

ارزیابی ریسک عملکرد زیست‌توده گیاه ذرت تحت تأثیر تغییر اقلیم

مریم روستایی^{1*}، تیمور سهرابی، علیرضا مساح بوانی، محمد صادق احدی

کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران؛ پردیس کرج؛

roostae.maryam@gmail.com

استاد گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، پردیس کرج؛

tmsohrabi@yahoo.com

استادیار گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان؛

armassah@yahoo.com

معاون دفتر ملی تغییر آب و هوا، سازمان محیط زیست؛

ahadi_msa@yahoo.com

چکیده

این مطالعه به تحلیل ریسک عملکرد زیست‌توده گیاه ذرت در دوره 2010-2039 میلادی در مزرعه‌ای واقع در پاکدشت تحت تأثیر عدم قطعیت ناشی از مدل‌های جفت شده جو- اقیانوسی (AOGCM) پرداخته است. به این منظور سناریوهای تغییر اقلیم حاصل از 9 مدل AOGCM-AR4 تحت سناریوی انتشار A2 در دو دوره 1971-2000 و 2010-2039 برای منطقه مورد مطالعه محاسبه و با برازش تابع بتا وزندهی شدند. در ادامه با استفاده از روش مونت کارلو، نمونه از هر سناریو اقلیمی دما و بارش ماهانه منطقه تولید و مقادیر تغییرات دما و بارش مربوط به سطوح ریسک 25، 50 و 75 درصد استخراج شدند. مدل آماری LARS-WG برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌ها در سطح مزرعه بکار برده شد. در مرحله آخر با معرفی مقادیر دما و بارش منطقه در سه سطح ریسک 25، 50 و 75 درصد در دوره 2010-2039 به مدل AquaCrop، مقادیر زیست‌توده ذرت در دوره 2010-2039 شبیه‌سازی شدند. نتایج نشان‌دهنده روند نزولی زیست‌توده، در تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری بود، بطوریکه در سطح ریسک 50 درصد، 1/21 و 1/42 تن بر هکتار کاهش در زیست‌توده به ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری، پیش‌بینی شد.

واژه‌های کلیدی: آکواکراپ، شبیه‌سازی زیست‌توده، عدم قطعیت مدل‌های جفت شده جو- اقیانوسی، مدل آماری لارس.

مقدمه

آفریقایی و آسیایی قسمت اعظم آب شیرین صرف کشاورزی شده و از روش‌های ساده آبیاری و انتقال آب (با تلفات زیاد آب) استفاده می‌شود. با توجه به اینکه در این کشورها قسمت عمده اراضی دارای آب و هوای گرم و خشک هستند، تغییرات دما و الگوی بارش، بر

در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، کشاورزی بنیاد اقتصاد را تشکیل می‌دهد و منبع اصلی امرار معاش می‌باشد و در عین حال از جمله آسیب‌پذیرترین بخش‌ها نسبت به تغییرات اقلیمی به حساب می‌آید. در کشورهای

1. آدرس نویسنده مسئول: کرج، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، گروه آبیاری و آبادانی

* دریافت: آبان، 1390 و پذیرش: بهمن، 1391

می‌تواند نتایج غیر کاربردی و غیرمنطقی را بدنبال داشته باشد. ضعفی که در تمامی پژوهش‌های مذکور دیده می‌شود عدم دخالت عدم قطعیت‌های ناشی از مدل‌های گردش عمومی جو¹ بوده که از مهمترین منابع عدم قطعیت در مطالعات اقلیمی به حساب می‌آیند.

در این مطالعه به بررسی تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر مقادیر زیست‌توده گیاه ذرت در دوره 2010-2039 میلادی با در نظر گرفتن عدم قطعیت ناشی از مدل‌های سه بعدی جفت شده اتمسفر-اقیانوس، گردش عمومی جو² (AOGCM) (2؛ 17؛ 16؛ 25) پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، پاکدشت (عرض جغرافیایی 28° 35' و طول جغرافیایی 45° 51') واقع در جنوب شرقی استان تهران با آب و هوای خشک، بارندگی سالانه حدود 200 میلیمتر (متمركز در زمستان و اواخر پاییز) و میانگین دمای 8- تا 37 می‌باشد و داده‌های مزرعه‌ای مورد نیاز برای واسنجی مدل گیاهی، از مزرعه ذرت به وسعت 200 متر مربع واقع در پردیس ابوریحان دانشگاه تهران بدست آمده است. گیاه ذرت در پاکدشت در اوایل خرداد ماه کشت می‌شود و با توجه به نوع رقم کشت شده، در اواخر تابستان و یا در پاییز برداشت می‌شود.

امکان ادامه حیات و عملکرد محصولات کشاورزی تأثیرات چشمگیری خواهد داشت (14).

تغییرات اقلیم در آینده تغییراتی (عمدتاً منفی) را در شرایط تولید محصولات کشاورزی و همچنین امنیت غذایی در سرتاسر جهان ایجاد خواهد کرد (5) که می‌تواند برای کشاورزان بحران اقتصادی بیافریند و همچنین احتمال بازگشت سرمایه در اثر رواج رخدادهای نامساعد جوی را کمتر خواهد کرد (26).

