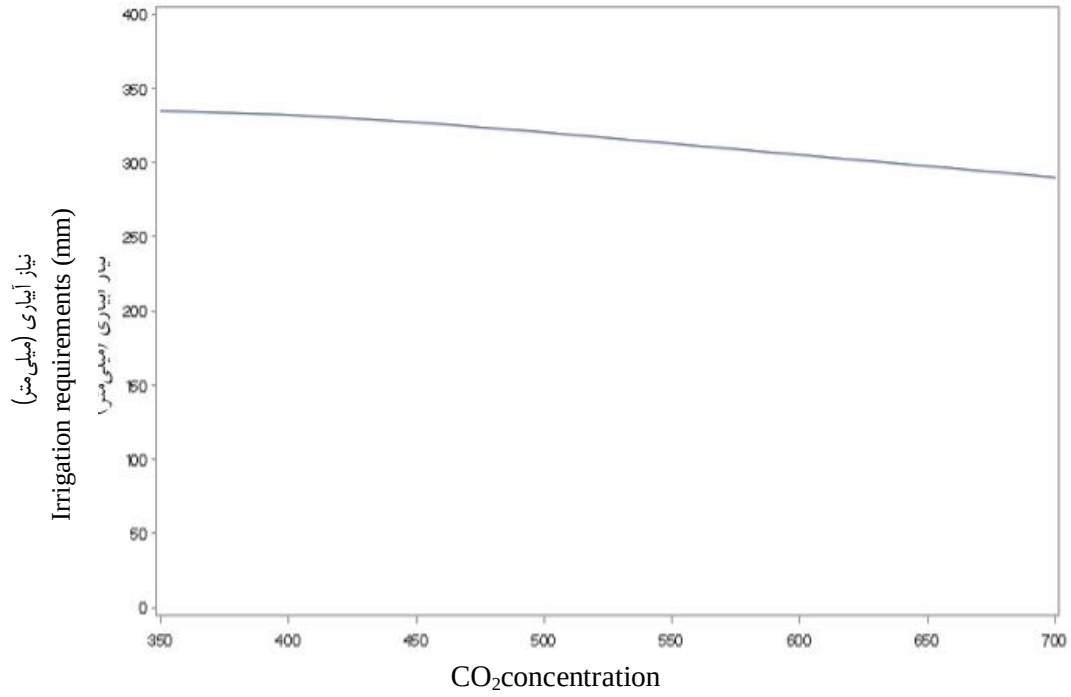
افزایش دما از 3 تا 8 درجه سانتی‌گراد نسبت به شرایط کنونی سبب کاهش نیاز آبیاری به میزان 90 میلی‌متر می‌گردد. با افزایش دما طول دوره‌ی رشدی گیاه کوتاه می‌گردد و تعداد دفعات آبیاری و نیاز آبیاری کاهش می‌یابد. درصورت افزایش غلظت CO_2، تعرق مشابه حالت قبل کاهش پیدا می‌کند.آلن و همکاران (3) اثرات غلظت دی‌اکسید کربن و تنش آب را بر روی تبادلات گازی سویا مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بیان داشتند افزایش دی‌اکسید کربن تا660 پی‌پی‌ام از طریق افزایش شاخه‌دهی باعث گسترش سطح برگ و افزایش فتوسنتز و از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای سبب کاهش تعرق نسبت به شرایط 330 پی‌پی‌ام می‌شود.

