اثر احتمالی تغییر اقلیم بر عملکرد محصول گندم در استان تهران

علیرضا شکیبا [۱]، سمانه شب خیز [۲]* ، فرشید حشمدار [۳]

۱- دانشیار سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی
۲- کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی اقلیم شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرری
۳- کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی اقلیم شناسی، اداره کل هواشناسی استان تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۱۵
تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۵/۱۶

چکیده

اثر تغییر اقلیم بر روی کشاورزی و امنیت غذائی مردم یکی از مهم‌ترین موضوعات مطرح در سطح جهان است. استان تهران با داشتن ۶۰۱۲۵ هکتار سطح زیرکشت گندم (سال زراعی ۱۳۸۹-۱۳۸۸) و عملکرد تولید ۳۷۹۵/۶ تن در همین سال دارای بیشترین عملکرد تولید در بین استان‌های کشور بوده است. هدف از این مطالعه ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد تولید محصول گندم در استان تهران است. داده‌های هواشناسی ۵۸ سال (۲۰۰۹-۱۹۵۱ میلادی) ایستگاه هواشناسی تهران (مهرآباد، ورامین، فرودگاه امام خمینی (ره)، دوشان تپه، اقدسیه) جهت انجام مطالعه انتخاب شد. پس از صحت سنجی مدل آماری ClimGen داده‌های ایستگاه، داده‌های اقلیمی سال‌های ۲۰۵۰–۲۰۲۰ میلادی وارد این مدل شد. نتایج داده‌های اقلیمی به همراه متغیرهای خاکشناسی و کشاورزی مربوطه، براساس دو سناریوی تغییر اقلیمی A۲ و B2 در دو حالت (۱- افزایشCO2، ۲- افزایش توأم CO2 و درجه حرارت) وارد مدل کشاورزی APSIM گردید. درسناریوهای مجموعه A۲ و B۲ ، با افزایش CO۲ به تنهایی به ترتیب به میزان ۷۰۰ ppm و ۵۲۵ ppm و بدون تغییر فرض نمودن نوسانات دما شاهد افزایش تولید به ترتیب به میزان ۲۸٪ و ۱۳٪ نسبت به سناریوکنترل هستیم. اما درسناریو بعدی با دخالت دادن افزایش دما به ترتیب به میزان۴ و ۲ درجه سانتی گراد میزان تولید نسبت به سناریوی کنترل به ترتیب۱۰٪ و۱۲٪ کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: استان تهران، تغییر اقلیم، گندم، مدل‌های اقلیمی و آماری، APSIM.

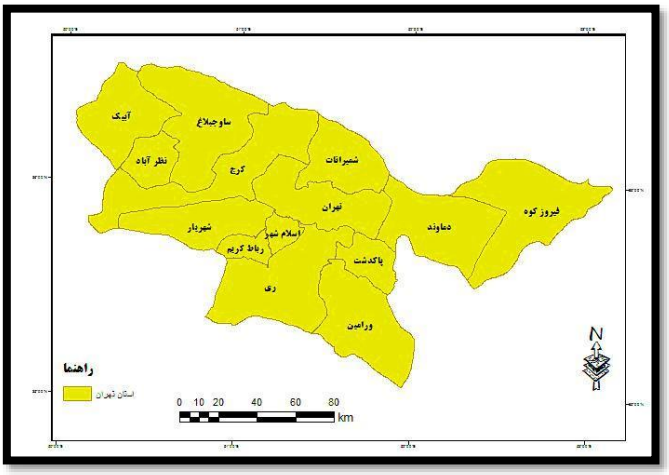
*- نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۷۲۷۰۷۲۶ Email: halovin2020@yahoo.com