با توجه به مطالب ذکر شده نیاز به بررسی و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در مقیاس مزرعه‌ای با هدف کاهش فقر در بین کشاورزان کم بضاعت، آسیب‌پذیر و قشر وابسته به کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد (12).

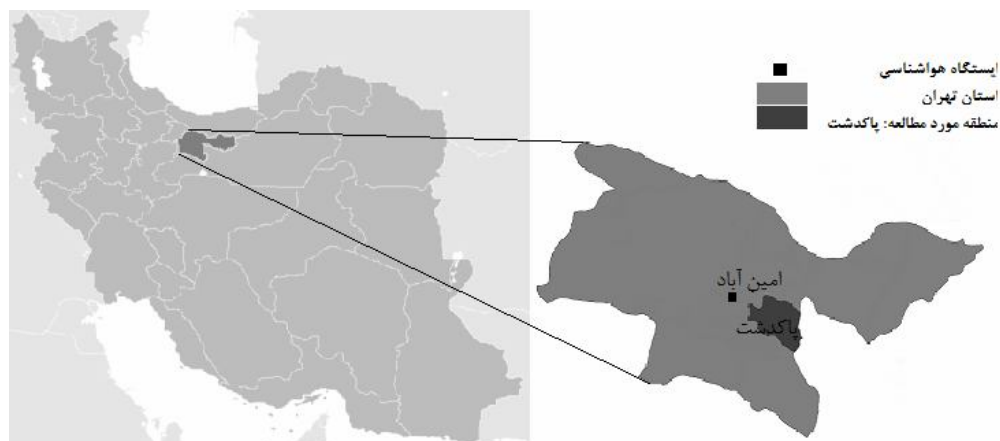
در این زمینه تحقیقات زیادی در کشورهای مختلف جهان صورت گرفته است. در آرژانتین در دوره 2070-2041 تحت تأثیر تغییر اقلیم، 19/1-13/2 درصد کاهش عملکرد ذرت در آرژانتین گزارش کردند (24). در تحقیق مذکور از مدل‌های ECHAM4, HADCM3, PCM, SCIRO و سناریوهای انتشار B1 و A1F1 استفاده شده و CGCM2 و سناریوهای انتشار B1 و A1F1 استفاده شده است. در شیلی 4/3-2/3 و 3/8-2 تن در هکتار کاهش عملکرد ذرت به ترتیب برای ارقام دیررس و زودرس در شیلی در دوره 2070-2089 گزارش شده است (15).

بررسی تأثیر تغییرات اقلیم بر عملکرد گندم و ذرت در مصر نشان داد که در دوره 2023-2053 در مصر، عملکرد گندم و ذرت به ترتیب 41 و 56 درصد کاهش خواهند یافت (5). همچنین در تانزانیا در اثر دو درجه افزایش دما تا سال 2050 به ترتیب 13، 8/8 و 7/6 درصد کاهش عملکرد محصول گیاهان ذرت، سورگوم و برنج گزارش شده است (19).

گرچه تاکنون مطالعات مختلفی در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر گیاهان در نقاط مختلف دنیا انجام شده است ولی در اکثر آن‌ها عدم قطعیت‌های مربوط به تغییر در پارامترهای اقلیمی نادیده گرفته شده است. این امر

¹. General Circulation Model

². Atmosphere- Ocean General Circulation Model



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

تغییر اقلیم در دوره 2010-2039، استفاده شد. این مدل‌ها در زمره مدل‌های معرفی شده در چهارمین گزارش ارزیابی¹ (AR4) کمیته بین الدول تغییر اقلیم²، در سال 2007 می‌باشند.

با در دست داشتن شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی برای دوره‌های گذشته توسط مدل‌های AOGCM، می‌توان با محاسبه تغییرات متغیر اقلیمی مورد نظر در دوره‌های آتی نسبت به دوره گذشته، سناریوی تغییر اقلیم³ آن متغیر را بدست آورد. در این حالت برای دما از اختلاف بین دو متغیر و برای بارندگی از نسبت بین آن‌ها استفاده می‌شود (11). لذا برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل AOGCM مقادیر "اختلاف" برای دما و "نسبت" برای بارندگی بین میانگین 30 ساله در دوره‌های آتی (2039-2010) و دوره شبیه‌سازی شده پایه توسط همان مدل (2000-1971) محاسبه می‌شود. این مقادیر بیانگر میانگین درازمدت 30 ساله تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه می‌باشد.

$$\Delta T_i = (\overline{T}_{GCM, fut, i} - \overline{T}_{GCM, base i}) \quad (1)$$

$$\Delta P_i = \left(\frac{\overline{P}_{GCM, fut}}{\overline{P}_{GCM, base}} \right) \quad (2)$$

استفاده از ارقام میان‌رس و دیررس با توجه به عملکرد مناسب در این منطقه توسط کشاورزان محلی ترجیح داده می‌شود. عمق خاک زراعی در منطقه آزمایش حدود یک متر با زهکشی مناسب و از نوع لومی می‌باشد. داده‌های هواشناسی مورد نیاز این پژوهش (دمای کمینه، بیشینه و میانگین و بارش روزانه) از ایستگاه هواشناسی پاکدشت واقع در پردیس ابوریحان دانشگاه تهران و نزدیکترین ایستگاه هواشناسی، امین آباد، برای سال‌های 1971-2000 و همچنین 2009-2010 گرفته شد. همچنین به منظور واسنجی مدل گیاهی AquaCrop در مزرعه مطالعاتی از داده‌های جمع آوری شده توسط نجار و همکاران در سال 1388 در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، واقع در پاکدشت استفاده شد.