تغییر نیاز آبیاری در اثر تغییر اقلیم در مناطق مختلف متفاوت می‌باشد بطوری‌که مطالعات انجام شده در نواحی مدیترانه نشان داده است که نیاز آبیاری گیاهان زراعی افزایش می‌یابد (۱۱،۹، 25) اما در اروپا نیاز آبیاری کاهش پیدا می‌کند (20). حجارپور و همکاران (12) گزارش کردند که با تغییر اقلیم در کرمانشاه میزان آب آبیاری مورد نیاز برای کشت نخود جهت دستیابی به پتانسیل عملکرد کاهش می‌یابد. آن‌ها دلیل این امر را افزایش کارایی تعرق به علت کاهش هدایت روزنه‌ای ناشی از افزایش CO_2 و همچنین کاهش طول دوره رشد گیاه در اثر افزایش دما عنوان کردند. سلطانی و قلی‌پور (26) در نخود نشان دادند که تغییر اقلیم تحت شرایط آبی مراغه می‌تواند تا 15 درصد نیاز آبیاری را کاهش دهد. کوچکی و همکاران (19) بیان داشتند تغییر اقلیم آینده منجر به کاهش نیاز آبیاری در نخود و افزایش نیاز آبیاری در آفتابگردان می‌گردد. ایسلام و همکاران (14) در ذرت نشان دادند که تغییر اقلیم نیاز آبیاری را افزایش نمی‌دهد و علت آن‌را کاهش طول دوره رشد گیاه و نیز کاهش تعرق در گیاه به دلیل افزایش غلظت CO_2 بیان کردند. از سوی دیگر مطالعات نشان داده است که افزایش CO_2 موجب افزایش کارایی مصرف آب در گیاهان شود (14).نوکس و همکاران (16) در نیشکر بیان داشتند به منظور حفظ عملکرد در شرایط تغییر اقلیم آینده باید مقدار آبیاری 20 تا 22 درصد افزایش یابد.



شکل 2- تأثیر تغییرات دما بر نیاز آبیاری (میلی‌متر) سویا در شرایط افزایش غلظت CO_2. اعداد زیر شکل (از 350 تا 700 پی‌پی‌ام) غلظت CO_2 را نشان می‌دهد

Figure 2- The effect of temperature changes on the need for irrigation (mm) soybeanin conditions increasing concentrations of CO_2.The following numbers (of 350 to 700 ppm) shows CO_2 concentration



شکل 3. تأثیر افزایش غلظت CO2 بر نیاز آبیاری (میلی‌متر) در سویا
Figure 3- Effects of elevated CO2 on the need for irrigation (mm) in soybean

عملکرد

نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان داد که از اثرات خطی دما و غلظت CO_2 در سطح 1 درصد معنی‌دار می‌باشد. در مورد اثرات درجه دوم اثر دما و غلظت CO_2 در سطح 1 درصد معنی‌دار بود. اثرات متقابل دما و غلظت CO_2 نیز بر عملکرد در سطح 1 درصد معنی‌دار بود (جدول 2).

با استفاده از ضرایب متغیرها مدل درجه دوم زیر بدست آمد:

$$y = 315 - 7.85x_1 + 0.27x_2 + 2.32x_1^2 + 0.01x_2^2 - 0.001\,x_1x_2$$

مدل درجه دوم بدست آمده در این تحقیق برای تعیین شرایط بهینه عملکرد سویا در شرایط تغییر اقلیم استفاده گردید. براساس آنالیز ریج اگر x_1، 0/30 درجه سانتی‌گراد نسبت به شرایط کنونی افزایش یابد و x_2برابر 690 پی‌پی‌ام باشد حداکثر مقدار عملکرد به میزان 406 گرم درمترمربع به دست خواهد آمد.

شکل 4 و شکل 5 واکنش عملکرد به مقادیر دما و غلظت CO_2 را نشان می‌دهد. در صورت کاهش بیش از 2 درجه دما نسبت به شرایط کنونی عملکرد بین 10 تا 20 گرم درمترمربع کاهش می‌یابد. در این شرایط با افزایش غلظت CO_2 از شدت کاهش عملکرد کاسته می‌شود. از سوی دیگر در صورت کاهش دما نسبت به شرایط کنونی افزایش CO_2 اثر مثبتی داشته و سبب می‌گردد تأثیر منفی کاهش دما بر عملکرد دیرتر مشاهده گردد. در محدوده دمایی بین کاهش 2- درجه تا افزایش 2 درجه دما نسبت به شرایط کنونی عملکرد ثابت بوده و تغییری نمی‌کند. افزایش غلظت CO_2 از 350 به 700 پی‌پی‌ام در این محدوده سبب افزایش عملکرد به میزان 10 گرم درمترمربع می‌گردد. درصورت افزایش 2 تا 3 درجه دما نسبت به شرایط کنونی عملکرد به میزان 20 گرم درمترمربع افزایش می‌یابد. تفاوت عملکرد در این شرایط بین غلظت 350 و 700 پی‌پی‌ام CO_2 30 گرم درمترمربع بود. افزایش 3 تا 8 درجه دما نسبت به شرایط کنونی سبب کاهش عملکرد از حدود 400 به 250 گرم در مترمربع می‌گردد. روند صعودی گرم شدن جو می‌تواند احتمال فزونی یافتن دمای هوا بر دمای آستانه رشد و نمو را تقویت نموده و منجر به توقف رشد گردد (10). همان‌طور که در شکل 3 مشخص است کاهش عملکرد در شرایط افزایش غلظت CO_2 دیرتر روی خواهد داد به عبارت دیگر کاهش عملکرد در اثر دماهای نامطلوب دیرتر اتفاق افتاده و تأثیرات منفی افزایش بیش از حد مطلوب دما بر روی عملکرد دیرتر مشاهده می‌شود.تاکاریندا و همکاران (30) بیان داشتند دماهای بالا سبب کاهش 16 تا 30 درصد تعداد غلاف در سویا می‌گردد. کاهش عملکرد به دلیل افزایش دما به دلیل کاهش طول دوره پرشدن دانه می‌باشد اما افزایش غلظت CO_2 در تمامی دماها به دلیل اختصاص بیشتر ماده فتوسنتزی برای دانه سبب افزایش عملکرد می‌شود (32). از سوی دیگر در دماهای بیشتر از حد مطلوب برای گیاه اثر مثبت