مقدمه

گندم یکی از محصولات استراتژیک و اساسی کشورهای دنیا و همچنین تأمین‌کننده اصلی جیره غذایی مردم ایران و قسمت اعظم از پرتئین و کالری مورد نیاز افراد جامعه به حساب می‌آید. اما با توجه به روند رو به تزاید جمعیت کشور و افزایش نیاز به مصرف مواد غذایی، مشکل اساسی جامعه کنونی اطلاع دقیق از میزان تولیدات گیاهی گندم و ایجاد تعادل در واردات و صادرات این محصول استراتژیک می‌باشد (مومن زاده و همکاران، ۱۳۸۹). بر اساس ارزیابی‌های IPCC تا سال ۲۱۰۰ با فرض دو برابر شدن غلظت CO_2 دمای متوسط ایران ۴,۵ - ۱,۵ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد (اپیک، ۲۰۰۷). بدیهی است چنین روندی بخش‌های مختلف فعالیت‌های انسانی از جمله کشاورزی را تحت‌تأثیر قرار خواهد داد. کشاورزی از جمله فعالیت‌های انسانی است که شدیداً به شرایط اقلیمی وابسته است. آشکار سازی این تغییرات و از آن مهم‌تر بررسی اثرات این تغییرات بر انواع محصولات کشاورزی بسیار حائز اهمیت می‌باشد (جانگان و همکاران، ۲۰۰۹). امروزه نزدیک به ۷۰-درصد از سطح زیر کشت یک میلیارد هکتاری جهان را غلات اشغال نموده اند، و تقریباً نیمی از کل نیازهای غذایی انسان به ویژه در قاره آسیا به طور مستقیم از غلات تأمین می‌شود (راجر و دانیل، ۲۰۰۹). مقابله با تغییر اقلیم مستلزم ارائه راهکارهایی برای سازگاری با شرایط آینده است. پیش بینی‌های انجام شده نشان داده است که راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم اغلب موفقیت آمیز بوده و در بسیاری موارد افزایش عملکرد را نیز به همراه داشته‌اند. البته برای عملی کردن این راهکارها بسته به ماهیت آنها به ۵ تا ۲۰ سال زمان نیاز خواهد بود. بنابراین ارزیابی راهکارهای مختلف سازگاری در شرایط آینده اقلیمی کشور نیز به نوبه خود از اهمیت ویژه-ای برخوردار است (کوچکی، ۱۳۸۷). تاثیر تغییرات آینده اقلیمی بر تولید انواع محصولات کشاورزی در مقیاس جهانی (پری، ۲۰۰۴) منطقه‌ای (لادوینگ، ۲۰۰۶؛ فن ایته سوم، ۲۰۰۳؛ اونس، ۲۰۰۹؛ سلطانا، ۲۰۰۹؛ لام، ۲۰۰۹؛ وانگ، ۲۰۰۹). درکشورهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است، و در ایران نیز ضرورت چنین مطالعاتی کاملاً مشهود می‌باشد. در این مطالعه با در نظر گرفتن محدودیت تحقیقات انجام گرفته در ایران و اهمیت محصول گندم، به آشکار سازی و بررسی اثرات احتمالی این تغییرات بر میزان عملکرد محصول گندم در استان تهران، که در سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۸۶ بالاترین عملکرد را در بین استان‌های کشور داشته پرداخته می‌شود.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه: استان تهران با ۱۸۹۰۹ کیلومتر مربع مساحت، فضایی معادل ۱/۲ درصد مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است. این استان از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از غرب به استان قزوین و از شرق به استان سمنان محدود می‌شود. استان تهران از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی استان تهران

متغیرهای هواشناسی و کشاورزی:

-آمار روزانه دمای بیشینه، دمای کمینه، بارندگی، تابش و تبخیر ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان تهران تهیه شده از مراکز هواشناسی اعم از واحدهای سازمانی، استانی و اداری.

-داده‌های فنولوژیکی، مدیریت مزرعه و خاک-شناسی تهیه شده از سازمان جهاد کشاورزی استان تهران.

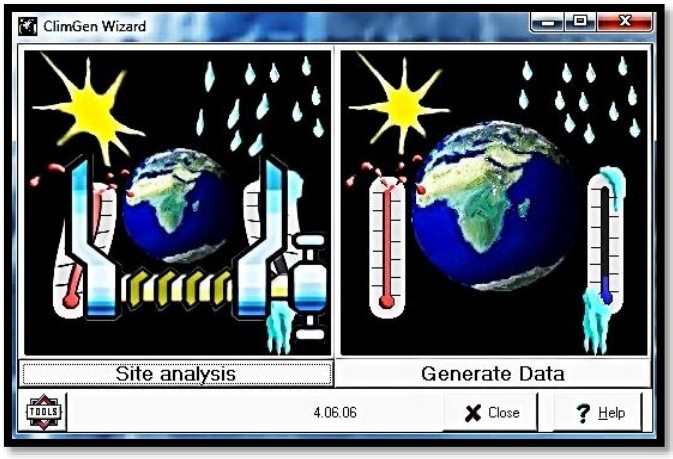
-آمار مربوط به تولید، سطح زیر کشت و راندمان تولید گندم تهیه شده از بانک‌های آماری اینترنتی وزارت جهاد کشاورزی و سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد.

-اطلاعات مربوط به خاک منطقه از جمله میزان مواد آلی سطح خاک، نوع مواد آلی سطح خاک، درصد کربن به ازت، مشخصات خاک منطقه که از آزمایشگاه آب و خاک تهران اخذ شد و به منظور تولید داده‌های هواشناسی برای آینده، تبدیل داده-ها به فرمت‌های قابل پردازش، صحت سنجی داده‌ها و آزمون‌های آماری مربوطه، تولید فایل‌های قابل شناسائی توسط مدل‌های استفاده شده و ایجاد داده‌های اصلی ورودی مدل شبیه‌ساز رشد از نرم-افزارهای SPSS(16) ، APSIM ، ClimGen ، Excel استفاده شده است.

مدلهای اجرای کار:

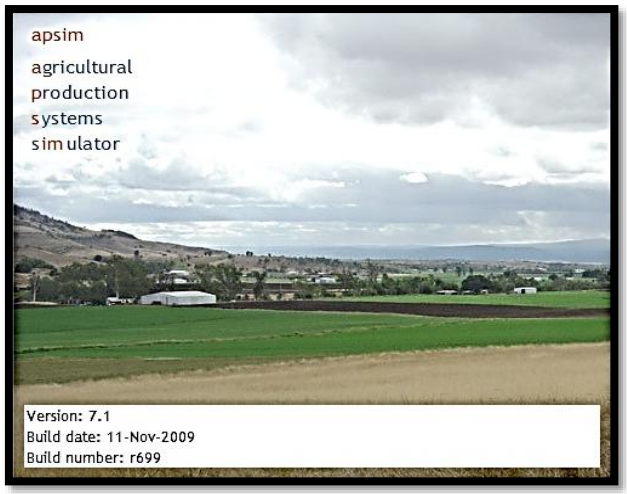
۱- مدل آماری ClimGen، که برنامه‌ای مناسب جهت تولید آمار روزانه و تمامی متغیرهای مورد نیاز با استفاده از داده‌های هواشناسی است (شکل۲).