تولید سناریوهای اقلیمی

در حال حاضر مدل‌های AOGCM معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی به‌شمار می‌روند و در بسیاری از تحقیقات از این مدل‌ها جهت تولید سناریوهای اقلیمی استفاده گردیده است (9؛ 24 و 5). در این پژوهش از خروجی ماهانه نه مدل PCM، CCSM، SCIRO، ECHAM5، GFDL، GISS، HadCM3، MIRCO و CGCM3 تحت سناریوی انتشار A2 برای ارزیابی اثرات

¹ Forth Assessment Report

² Intergovernmental panel on climate change

³ Change Field

α و β پارامترهای تعیین‌کننده چولگی نمودار هستند که مقادیر بزرگتر از صفر را به خود اختصاص می‌دهند و X داده‌های ورودی به مدل است.

هر سطر از داده‌های جدول 1، یک سری سناریو تغییر اقلیم دما و هر سطر از داده‌های جدول 2، یک سری سناریو تغییر اقلیم بارش است که ورودی تابع بتا هستند. با اینکار در مجموع 12 تابع بتا برای سناریوهای تغییر اقلیم دما و 12 تابع بتا برای سناریوهای تغییر اقلیم بارندگی حاصل گردید. پس از برازش مناسب توزیع بتا به سری داده‌های ماهانه ΔT و ΔP (سناریوهای تغییر اقلیم)، به منظور محاسبه تابع توزیع تجمعی² (CDF) ماهانه دما و بارش منطقه در دوره آتی، 2000 نمونه از هر سناریوی تغییر اقلیم به روش مونت‌کارلو (13؛ 17) به صورت تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SimLab (8) تولید گردید و مقادیر سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارش منطقه در سطوح ریسک 25، 50 و 75٪، از CDF محاسبه شده، استخراج گردید.

در روابط فوق ΔT_i و ΔP_i به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای میانگین دراز مدت 30 ساله برای هر ماه ($1 \leq i \leq 12$)، $\bar{T}_{GCM,Future}$ و $\bar{P}_{GCM,Future}$ میانگین 30 ساله دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره 2039-2010 و $\bar{T}_{GCM,Baseline}$ و $\bar{P}_{GCM,Baseline}$ میانگین 30 ساله دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی (1971-2000) برای هر ماه می‌باشد (11).

تحلیل عدم قطعیت و آنالیز ریسک

پس از تعیین سناریوهای ماهانه تغییر اقلیم دما و بارش منطقه در دوره‌های آتی (که از 9 مدل AOGCM حاصل شده‌اند) توزیع احتمالاتی هر سناریوی ماهانه با تابع بتا¹ (رابطه 3) مشخص گردید:

$$f(x) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} * \frac{1}{b-a} * \left[\frac{x-a}{b-a} \right]^{\alpha-1} * \left[\frac{b-x}{b-a} \right]^{\beta-1}$$

در این رابطه: a و b ابتدا و انتهای بازه می‌باشند ($a < b$).

جدول 1- سناریوهای تغییر اقلیم دما (ΔT) در دوره 2010-2039 نسبت به دوره پایه (1971-2000) از مدل‌های AOGCM

SCIRO3	RCCSM3	PCM	MIROC	HADCM3	GISS ER	GFDLCM3	ECHAM	CGCM3	ماه / مدل
1/06	0/77	0/24	1/1	0/82	0/62	0/4	0/97	0/6	ژانویه
0/64	1/25	0/15	1/34	0/9	0/84	0/51	0/27	0/99	فوریه
0/93	1/39	0/51	0/72	1/38	1/22	1/34	1/03	1/47	مارس
0/71	1/59	0/74	1/19	1/04	2/39	1/45	0/86	1/45	آوریل
0/68	1/57	0/76	1/47	1/49	2/2	1/76	0/92	1/82	مه
1/14	1/68	0/77	1/87	1/59	3/29	1/77	1/26	1/52	ژوئن
0/65	2/05	0/6	1/67	1/82	1/67	1/55	1/26	1/41	ژوئیه
1/26	2/23	0/68	1/74	1/38	1/88	2/07	1/06	1/72	اوت
1/44	1/8	1/05	1/57	1/92	1/21	1/59	1/18	1/71	سپتامبر
1/15	1/66	1/08	1/38	1/81	1/42	1/43	1/19	1/3	اکتبر
1/5	1/82	0/93	1/21	1/34	0/7	1/02	0/71	1/08	نوامبر
0/53	1/04	0/5	0/98	1/07	1/01	1/06	1/05	0/84	دسامبر

¹.Beta distribution function

².Cumulative Distribution Function

جدول 2 - سناریوهای تغییر اقلیم بارش (ΔP) در دوره 2010-2039 نسبت به دوره پایه (1971-2000) از مدل‌های AOGCM