CO_2 کاهش می‌یابد.

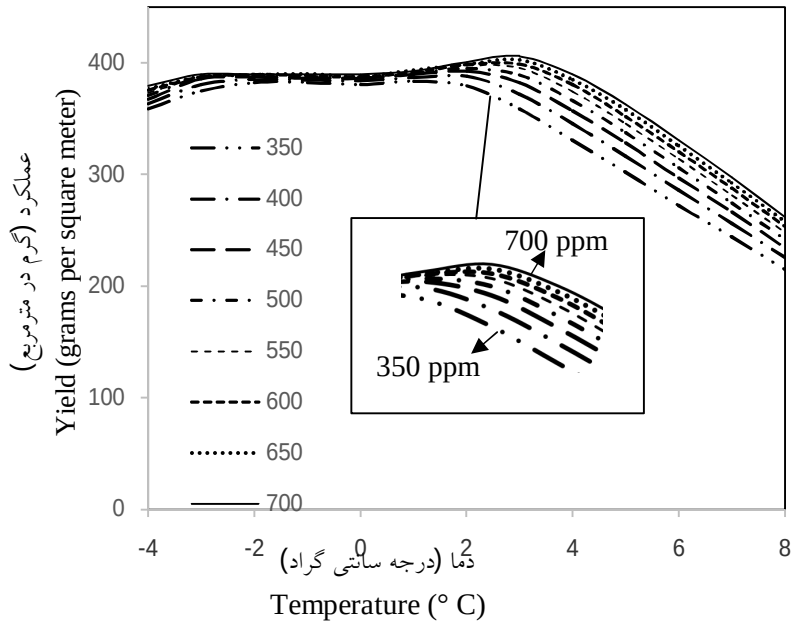
ویلکوکس و ماکوفسکی (33) در گندم نیز بیان داشتند که اثر منفی افزایش دما توسط افزایش غلظت CO_2 و بارش جبران پذیر است. آن‌ها بیان داشتند افزایش‌غلظتCO_2 از طریق افزایش میزان فتوسنتز و کارایی مصرف آب باعث افزایش عملکرد می‌شود.اوه و همکاران (22) گزارش کردند که افزایش 4 درجه سانتی‌گراد دما در سویا سبب کاهش 30 درصد در عملکرد می‌شود (27-31 درجه سانتی‌گراد). تاکاریندا و همکاران (30) گزارش کردند که افزایش 3 درجه دما سبب کاهش حدود40 درصد عملکرد در سویا می‌گردد. آمتور (4) بیان داشت افزایش 1 تا 4 درجه دما می‌تواند باعث کاهش تأثیر مثبت افزایش غلظت CO_2 بر عملکرد گندم شود. از سوی دیگر افزایش دما می‌تواند سبب افزایش تنش خشکی به دلیل افزایش تبخیر و تعرق و کاهش بارندگی شده و بنابراین عملکرد را در گیاهان زراعی کاهش دهد (17).