ClimGen یک مدل اقلیمی آماری است که با استفاده از داده‌های هواشناسی موجود و گذشته توانایی تولید داده‌های هواشناسی برای آینده و یا باز سازی داده‌های مفقوده را دارد.



شکل۲: پنجره اصلی مدل ClimGen

۲- مدل کشاورزی APSIM، یک مدل شبیه‌ساز رشد محصولات کشاورزی است که با استفاده از خروجی مدل‌های اقلیمی، داده‌های هواشناسی، اطلاعات مربوط به خاک، محصول و مدیریت مزرعه، اثرات تغییر اقلیم را بر روی میزان تولید محصول در زمان حال و آینده بررسی می‌کند (شکل۳).



شکل۳: مدل شبیه ساز رشد APSIM

روش اجرا: در این مطالعه از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک مهرآباد تهران، با آمار بیش از ۳۰ سال داده پیوسته برای صحت سنجی خروجی‌های مدل ClimGen استفاده شد. جهت صحت سنجی خروجی‌های مدل ClimGen میانگین دمای حداقل، حداکثر و میانگین مشاهده شده ایستگاه در بیست سال اول (۱۹۵۱ تا ۱۹۷۰) با میانگین پیش بینی شده توسط مدل با آزمون t-test در سطح معناداری ۰/۰۵ مقایسه شد. برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌های مشاهده شده در ایستگاه‌های هواشناسی تهران (مهرآباد، ورامین، فرودگاه امام خمینی (ره)، دوشان تپه، اقدسیه) و داده‌های مدل‌سازی شده، آزمون کلموگروف اسمیرنف استفاده شد. که پس از صحت سنجی، از داده‌های هواشناسی برای مدل‌سازی داده‌های اقلیمی سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۰ میلادی در مدل آماری ClimGen استفاده شد. پس از تصحیح این داده‌ها به عنوان بخشی از ورودی‌های مدل کشاورزی

APSIM مورد استفاده قرار گرفت که داده‌های تصحیح شده به عنوان قسمتی از ورودی‌ها به همراه متغیرهای خاک‌شناسی و کشاورزی ذکر شده، در مدل کشاورزی APSIM وارد گردید. سپس بر اساس دو سناریوی تغییر اقلیمی A2 و B2 به شرح زیر:

- $CO_2 = 700$ ppm، بدون تغییر در دما و بارندگی
- $CO_2 = 700$ ppm، تغییرات دما ۴+ درجه سلسیوس

سناریو B2 در دو حالت:

- $CO_2 = 525$ ppm، بدون تغییر در دما و بارندگی
- $CO_2 = 525$ ppm، تغییرات دما 2+ درجه سلسیوس

و سناریوی کنترل:

- $CO_2 = 350$ ppm، بدون تغییر در دما و بارندگی

میزان تغییرات تولید گندم در ایستگاه منتخب طی سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ برآورد شد و نتایج حاصل در جداول و گراف‌های مخصوص بدست آمده مورد تحلیل قرار گرفت (لادوینگ و إسنگ،۲۰۰۶؛ محمدی و همکاران، ۱۳۸۹؛ حشمدار، ۱۳۹۰). در گام بعدی با اجرای مدل APSIM به اجرای شبیه-سازی مورد نظر پرداخته شد. برای شبیه سازی میزان تولید در شرایط تغییر اقلیم از سناریوهای ذکر شده استفاده شد. سپس خروجی‌های تولید شده برای سال‌های مورد نظر به نرم افزار Excel و SPSS جهت انجام عملیات آماری منتقل گردید.

نتایج

یافته‌های تحقیق

در این قسمت پیش رو نتایج بدست آمده و در دو بخش ارائه شده است. در بخش اول نتایج صحت سنجی خروجی‌های مدل اقلیمی ClimGen و در بخش دوم نتایج حاصل از اجرای مدل APSIM با توجه به دو سناریوی A1 و B2 ارائه می‌گردد.

صحت سنجی خروجی‌های مدل اقلیمی

نتایج صحت سنجی خروجی‌های مدل آماری ClimGen: جهت سنجش صحت این مدل مقادیر مشاهده شده متغیرهای دمای کمینه، دمای بیشینه، دمای میانگین استان تهران با مقادیر پیش بینی شده متغیرهای مذکور توسط مدل ClimGen طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۹ با استفاده از روش آماری t-test مقایسه شد.

در زیر نتایج بدست آمده را مشاهده می‌نمایید:

با توجه به جدول ۱ مشخص شد که شرط نرمال بودن توزیع متغیرها در سطح معناداری α=۰/۰۵ رعایت شده است.