ماه/مدل	CGCM3	ECHAM	GFDLCM3	GISS ER	HADCM3	MIROC	PCM	RCCSM3	SCIRO3
ژانویه	1/08	0/95	1/29	0/72	11/22	1/01	1/08	0/99	1/21
فوریه	1/01	1/08	0/96	0/96	0/79	1/01	1/02	0/92	0/95
مارس	0/86	0/92	0/9	0/73	1/02	0/84	0/93	0/91	1/04
آوریل	0/88	1/05	0/83	0/84	1/16	0/84	0/93	0/80	1/14
مه	0/87	0/85	1/04	0/66	0/94	0/96	1/06	0/84	1/05
ژوئن	0/86	0/67	0/9	0/77	0/96	0/95	0/88	0/64	0/86
ژوئیه	0/81	0/8	1/3	3/18	0/60	1/78	0/66	0/81	0/65
اوت	0/95	0/84	0/43	0/26	1/14	1/58	1/03	0/96	0/8
سپتامبر	0/78	0/84	0/7	24	0/82	1/44	0/77	1/08	0/86
اکتبر	1/12	0/93	0/61	0/79	0/59	1/08	0/97	1/11	0/99
نوامبر	1/33	1/12	0/97	1/07	1/2	1/03	1/15	0/85	1/19
دسامبر	1/2	1/12	1/06	1/08	0/96	0/92	1/21	1/12	1/19

شرایط اقلیم حاضر و آینده بکار می‌رود (18، 20، 21). اولین نسخه LARS-WG در بوداپست در سال 1990 به عنوان ابزاری برای ریز مقیاس نمایی به روش آماری در کشور مجارستان ابداع شد (18). این مدل برای مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی، توزیع‌های آماری پیچیده‌ای را بکار می‌برد. مبنای این مدل برای مدل‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش، توزیع نیمه تجربی بوده و با کمک سری‌های فوریه، درجه حرارت را تخمین می‌زند. همچنین درجه حرارت‌های کمینه و بیشینه روزانه بصورت فرآیندهای تصادفی با میانگین و انحراف معیارهایی که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند. سری فوریه مرتبه سوم برای شبیه سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی بکار می‌رود. خروجی‌های این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش می‌باشد. تولید داده توسط این مدل در 3 مرحله انجام می‌شود: واسنجی مدل، ارزیابی مدل، تولید داده‌های هواشناسی.

مدل LARS-WG از داده‌های مشاهداتی روزانه ایستگاه منطقه مورد مطالعه برای محاسبه خصوصیات آماری داده‌های ایستگاه مورد مطالعه استفاده می‌کند. این مرحله که به نوعی کالیبراسیون مدل با داده‌های مشاهداتی

مقادیر ΔT معرف تغییرات مطلق دما و مقادیر ΔP معرف تغییرات نسبی بارش است به این صورت که مقادیر مثبت ΔT ، نشانگر افزایش دما و مقادیر ΔP بزرگتر و کوچکتر از یک به ترتیب نشانگر نسبت افزایش و کاهش بارش، در دوره مورد مطالعه (2010-2039) نسبت به دوره پایه (1971-2000) هستند.

ریز مقیاس نمایی

یکی از مشکلات عمده در استفاده از مدل‌های AOGCM در مطالعات اقلیمی در سطوح منطقه‌ای، بزرگ بودن مقیاس مکانی و قدرت تفکیک پائین این مدل‌ها می‌باشد. از این رو نیاز است خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در مطالعات اقلیمی، ریز مقیاس شوند. یکی از روش‌های ریز مقیاس نمایی، روش آماری است که از جمله مزایای استفاده از آن، ارزیابی سریع و ساده است که هنگامی که هزینه‌های کمتر و ارزیابی سریعتر مد نظر باشد، از مزایا و قابلیت‌های بسیار برخوردار می‌باشد. در این تحقیق از روش ریز مقیاس نمایی آماری با استفاده از مدل مولد آب و هوا (LARS-WG) استفاده گردید. این مدل یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی آب و هوا است که برای تولید بارش روزانه، تابش، بیشینه و کمینه درجه حرارت‌های روزانه در یک ایستگاه تحت

مصرف آب توسعه داده شده مدل AquaCrop می‌باشد که به عنوان یک ابزار تحلیلی برای مطالعه تأثیر اقلیم، خاک، آب و مدیریت بهره‌وری سیستم کشت کارایی دارد. این مدل بیان آب را بصورت روزانه محاسبه کرده و تبخیر تعرق را به دو جزء تعرق و تبخیر تقسیم می‌کند که جزء اول وابسته به نسبت پوشش گیاهی و جزء دوم وابسته به سطح بدون پوشش خاک است. در AquaCrop برای محاسبه تولید روزانه زیست‌توده، از پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده، استفاده می‌شود. این پارامتر برای آب و هوا و گیاه معین، ثابت در نظر گرفته می‌شود تا مدل قادر به شبیه‌سازی در مکان‌ها، فصول مختلف و همچنین برای سناریوهای تغییر اقلیم باشد. همچنین میزان عملکرد از ضرب کردن زیست‌توده در شاخص برداشت بدست می‌آید و مقادیر شاخص برداشت با توجه به میزان آب موجود وابسته به زمان، شدت و مدت تنش خشکی است (10 و 22).