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه تأثیرات تغییر دما و غلظت CO_2 بر سویا را نشان داد. نتایج حاکی از آن بود که درصورت افزایش 1 تا 6 درجه دما نسبت به شرایط کنونی روز تا رسیدگی از 130 روز به 115 روز کاهش پیدا می‌کند. افزایش 1 تا 3 درجه‌ای دما موجب افزایش 30 میلی‌متر در نیاز آبیاری سویا می‌گردد. افزایش 3 درجه‌ای دما سبب افزایش حدود 30 گرم در مترمربع عملکرد دانه می‌گردد. افزایش دما از 3 تا 8 درجه سانتی‌گراد سبب کاهش 90 میلی‌متری نیاز آبیاری به دلیل کاهش روز تا رسیدگی می‌شود. عملکرد دانه نیز در این شرایط، به دلیل کاهش دوره رشد گیاه و افزایش تعداد روزهایی که دما بالاتر از حد مطلوب برای گیاه، 130 گرم در مترمربع کاهش می‌یابد.

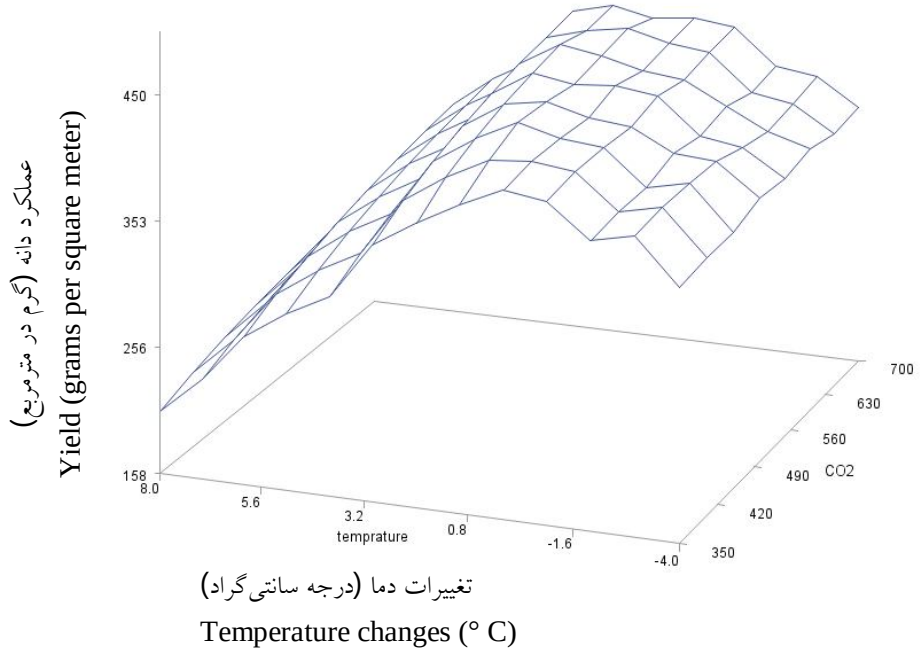
در صورت افزایش غلظت CO_2 از 350 به 700 پی‌پی‌ام، کاهش 50 میلی‌متر نیاز آبیاری قابل انتظار می‌باشد. همچنین، کاهش عملکرد در اثر دماهای نامطلوب دیرتر اتفاق افتاده و تأثیرات منفی افزایش بیش از حد مطلوب دما بر روی عملکرد دیرتر مشاهده می‌شود. از سوی دیگر، دماهای بیشتر از حد مطلوب برای سویامی‌تواند اثر مثبت CO_2 را کاهش دهد.

بنابراین، با توجه به تغییرات پیش‌بینی شده استراتژی‌هایی را که برای شرایط آینده می‌توان پیشنهاد داد شامل بهبود دادن روش‌های آبیاری، توسعه ارقام محلی مقاوم به خشکسالی و مقاوم به دماهای بالا، افزایش راندمان مصرف آب، تاریخ کاشت زودتر به منظور جلوگیری از تنش گرمایی در فصل تابستان، توسعه و استفاده از ارقام دیررس به منظور افزایش دوره پرشدن دانه و سرمایه گذاری بیشتر در بخش کشاورزی به منظور افزایش کارایی در این بخش می‌باشد.