جدول۱: نتایج آزمون کلموگروف اسمیرنف در صحت سنجی مدل ClimGen

آزمون کلموگروف اسمیرنف یک نمونه‌ای One-Sample Kolmogorov-Smirnov Testc			
متغیرها		تعداد کل نمونه‌ها (N)	P-value
دمای کمینه (سلسیوس)	مشاهده شده	19022	0.21
	پیش‌بینی شده	19022	0.23
دمای بیشینه (سلسیوس)	مشاهده شده	19022	0.40
	پیش‌بینی شده	19022	0.44
دمای میانگین (سلسیوس)	مشاهده شده	19022	0.52
	پیش‌بینی شده	19022	0.54

آزمون t نیز با سطح معناداری ۹۹٪ و ۰/۰۱= α در چهار متغیر دمای کمینه، دمای بیشینه، دمای میانگین مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲).

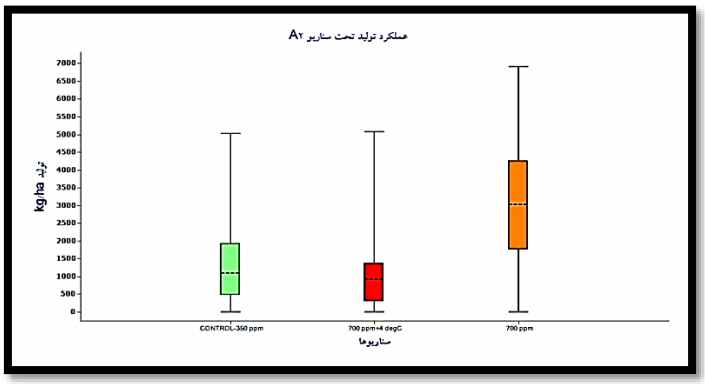
جدول ۲: نتایج آزمون لون و t-test در صحت سنجی مدل ClimGen

متغیرها		میانگین	انحراف استاندارد	نتایج آزمون تجانس واریانس لون Levene's Test for Equality of Variances			نتایج آزمون t-test		
				F	P-value		t	df	P-value
دمای کمینه (سلسیوس)	مشاهده شده	12.0	3.62	16.30	0.000	Equal variances assumed	2.03	34328	0.04
	پیش بینی شده	11.83	3.46			Equal variances not assumed	2.03	34310	0.04
دمای میانگین (سلسیوس)	مشاهده شده	17.35	3.67	18.80	0.000	Equal variances assumed	2.65	34328	0.005
	پیش بینی شده	17.01	3.79			Eqal variances not assumed	2.65	34300	0.005
دمای بیشینه (سلسیوس)	مشاهده شده	22.7	3.72	31.50	0.000	Equal variances assumed	3.15	34328	0.001
	پیش بینی شده	22.37	4.12			Eual variances not assumed	3.15	34330	0.001

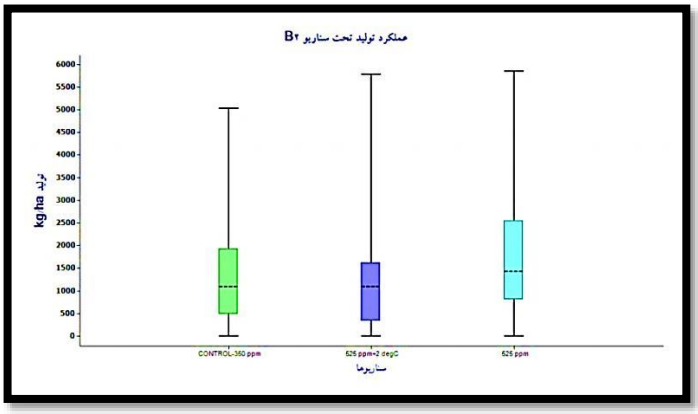
با توجه به نتایج آزمون لون در مورد توزیع متغیرهای دمای کمینه، بیشینه و میانگین بدلیل عدم تجانس واریانس از نتایج مربوط به عدم تجانس استفاده شد. با توجه به نتایج آزمون t، تفاوت معناداری بین داده‌های مشاهده شده و نتایج پیش بینی شده توسط مدل ClimGen در سطح ۹۹٪ و با ۰/۰۱= α مشاهده نشد. بدین ترتیب فرضیه تحقیق تایید شد و می‌توان نتیجه گرفت که مدل ClimGen از صحت لازم برای تولید داده‌های هواشناسی آینده به عنوان قسمتی از ورودی مدل کشاورزی برخوردار است.

نتایج خروجی های مدل کشاورزی APSIM: بعد از اجرای مدل تحت سناریوهای ذکر شده در دوره زمانی ۲۰۵۰ – ۲۰۲۰، نتایج آن به شرح زیر ارائه می‌گردد:

در شکل ۴، ۵ و ۶ نتایج خروجی‌های مدل کشاورزی APSIM در مورد میزان عملکرد تولید گندم تحت سناریوهای ذکر شده ارائه شده است.