برای واسنجی مدل AquaCrop، از داده‌های برداشت شده از مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان واقع در پاکدشت توسط نجار و همکاران (4) استفاده گردید. داده‌های مورد استفاده برای مقایسه نتایج شبیه‌سازی مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده، شامل مقادیر زیست‌توده در 4 مرحله از رشد برای دو تیمار آبیاری کامل (14، 49، 75 و 125 روز پس از کشت) و کم‌آبیاری (14، 52، 74، 125 روز پس از کشت) و در سه تکرار هستند. ارزیابی نتایج خروجی مدل با کمک شاخص آماری جذر میانگین مربع خطا³ (RMSE)، (رابطه 1) و شاخص توافق ویلموت⁴ (d) (رابطه 2) صورت گرفت و برای دستیابی به مقادیر بهینه پارامترهایی نظیر بهره‌وری آب⁵، شاخص برداشت⁶، ضریب افول آسمانه⁷، ضریب رشد آسمانه⁸ و... چندین مرحله آزمون و خطا صورت پذیرفت. CDC میزان کاهش کانوپی نسبت به کانوپی حداکثر به ازای هر درجه روز

است، تحلیل سایت¹ نام دارد. در این مرحله دو فایل تولید می‌شود که اولی حاوی اطلاعات مورد نیاز مدل برای تولید سری زمانی داده‌های هواشناسی است (مقادیر بیشینه، کمینه، میانگین و انحراف معیار برای بازه‌های ماهانه و روزانه دمای بیشینه، دمای کمینه، تابش و بارندگی؛ طول دوره‌های خشک و تر به همراه میانگین و انحراف معیار آن‌ها؛ توزیع تجربی بارش؛ دوره‌های یخبندان و خشکی) و دیگری اطلاعاتی در مورد توزیع فراوانی‌های فصلی دوره‌های تر و خشک، دما و بارندگی است. در مرحله صحت‌سنجی، خصوصیات آماری داده‌های هواشناسی مشاهداتی و تولیدشده برای تعیین وجود یا عدم وجود تفاوت معنی‌دار آماری تحلیل می‌شود. در این مرحله مقایسه توزیع احتمالاتی داده‌های واقعی و تولید شده با استفاده از آزمون نکویی برازش خنثی دو و مقایسه میانگین و انحراف معیار با استفاده از آزمون t و F صورت می‌گیرد.

در مطالعه حاضر، به منظور واسنجی و ارزیابی مدل LARS-WG از داده‌های روزانه مشاهداتی دوره پایه (1971-2000) در منطقه مورد مطالعه استفاده شد و در ادامه برای ریز مقیاس نمائی داده‌های دما و بارش برای مزرعه مطالعاتی، سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارش در سه سطح ریسک 25، 50 و 75 درصد (که از مرحله قبل حاصل شده‌اند - بخش 2-3) بطور جداگانه و در قالب سناریوهای خاص مدل LARS-WG در اختیار این مدل قرار گرفت، سری‌های زمانی دما و بارش برای منطقه مورد مطالعه در دوره 2010-2039 تولید و در مرحله بعد به منظور شبیه‌سازی زیست‌توده ذرت به مدل گیاهی AquaCrop معرفی گردید. دوره کشت نرمال ذرت در منطقه پاکدشت از اوایل تا اواخر خرداد ماه می‌باشد که در این تحقیق تاریخ 11 خرداد به عنوان تاریخ کشت نرمال در نظر گرفته شده است.

مدل شبیه‌سازی عملکرد گیاه (AquaCrop)

یکی از کاراترین و جدیدترین مدل‌های گیاهی که توسط سازمان جهانی کشاورزی و غذا² با تمرکز بر بهره‌وری

³. Root Mean Square Error

⁴. Willmott agreement index

⁵. Water Productivity (WP)

⁶. Harvest Index (HI)

⁷. Canopy Decline Coefficient (CDC)

⁸. Canopy growth coefficient (CGC)