شکل 4- تأثیر تغییرات دما بر عملکرد سویا در شرایط افزایش غلظت CO_2. اعداد داخل شکل (از 350 تا 700پی‌پی‌ام) غلظت CO_2 را نشان می‌دهد

Figure 4- Effect of temperature changes on soybean yield in conditions increasing concentrations of CO_2. The following numbers (of 350 to 700 ppm) shows CO_2 concentration



شکل 5- عملکرد سویا تحت تأثیر سطوح مختلف دما و CO_2

Figure 5- Soybean yield under different levels of temperature and CO_2

منابع

1- Ainsworth E.A., Davey P.A., Bernachhi C.J., Dermody O.C., Heaton E.A.,Moore D.J., Morgan P.B., Naidu S.L., Ra H.S.Y., Zhu X.G., CurtisP.S., and Long S.P. 2002. A meta-analysis of elevated CO_2 effectson soybean (*Glycine max* L.) physiology, growth and yield.Global Change Biology, 8(8):695–709.

2- Allen L.H., and Boote K.J. 2000. Crop ecosystem responses to climatechange: soybean. p. 133-160. In Reddy K.R., Hodges H.F. (ed.) Climate Changeand Global Crop Productivity. CABI Publishing, Oxon, UK.

3- Allen L.H., Valle R.R., Mishoe J.W., and Jones J.W. 1994. Soybean Leaf gas-exchangeresponses to carbon dioxide and water stress. Agronomy Journal, 86(1):625-636.

4- Amthor J.S. 2001. Effects of atmospheric CO_2 concentration on wheat yield: reviewof results fromexperiments using various approaches to control CO_2 concentration. Field Crops Research, 73(4):1–34.

5- Asseng S., Jamieson P., Kimball B., Pinter P., Sayre K., Bowden J., and Howden S. 2004. Simulated wheat growth affected by rising temperature, increased water deficit and elevated atmospheric CO2. Field Crops Research, 85(2):85-102.

6- Bernacchi C.J., Kimball B.A., Quarles D.R., Long S.P., and Ort D.R. 2007. Decreases in stomatal conductance of soybean under open-air elevation of [CO_2] are closely coupled with decreases in ecosystem evapotranspiration. Plant Physiology, 143(1):134-144.

7- Bunce J.A., Ziska L.H. 1996. Responses of respiration to increase in carbondioxide concentration and temperature in three soybean cultivars. AnnalsBotany, 77(3): 507–514

8- Carter T.R., Jones R.N., Lu X.L. 2007. New assessment methods and the characterization of future conditions. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation andVulnerability, Contribution ofWorking Group II to the Fourth Assessment Reportof the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. Cambridge UniversityPress, Cambridge, UK.

9- Fischer G., Tupelo F.N., van Velthuizen H., and Wiberg D.A. 2007. Climate changeimpactson irrigation water requirements: effects of mitigation, 1990–2080.Technological Forecasting SocialChange, 74(7):1083–1107.

10- Gholipoor M., and Soltani A. 2005. Effects of climate change on growth characteristics and yield of winter wheat in dryland and irrigated conditions of the Tabriz using simulation. Journal of Agricultural Knowledge, 15(3):163-176.(in Persian)

11- Giannakopoulos C., Le Sager P., Bindi M., Moriondo M., Kostopoulou E., and Goodess, C.M. 2009. Climatic changes and associated impacts in the Mediterraneanresulting from a 2Cglobal warming. Global Planet Change,

68(2): 209–224.