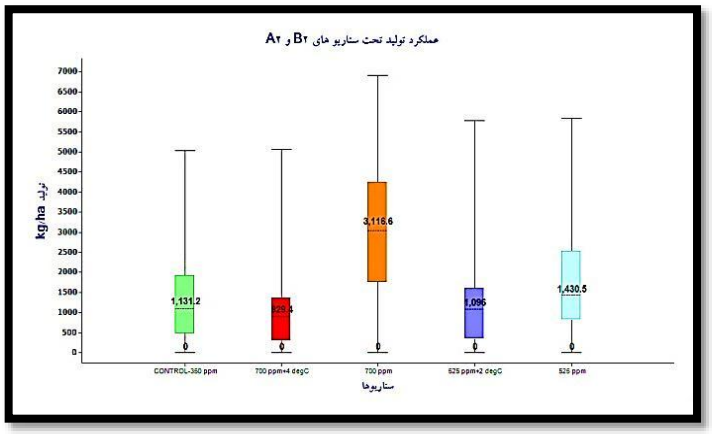


شکل۴: عملکرد تولید تحت سناریو A2



..

شکل۵: عملکرد تولید تحت سناریو B2



شکل ۶: عملکرد تولید تحت سناریو های B2 و A2

در شکل‌های ۴، ۵ و ۶: عملکرد تولید تحت سناریوهای A2، عملکرد تولید تحت سناریوهای B2، عملکرد تولید تحت سناریوهای A2 و B2، روند تغییرات میزان محصول در بازه زمانی ۲۰۵۰ - ۲۰۲۰ تحت سناریوهای ذکر شده به نمایش درآمده است. مرزهای مستطیل‌ها نشانگر ۲۵ و ۷۵ درصد، خط وسط مستطیل‌ها نشانگر میانه، خطوط پائین و بالای مستطیل‌ها (ویسکرها) به ترتیب نشانگر ۱۰

و ۹۰ درصد و خطوط انتهایی ویسکرها کمینه و بیشینه مقادیر را نشان می‌دهند (جدول ۳).

جدول ۳: مقایسه میانه تولید در هر سناریو و روند تغییرات نسبت به سناریوی کنترل

ردیف	سناریو		میانه تولید (kg/ha)	روند تقریبی تغییرات نسبت به سناریو کنترل (٪)
۱	کنترل		۱۱۳۱/۲	
۲	CO_2= 525 PPM	B2	۱۴۳۰/۵	+۱۳
۳	CO_2= 525 PPM, $\Delta T^{\star}$=+2 ^{0}C	B2	۱۰۹۶	−۱۰
۴	CO_2= 700 PPM	A2	۳۱۱۶/۶	+۲۸
۵	CO_2= 700 PPM, ΔT= +4 ^{0}C	A2	۹۲۹/۴	−۱۲

$\Delta T^{\star}$ = تغییرات دما

با توجه به شکل‌های ۴، ۵ و ۶: عملکرد تولید تحت سناریوهای A2، عملکرد تولید تحت سناریوهای B2، عملکرد تولید تحت سناریوهای A2 و B2 و جدول ۳، بیشترین افزایش تولید نسبت به سناریو کنترل، در سناریوی ردیف ۴ به میزان ۲۸٪ دیده می‌شود، همچنین بیشترین کاهش تولید نیز در سناریوهای ردیف ۵ به میزان ۱۲٪ مشاهده می شود. در سناریوهای مجموعه B2، با افزایش CO_2 به تنهائی به میزان ^{ppm} 525 و بدون تغییر فرض نمودن نوسانات دما (ردیف۲) شاهد افزایش تولید به میزان ۱۳٪ نسبت به سناریو کنترل هستیم. در سناریو بعدی (ردیف۳) با دخالت دادن افزایش دما به میزان ۲ درجه سلسیوس میزان تولید نسبت به سناریوی کنترل ۱۰٪ کاهش یافته است. در سناریوهای مجموعه A2، با افزایش CO_2 به میزان ^{ppm} 700 و بدون تغییر فرض نمودن نوسانات دما (ردیف۴) میزان تولید ۲۸٪ نسبت به سناریوی کنترل افزایش یافته است. در سناریوی بعدی (ردیف۵) با دخالت دادن افزایش دما به میزان ۴ درجه سلسیوس تولید نسبت به سناریوی کنترل به میزان ۱۲٪ کاهش یافته است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در دو زیر مجموعه به بحث می‌پردازیم، بخش اول در باب صحت سنجی مدل ClimGen و در بخش دوم با توجه به نتایج بدست آمده از شبیه سازی‌های مدل کشاورزی APSIM تحت سناریوهای تعریف شده، به بحث پیرامون تفاوت نتایج شبیه سازی شده میزان تولید با زمان حال و استرس‌های اعمال شده می‌پردازیم.

صحت سنجی مدل ClimGen: در بررسی صحت مدل آماری ClimGen، تحقیق حاضر گویای تشابه قابل قبولی بین داده‌های مشاهده شده بود. مک کاگو و همکاران نیز با ارائه این مدل به عنوان یک مدل ساده برای ایستگاه‌های کانادا اذعان داشتند