¹. Site Analysis

². Food and Agriculture Organization

نتایج

تغییرات دما و بارش منطقه در دوره آتی

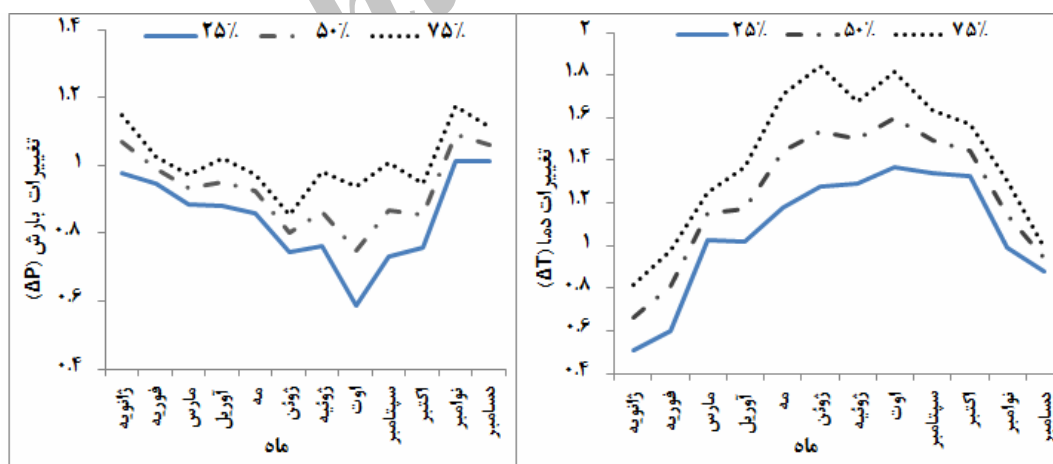
نتایج بدست آمده از 9 مدل AOGCM بکار رفته در این تحقیق و سناریوهای اقلیمی نشان داد که تمامی این مدل‌ها، برای دوره 2010-2039 افزایش دما را شبیه‌سازی نموده‌اند درحالی‌که تنها در برخی از ماه‌ها افزایش بارش تخمین زده شده است (جدول 1 و 2 و شکل 2). کمترین میزان افزایش دما (ΔT) مربوط به مدل PCM، معادل 0/15 درجه سانتیگراد، در ماه فوریه و بیشترین میزان ΔT مربوط به مدل GISS ER، در ماه ژوئن و معادل 3/29 درجه سانتیگراد می‌باشد. همچنین بیشترین میزان ΔP (نسبت میانگین دراز مدت بارش ماهیانه در دوره مورد مطالعه به دوره پایه) را مدل GISS، در ماه ژوئیه (3/18) و کمترین آن را همین مدل در ماه سپتامبر (0/24) شبیه‌سازی کرده است. شکل 2 روند تغییرات مقادیر ΔT و ΔP ، در سطوح ریسک 25، 50 و 75 درصد و در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد.

رشد یا در هر روز؛ CGC درصد افزایش کانوپی به ازای هر درجه روز رشد، در دوره رشد کانوپی؛ HI نسبت عملکرد به بیوماس و WP میزان بیوماس تولید شده به ازای مصرف یک واحد آب است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2} \quad (4)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \bar{M}| + |M_i - \bar{M}|)^2} \quad (5)$$

در این روابط S_i داده‌های شبیه‌سازی شده، داده‌های اندازه گیری شده (مشاهداتی)، \bar{M} میانگین داده‌های مشاهداتی و n تعداد مشاهدات می‌باشد (10). دامنه مقادیر شاخص توافق ویلموت از 1 تا $-\infty$ متغیر است و مقدار 1 توافق کامل بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی را نشان می‌دهد (10). همچنین به منظور صحت‌سنجی مدل از مقایسه داده‌های تبخیرتعرق مشاهداتی (مقارن با دوره رشد گیاه، 11 خرداد الی 8 مهر سال 1389) و شبیه‌سازی شده توسط مدل بهره گرفته شد.



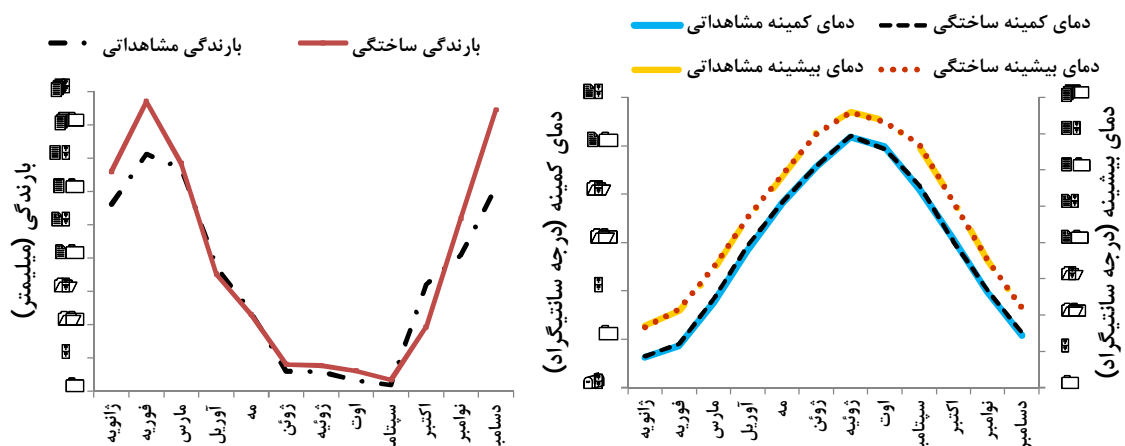
شکل 2- سناریوهای تغییرات دما (شکل سمت راست) و بارش (شکل سمت چپ) در دوره 2010-2039 نسبت به دوره 1971-2000 در سطوح ریسک 25، 50 و 75 درصد.

ریز مقیاس نمایی

همانطور که در بخش 2-4 گفته شد LARS-WG

در اصل یک مدل مولد آب و هواست و برای ارزیابی کارایی آن در تولید داده‌های هواشناسی از آمار تاریخی دمای بیشینه، کمینه و بارندگی منطقه مورد مطالعه

(1971-2000) استفاده گردید. شکل 3 مقایسه آمار ایستگاه هواشناسی منطقه و آمار تولید شده توسط مدل LARS-WG را نشان می‌دهد (بدون لحاظ اثرات تغییر اقلیم) و تطابق آن‌ها نشان‌دهنده کارایی بالای مدل در تولید داده‌های هواشناسی می‌باشد.