12- Hajarpour A.,Soltani A.,Zeinali E., and Sayyedi F. 2013. Simulating the impact of climate change on production of Chickpea inrainfed and irrigated condition of Kermanshah. Journal of Plant Production, 20 (2):235-252. (in Persian with English abstract)
13- Heinemann A. B., Maia A. D. H., Dourado-Neto D., Ingram K., and Hoogenboom G. 2006. Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Growth and development response to CO2 enrichment under different temperature regimes. European journal of agronomy, 24(1):52-61.
14- Islam A., Ahuja L.R., Garcia L.A., Ma L., Saseendran A.S., and Trout T.J. 2012. Modeling the impacts of climate change on irrigated corn production in the Central Great Plains. Agricultural Water Management, 110(1):94-108.
15- JU H., LIN E.-d., Wheeler T., Challinor A., and JIANG S. 2013. Climate change modelling and its roles to Chinese crops yield. Journal of Integrative Agriculture, 12(5):892-902.
16- Knox J.W., Rodriguez Diaz J.A., Nixon D.J., Mkhwananzi M., 2010. A preliminary assessment ofclimate change impacts on sugarcane in Swaziland. Agricultural System, 103(1):63–72.
17- Kobata T. 2007. Estimation of crop production by the future climate changes insurrounding areas of the Seyhan River in Turkey, The ICCAP (impact of climatechanges on agricultural production system in aridareas) project final report, 4pp. Available at http://www.chikyu.ac.jp/iccap/finalreport.htm.
18- Koocheki A., andNassiri M. 2008. Impacts of climate change and CO2 concentration on wheat yield inIran and adaptation strategies.Journal Iranian Agricultural Research. 6(1):139-153.(in Persian with English abstract)
19- Koocheki A., Nassiri M., Soltani A., Sharif H, and Ghorbani R. 2006. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran.Climate Research, 30: 247-253.
20- Lovelli S., Perniola M., Di Tommaso T., Ventrella D., Moriondo M., Amato M. 2010.Effects of rising atmospheric CO2 on crop evapotranspiration in a Mediterraneanarea. Agricultural Water Management, 97(8):1287–1292.
21- Mall R., Lal M., Bhatia V., Rathore L., and Singh R. 2004. Mitigating climate change impact on soybeanproductivity in India: a simulation study. Agricultural and forest meteorology, 121(2):113-125.
22- Ohe I., Reiko U., Jyo S., Kuramashi T., Saitoh, K., Kuroda, T., 2007. Effect of risingtemperature on flowering, pod set, dry matter production and seed yield insoybean. Jupon Journal Crop Science, 76(1):433–444.
23- Prasad P.V.V., Boote L.H., Allen J.E., Sheehy and Thomas J.M.G. 2006. Species, ecotype and cultivardifferences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. Field Crops Research, 95(3):398–411.
24- Pritchard S.G., Rogers H.H., Prior S.A., Peterson C.M. 1999. Elevated CO2 and plant structure: a review. Global Change Biology, 5(5):807–837.
25- Rodriguez-Diaz J.A., Weatherhead E.K., Knox J.W., Camacho E. 2007. Climatechange impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basinin Spain. Reg. Environment Change, 7(2):149–159.
26- Soltani A., and Gholipoor M. 2006. Simulatiting the impact of climate change on growth, yield and water use of chickpea. Journal of Agricultural Science and Natural Resource, 13(2):69-79. (in Persian with English abstract)
27- Soltani A., and Sinclair T. R. 2012. Modeling physiology of crop development, growth and yield. Cabi.
28- Soltani, A. 2007. Use of the SAS statistical analysis software. Mashhad University of Jahad publications.
29- Soltani, A., Gholipoor, M. and Ghassemi-Golezani, K. 2007. Analysis of temperature and atmospheric CO2 effects on radiation use efficiency in chickpea (*Cicerarietinum* L.). Journal of Plant Science. 2(1):89-95.
30- Tacarindua C. R., Shiraiwa T., Homma K., Kumagai E., and Sameshima R. 2013. The effects of increased temperature on crop growth and yield of soybean grown in a temperature gradient chamber. Field Crops Research, 154(1):74-81.
31- Wall G.W., Garcia R.L., Wechsung F., and Kimball B.A. 2011. Elevated atmospheric CO2 and drought effects on leaf gas exchange properties of barley. Agriculture Ecosystems and Environment, 144(2):390-404.
32- Wheeler T.R., Hong T.D., Ellis R.H., Batts G.R., Morison J.I.L., Hadley P. 1996. Theduration and rate of grain growth, and harvest index, of wheat (*Triticumaestivum*L.) in response to temperature and CO2Journal of Experimental Botany, 47(5):623–630.
33- Wilcox J., and Makowski D. 2014. A meta-analysis of the predicted effects of climate change on wheat yields using simulation studies. Field Crops Research, 156(2):180-190.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 1, Mar.-Apr. 2016, p. 77-87

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 1، فروردین –اردیبهشت 1395، ص. 87-77

Simulate the Effect of Climate Change on Development, Irrigation Requirements and Soybean Yield in Gorgan

A.R. Nehbandani[1*]- A. Soltani[2]

Received:21-07-2014
Accepted:19-04-2015

Introduction: Atmospheric CO_2 concentration has continuously been increasing during the past century and it is expected to increase from current 384 ppm to 550 ppm in 2050. This increase is expected to increase global temperature by 1.4 to 5.8 ^oC which can have major effects on crop plants. Since both CO_2 and temperature are among the most important environmental variables that regulate physiological and phenological processes in plants, it is critical to evaluate the effects of CO_2 and air temperature on the growth and yield of key crop plants.