که اگرچه ممکن است خطا در حین دوره تولید اطلاعات بر دقت الگو اثرگذار باشد، اما این مدل با استفاده از توزیع Weibull و عملکرد spline نوسان موجود در بین فصول را به حداقل می‌رساند (موکاگ و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین نتایج تحقیق تینگام و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که مدل ClimGen قادر به تولید و تخمین با کیفیت خوب است، اما ممکن است حاوی خطاهایی نیز باشد، برای مثال در این تحقیق که با هدف بررسی این مدل در کامرون انجام شد، در یکی از مناطق مورد بررسی، مدل برای تخمین رطوبت بسیار غیر قابل قبول و در تخمین دمای حداکثر تخمین خوبی ارائه کرد، بنابراین باید ارزیابی این مدل با نمونه واقعی در هر تحقیق صورت پذیرد. بعلاوه، بیان داشتند که مدل ClimGen عملکرد خوبی را نشان می‌دهد و می‌توان از این مدل در تولید داده‌های اقلیمی طولانی مدت بارندگی و دما، براساس داده‌های هواشناسی گذشته، که در مدل‌های کشاورزی مورد استفاده هستند بهره برد. به ویژه در کشورهایی که در داده‌های هواشناسی محدودیت دارند، تا بتوان اثرات طولانی تغییرات آب و هوا را بر محصولات، تعادل هیدرولوژی و واکنش اکوسیستم سنجید (تینگام و همکاران، ۲۰۰۷). از آنجایی که در غالب ایستگاه‌های سینوپتیک کشور نیز با مشکل عدم وجود داده‌های طولانی مدت روبرو هستیم، استفاده از این مدل البته ضمن تعیین صحت آن در منطقه مورد مطالعه می‌تواند این مشکل را حل نماید.

نتایج شبیه سازی‌های عملکرد گندم در مدل کشاورزی APSIM: با توجه به نتایج بدست آمده از شبیه سازی‌های مدل کشاورزی APSIM تحت سناریوهای تعریف شده در سه عنوان بحث صورت می‌گیرد:

مقایسه نتایج تولید گندم در سناریوی کنترل با شرایط حال حاضر: سناریو کنترل در واقع حفظ شرایط اقلیمی فعلی بدون هیچگونه تغییر است، لذا انتظار می‌رود که نتایج برآورد میزان تولید مدل کشاورزی (میانه = ۱۱۳۱/۲ کیلوگرم در هکتار) مشابه با آمار فعلی تولید (میانه = ۲۲۰۴/۳ کیلوگرم در هکتار) در این منطقه باشد. ولی نتایج نشانگر تفاوت بین برآورد مدل و میزان تولید فعلی است. این تفاوت در تحقیقات پیشین نیز گزارش شده است (لادوینگ و إسنگ، ۲۰۰۶؛ زاهانگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ حشمدار،۱۳۹۰). این تفاوت ناشی از عوامل متعددی می‌باشد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به این موارد اشاره کرد، نوسان محصول به دلیل بیماری و ازدیاد علف هرز که این عوامل در شبیه‌سازی ما لحاظ نشده است (لادوینگ و إسنگ، ۲۰۰۶). احتمال عدم استفاده کشاورزان از یک رقم اصلاح شده یکسان گندم، احتمال دقیق نبودن آمار ارائه شده از طرف سازمان جهاد کشاورزی استان تهران بنا به اظهارات کارشناسان بخش زراعت این سازمان و در نهایت عدم وجود اطلاعات کامل خاک شناسی منطقه در مقیاس مناسب، در نتیجه تعمیم دادن این اطلاعات به کل منطقه که درصدی از خطا را موجب می‌شود. لذا مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل APSIM نشانگر توان بالقوه منطقه در تولید گندم می‌باشد، که با سناریوهای مختلف اثر تغییرات اقلیمی را در سال‌های آتی نمایان می‌نماید.

اثر افزایش Co2: در این تحقیق با در نظر گرفتن غلظت Co2 در زمان حاضر برابر با ۳۵۰ppm و تعریف دو سناریو (A2= 700ppm, B2= 525ppm) و ثابت در نظر گرفتن سایر متغیرها مشاهده شد که میانه تولید در سناریو B2، ۱۳٪ و در سناریو A2، ۲۸٪ افزایش داشت. نتایج تحقیق حاضر با سایر تحقیقات پیشین همسو بوده و نتایج قبلی را تایید کرد. دی اکسید کربن برای فتوسنتز حیاتی است و شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد افزایش

غلظت Co2 باعث افزایش سرعت رشد گیاهان می-شود (أندرو، ۲۰۰۹؛ کوچکی و همکاران، ۱۳۷۷؛ کوچکی، ۱۳۷۳) در واقع محققانی که تاثیر افزایش Co2 بر گیاهان را مطالعه کرده‌اند، در مورد اثرات مثبتCo2 توافق نظر دارند (سمنوف، ۱۹۹۶؛ کیمبال، ۱۹۸۳؛ إکاک و آلن، ۱۹۸۵؛ حشمدار۱۳۹۰). بالا بودن Co2 باعث افزایش محصول بویژه در مناطق خشک‌تر می‌شود (لادوینگ و إسنگ،۲۰۰۶ ؛ إردا و همکاران، ۲۰۰۵). در مقالات محدودی دیده شده که افزایش Co2 موجب کاهش در محصول شده است (لادوینگ و إسنگ، ۲۰۰۶؛ پورتر، ۲۰۰۱؛ آمتور، ۲۰۰۱). البته تحقیقاتی این کاهنده بودن اثر Co2 را بدلیل کم بودن ازت خاک می‌دانند (لادوینگ و إسنگ، ۲۰۰۶؛ بنایان اول، ۱۳۸۸).