شکل 3- مقایسه مقادیر مدل شده و دیدبانی شده برای پارامترهای بارندگی (سمت چپ) و دمای کمینه و بیشینه (سمت راست).

داده‌های زیست‌توده اندازه‌گیری شده در 4 مرحله از رشد در تیمار آبیاری کامل و در تیمار کم‌آبیاری که در واسنجی مدل گیاهی به کار رفته است به همراه مقادیر RMSE و d محاسبه شده در جدول 1 نشان داده شده‌است. مقادیر قراردادی مدل برای برخی پارامترهای ورودی مدل به همراه مقادیر واسنجی شده آن‌ها در جدول 2 آورده شده‌اند.

پس از اثبات کارایی مدل و ارزیابی آن، برای ریز مقیاس نمایی داده‌های دما و بارش، سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارش در سطوح ریسک 25، 50 و 75 درصد (اعداد مرتبط با شکل 2) بطور جداگانه به مدل معرفی شده و در هر سطح ریسک سری‌های زمانی دما و بارش (روزانه) مزرعه در دوره 2010-2039 میلادی شبیه‌سازی شد.

واسنجی مدل AquaCrop

جدول 1- مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده زیست توده (تن بر هکتار) در 4 مرحله از رشد برای تیمار آبیاری کامل و کم آبیاری و

مقادیر d و RMSE محاسباتی

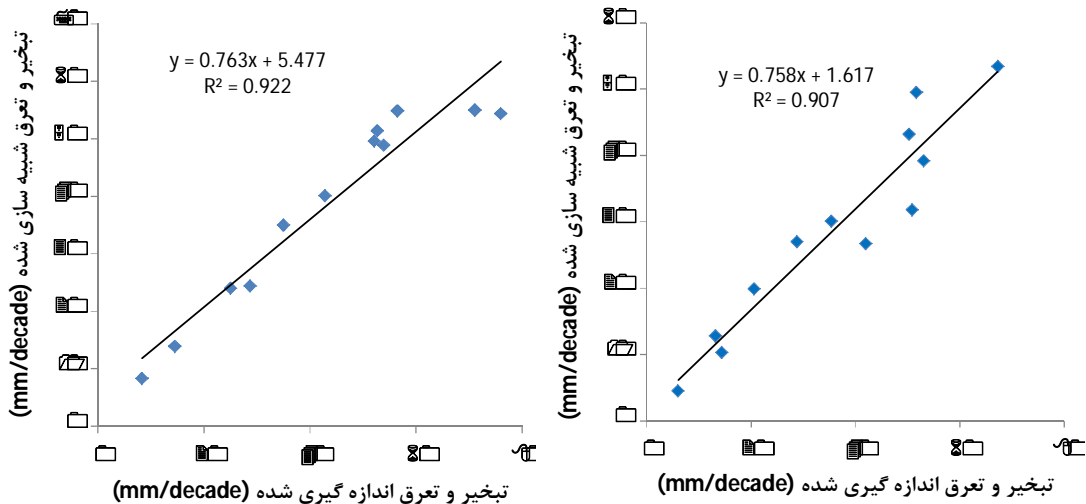
زیست توده (تن بر هکتار)		روز پس از کاشت	زیست توده (تن بر هکتار)		روز پس از کاشت
اندازه گیری شده	شبیه سازی شده		اندازه گیری شده	شبیه سازی شده	
0/16	0/09	14	0/18	0/08	14
4/86	7/52	49	3/41	7/58	52
14/13	15/6	74	5/62	10/77	75
22/05	21/6	116	13/22	13/14	116
1/91			1/54		RMSE
0/985			0/996		d

جدول 2- مقادیر قراردادی و واسنجی شده پارامترهای گیاهی ورودی به مدل AquaCrop برای شبیه سازی رشد ذرت

واحد	مقدار مورد استفاده	مقدار قراردادی	توضیح پارامتر
Cm ²	6/5	6/5	پوشش گیاهی برای هر نهال هنگام 90% جوانه زنی
%	1/18	12-13	ضریب رشد کانوبی (CGC)
%	90	90-95	بیشینه پوشش کانوبی (CCx)
%	1/051	1	ضریب افت کانوبی در پیری (CDC)
g m ²	34	33/7	بهره وری آب (WP)
-	0/14	0/14	آستانه بالای رشد
-	0/72	0/72	آستانه پایین رشد (P lower)
-	2/9	2/9	ضریب منحنی شکل گسترش برگ
-	0/69	0/69	آستانه بالای بسته شدن روزنه ها
-	6	6	ضریب منحنی شکل تنش روزنه
-	0/69	0/69	ضریب تنش پیری کانوبی (P upper)
-	2/7	2/7	ضریب منحنی شکل تنش پیری
%	50	48-52	شاخص برداشت مرجع
درجه روز رشد	190	150-200	طول دوره گلدهی
درجه روز رشد	684	وابسته به رقم	طول دوره پر شدن دانه
درجه روز رشد	1546	1450-1750	کل دوره رشد

صحت سنجی مدل استفاده گردید در شکل 4 قابل مشاهده است.