Warming of Earth's atmosphere can increase dark respiration and photorespiration in C3 plants. Rate of photosynthesis is affected by temperature, Therefore, rate of biochemical reactions, morphological reactions, CO_2 and energy exchange with the atmosphere could be affected by temperature.

Increase in CO_2 concentration causes further yield improvement in C3 plants (Such as wheat, rice and soybeans) in comparison with C4 plants (Such as corn, sorghum and sugarcane). In general, increasing CO_2 concentration affects plant processes in two ways:direct effect on physiological processes in plant and indirect effect by changes in temperature and rainfall.

Studying climate change effects including increase in temperature and CO_2 concentration can help understanding adaptation strategies to reach higher and sustainable crop yields. Therefore, the objective of this research was to examine the effects of temperature and CO_2 changes on days to maturity, irrigation water requirement, and yield in soybean under irrigation conditions of Gorganusing SSM-iLegume-Soybean model.

Materials and methods: The model SSM-iLegume-Soybean simulates phenological development, leaf development and senescence, crop mass production and partitioning, plant nitrogen balance, yield formation and soil water and nitrogen balances. The model includes responses of crop processes to environmental factors of solar radiation, temperature and nitrogen and water availability. The soybean model was used to run different scenarios including combination of -1, -2, -3, -4, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ^oC changes in temperature and CO_2 concentration of 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700 ppm. Actual weather data in Gorgan (latitude 37 degrees 45 minutes north, longitude 54 degrees 30 minutes east) of 1980 to 2009 was used as baseline climate and then changed to obtained future temperature climates. To account for direct effect of CO_2 concentration, two model parameters of radiation use efficiency and transpiration efficiency coefficient were changed for higher CO_2 concentration (350 ppm as current conditions). Increasing CO_2 concentration from 350 to 700 ppm will increase radiation use efficiency by 23% and transpiration efficiency coefficient by 37%. By running the model for each year under each scenario, output of the model recorded and analyzed using response surface method in SAS.

Results and discussion: Decreasing temperature increased days to maturity from 130 to 175 days. However, increase in temperature from 1 to 6 ^oC decreased days to maturity from 130 to 115 days due to higher development rate. No effect of CO_2 on phenological development was assumed.

At each temperature, increasing CO_2 concentration from 350 to 700 ppm, decreased irrigation water requirement by 30 to 40 mm which is a result of reducing stomata conductance and increase in transpiration efficiency. Temperature increase from 3 to 8^oC also decreased irrigation water requirement by 90 mm due to shortening growing season and irrigation number.

Decrease in temperature more than 2^oC decreases crop yield by 10 to 20 g m^{-2}, but increase in CO_2 concentration will compensate this decrease. Increasing temperature by 2 to 3 ^oC will increase crop yield by 20 g m^{-2}. Increase in temperature from 3 to 8 ^oC decreases crop yield from 400 g m^{-2} to 500 g m^{-2}. Yield reduction due to this temperature rise will occur later as a result of increase in CO_2 concentration.

Conclusion: The effect of temperature and CO_2 concentration were studied in soybean by SSM-iLegume-Soybeanmodel. The results indicated that yield reduction increase in CO_2 concentration postpones the negative effect of higher temperature on soybean yield. On the other hand, super-optimal temperatures will decrease positive impact of increase in CO_2 concentration. Therefore, with regard to the effect the following strategies

1, 2- PhD student and Professor, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
(*- Corresponding Author Email: a.nehbandani@yahoo.com)

proposed: improve in irrigation method, development of drought and high-temperature tolerant cultivars, increase in water use efficiency, early sowing and development of longer-duration cultivars.

Keywords: changes in temperature, changing the concentration of CO_2, Irrigation requirements, days to maturity, model SSM-iLegume