اثر متقابل افزایش Co2 و دما: نتایج شبیه سازی میزان عملکرد گندم در سطوح مختلف افزایش دما (۲ و ۴ درجه سلسیوس) و غلظت‌های مختلف (700ppm, 525ppm, Co2) نشان داد که افزایش دما به میزان ۲ درجه سلسیوس به همراه غلظت Co2 برابر با 525ppm، باعث کاهش تولید محصول به میزان ۱۰ ٪ می‌گردد و با افزایش دما به میزان ۴ درجه سلسیوس به همراه غلظت CO2 برابر با 700ppm نیز کاهش محصول ۱۲٪ را شاهد هستیم. نتایج شبیه سازی‌ها بیانگر کاهش اثرات سودمند افزایش Co2 در گندم با اعمال افزایش دما است. بطور کلی نتایج نشان داد اثر تعدیل کننده افزایش Co2 که عمدتاً به دلیل افزایش مقاومت روزنه‌ای و افزایش کارآئی مصرف آب بروز می‌کند (رمی،۲۰۰۳) عملکرد گندم را در صورت ۲ درجه سلسیوس افزایش دما، ۱۰٪ و۴ درجه سلسیوس ۱۲٪ کاهش خواهد داد. نتیجه حاصل، مشابه با نتایج تحقیق کوچکی (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۷) می‌باشد. گرمایش جو عموماً باعث کاهش محصول گندم می‌شود، زیرا موجب کاهش طول فصل رشد گردیده بنابراین تابش کم شده و منجر به کاهش تولید بیوماس می‌شود پاره‌ای مطالعات نشان می-دهد که افزایش عملکرد با توجه به افزایش دما تحقق نمی‌یابد (ویلر و همکاران، ۱۹۹۶؛ فیشر، ۱۹۸۳؛ تورن و وود، ۱۹۸۷؛ بتست، ۱۹۹۶، فن اوجین، ۱۹۹۹؛ سیواکومار، ۱۹۹۹؛ واردیا و ریگلی ،۱۹۹۴). تحقیقات چندی به این مسأله اشاره کرده‌اند که ممکن است اثرات مخرب افزایش دما آنچنان باشد که افزایش Co2 هم نتواند این اثرات را جبران نماید (لو و مونی، ۱۹۹۸؛ أنور، ۱۹۹۹؛ کوچکی و نصیری محلاتی، ۱۳۸۷). غالب تحقیقات بیانگر اثر منفی افزایش دما بر میزان محصول می-باشد (کنل و همکاران، ۱۹۹۹؛ لبل و فایلد، ۲۰۰۷).

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی اثر احتمالی تغییر اقلیم بر عملکرد محصول گندم در استان تهران تهیه شده است و همچنین لازم می‌دانم از باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرری که هزینه این طرح پژوهشی را تقبل کرده-اند، تشکر نمایم.

منابع

-بنایان اول، م.، ۱۳۸۸. ارزیابی کارایی مدل‌های رشد و نمو گیاهان زراعی در شرایط افزایش CO_2، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ص ۱۲۶-۱۱۵.

-حشمدار، ف.،۱۳۹۰. اثر احتمالی تغییر اقلیم بر تولید گندم با تأکید بر کشت دیم در استان فارس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.

- کوچکی، ع. و زنده، ا.، ۱۳۷۷. آیا تغییر جهانی اقلیم گیاهان C4 را تهدید می کند؟، مجله نیوار، شماره ۴۰، ص ۶۵-۷۴.

-کوچکی، ع.،۱۳۷۳. افزایش غلظت CO۲ در اتمسفر و اثرات آن بر فعالیت‌های کشاورزی، مجله نیوار، شماره ۲۴، ص ۱۷-۲۲.

-کوچکی، ع. و نصیری محلاتی، م.، ۱۳۸۷. تاثیر تغییر اقلیم همراه با افزایش غلظت CO۲ بر عملکرد گندم در ایران و ارزیابی راهکارهای سازگاری، مجله پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۶، شماره ۱، ص ۱۳۹-۱۵۳.

-محمدی، ح.، مقبل، م. و رنجبر، ف.،۱۳۸۹. مطالعه تغییرات بارش و دمای ایران با استفاده از مدل MAGICC SCENGEN، جغرافیا، شماره ۲۵، ص ۱۳۹-۱۵۰.

-Acock, B. and Allen, L. H. Jr., 1985. Crop responses to elevated carbon dioxide concentration, In: Direct effects of increasing carbon dioxide on vegetation, B. R. Strain and Cure (eds.), p. 53- 97.

-Andrew. J., Ewert, F., Arnold, S., Simelton, E. and Fraser, E. 2009. Crops and climate change: progress, trends, and challenges in simulating impacts and informing adaptation, Journal of Experimental Botany, v. 60(10), p. 2775-2789.

-Amthor, J.S., 2001. Effects of atmospheric CO2 concentration on wheat yield: review of results from experiments using various approaches to control CO2 concentration, Field Crops Res, p. 1–34.

-Anwar, M. R., O'Leary, G., McNiel, D., Hossan, H. and Nelson, R., 2007. Climate change impact on rainfed wheat in south-eastern Australia. Field crops research, v. 104, p. 139-147 .

-Apsim documentation, 2009. www.Apsim.info.

-Batts, G. R., Ellis, R. H., Morison, J.I.L., Nkemka, P. N., Gregory, P. J. and Hadley, P., 1998. Yield and partitioning in crops of constrating cultivars of winter wheat in response to CO2 and temperature in yield studies using temperature gradient tunnels. Journal of Agricultural Science, Cambridge, v. 130 (1), p. 17-27.

-Cannell, M. G. R., Grace, J. and Booth, A., 1999. Possible impacts of climatic warming on trees and forests in the United Kingdom, Forestry, p. 337-364.

-Erda, L., Wei, X., Hui, J., Yinlong, X., You, L., Liping, B. and Liyong, X., 2005. Climate change impacts on crop yield and quality with Co2 fertilization in China, Phil, Trans, The Royal Society, B. v. 360, p. 2149-2154.

-Evans, J. p., 2009. 21st century climate change in the Middle East, *Climatic change*, v. 92, p. 417-432.

-Fisher, R. A., 1983. Wheat, In: Smith, W.H., Banta, S.J., (Eds.), Potential Productivity of Field Crops under Different Environments, International Rice Research Institute, Los Banos, Languna, Philippines, p. 129-154.

-Ko, J., Piccinni, G. and Steglich, E., 2009. Using EPIC model to manage irrigated cotton and maize, *Agriculture water management*, v. 96, p. 1323-1331

-Lobell, D. and Field, C, B., 2007. Globla scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent

warming, Environ, Research letter, v. 2, p. 1-12.
-Ludwig, F. and Asseng, S., 2006. Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia. *Agriculture systems,* v. 90, p. 159-179.
-McKague, K., Rudra, R. and Ogilvie, J. 2003. ClimGen - A convenient weather generation tool for Canadian climate stations, Proc, CSAE/SCGR 2003 meeting, 6-9 July, Montréal, Québec, p. 03-118
-Luo, Y. and Mooney, H.A., 1999. Carbon dixide and environmental stress, Academic press, p. 62-64.
-Ludwig, F. and Asseng, S., 2006. Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia, *Agriculture systems,* v. 90, p. 159-179.
-Parry, M., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M. and Fische, G., 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Glob. Environ. Change*, v. 14, p. 53-67.
-Poorter, H. and Perez-Soba, M., 2001. The growth responses of plants to elevated CO2 under non-optimal environmental conditions, Oecologia, v. 129, p. 1-20.
-Remy, M., Stefan, B., Andreas, B. and Hans, J.W., 2003. Effect of CO2 enrichment on growth and daily radiation use efficiency of wheat in relation to temprature and growth stage, European Journal of Agronomy, v. 19, p. 411-425.
-Roger, S.B. and Daniel, R.K., 2009. Analysing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency, journal of Experimental botany, v. 60, v. 1939-1951.
-Tingem, M., Rivington, M., Azam- Ali, S. and Colls, J., 2007. Assessment of the ClimGen stochastic weather generator at Cameroon sites, African Journal of Environmental Science and Technology, v. 1 (4), p. 086-092.
-Kimball, B. A., 1983. Carbon dioxide and agricultural yield: An assemblage and analysis of 430 prior observations, Agronomy Journal, v. 75, p. 779-788.
-Ludwig, F. and Asseng, S., 2006. Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia, Agriculture systems, v. 90, p. 159-179.
-Semenov, M. A., Wolf, J., Evans, L. G., Eckersten, H. and Iglesias, A., 1996. Comparison of wheat simulation models under climate change. 2, Application of climate change scenarios, Climate research, v. 7, p. 271–281.
-Sivakumar, M. V. K., Das, H. P. and Brunini, O., 2005. Impacts of present and future climate to variability and changeon agriculture and forestry in the arid and semi-aride tropics, Climatic Change, v. 70, p. 31-72.
-Thorne, G.N. and Wood, D.W., 1987. Effects of radiation and temperature on tiller survival, grain number and grain yield in winter wheat, Annals of Botany, v. 59, p. 413-426.
-Van Oijen, M., Schapendonk, A. H., Jansen, M. J. H., Pot, C. S. and Maciorowski, R., 1999. Do open-top chambers overestimate the effect of rising CO2 on plants? An analysis using spring wheat, Global Change Biology. v. 5 (4), p. 411-421.
-Van Ittersum, M. K., Howden, S. M. and Asseng, S., 2003. Sensitivity of productivity and drainage of wheat cropping systems in a Mediterranean environment to changes in CO_2, temperature and precipitation, Agriculture Ecosystem Environment, v. 97, p. 255-273.
-Wang, E., Chen, C. and Yu, Q., 2009. Modeling the response of wheat and maize productivity to climate variability

and irrigation in the North China Plain. *18th World IMACS*/MODSIM *congress*, Cairns, Australia.

-Wardlaw, I. F. and Wrigley, C. W., 1994. Heat tolerance in temperate cereals; an overview, Aust. J. Plant Physiol, v. 21, p. 695-703.

-Wheeler, T. R., Batts, G. R., Ellis, R. H., Hadley, P. and Morison, J. I. L., 1996. Growth and yield of winter wheat (Triticum aesti.um) crops in response to CO2 and temperature, Journal of Agricultural Science, Cambridge, v. 127, p. 37-48.