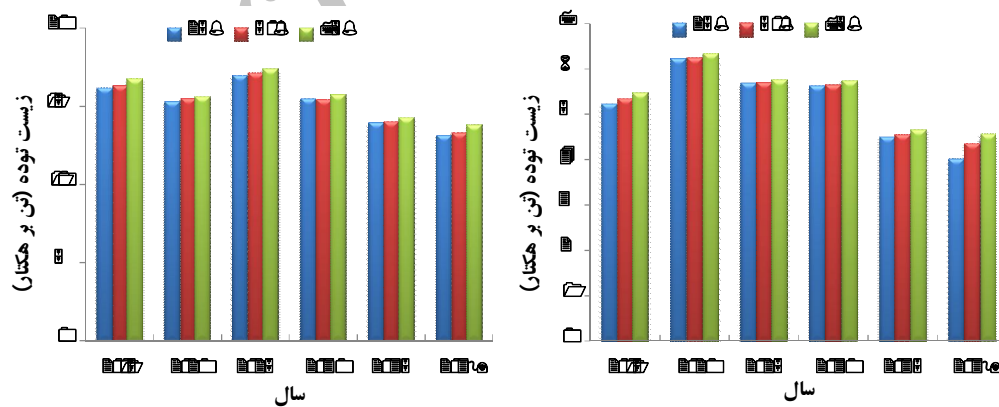
نتایج مقایسه داده های تبخیر تعرق 10 روزه اندازه گیری شده در مزرعه (مقارن با دوره رشد گیاه، در سال 1389) و مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل AquaCrop که در



شکل 4- مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده تبخیر/تعرق 10 روزه (میلیمتر در 10 روز)، برای تیمار آبیاری کامل (سمت چپ) و کم آبیاری (سمت راست)

که مقادیر آبیاری در تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری، به ترتیب 670 و 335 میلیمتر در سال 2009 بوده است که این مقادیر برای شبیه سازی های مربوط به دوره های آبی نیز ثابت در نظر گرفته شده است.

شبیه سازی رشد ذرت در سال های آبی نتایج زیست توده شبیه سازی شده توسط مدل، در سطوح ریسک 25، 50 و 75% و مقدار مشاهداتی زیست توده در سال پایه، در تیمار آبیاری کامل و کم آبیاری، در شکل 4 آورده شده است. لازم به ذکر است



شکل 5- مقادیر زیست توده شبیه سازی شده در دوره 2015-2039 در تیمار آبیاری کامل (شکل سمت چپ) و تیمار کم آبیاری (شکل سمت راست).

بحث

شده توسط مدل در ماه‌های ژانویه و فوریه، کمتر از مقادیر واقعی بوده است.

نتایج شاخص‌های آماری d (0/996) در تیمار آبیاری کامل و 0/985 در تیمار کم‌آبیاری) و RMSE (1/54) در تیمار آبیاری کامل و 1/91 در کم‌آبیاری) نشان از همخوانی داده‌های مشاهداتی و اندازه‌گیری شده دارد (جدول 2). باید توجه شود که مقادیر RMSE ارائه شده مربوط به چهار مرحله از رشد بوده و در مرحله برداشت تفاوت میان مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده زیست‌توده اندک و در تیمار آبیاری کامل و کم‌آبیاری به ترتیب 400 و کمتر از 100 کیلوگرم بوده است.

در مطالعه حاضر، از مقایسه نتایج خروجی مدل AquaCrop و مقادیر واقعی تبخیرتعرق ذرت در مزرعه مطالعاتی در بازه‌های زمانی ده روزه، به عنوان روشی برای صحت‌سنجی مدل گیاهی (7) استفاده شده است. مقایسه این مقادیر نشان داد که مقادیر تولید شده توسط مدل کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده بوده و مدل گیاهی مذکور مقادیر تبخیرتعرق را کمتر از مقادیر واقعی شبیه‌سازی می‌نماید که نتایج منبع (7) را تایید می‌کند. شکل 4 همبستگی بین داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده توسط مدل گیاهی و شیب خط برازش داده شده را در تیمار آبیاری کامل و کم‌آبیاری نشان می‌دهند. مقادیر R^2 بدست آمده از مقایسه داده‌ها (مقادیر 0/92 و 0/9 برای R^2 در تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری) نشان از توانایی بالای مدل در شبیه‌سازی تبخیرتعرق ذرت دارد.

البته علاوه بر دما و بارش دی‌اکسیدکربن نیز بر رشد گیاه موثر است. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بازده فتوسنتز را افزایش و سرعت تنفس را کاهش می‌دهد، از این رو کاهش عملکرد ناشی از افزایش دما را متعادل می‌کند. هر چند شواهد اولیه که از تحقیقات آزمایشگاهی بدست آمده، توسط آزمایشات در سطح مزرعه‌ای تأیید نشده است، اما واضح است که به شرط بهینه بودن تمامی فاکتورهای مؤثر در تولید، اثرات CO_2 نمایان‌تر خواهد

در شکل 2 دیده می‌شود که در ماه‌های گرم سال مقادیر ΔT و ΔP به ترتیب بزرگتر و کوچکتر از سایر ماه‌ها می‌باشد و ماه‌های گرم سال عمدتاً با کاهش بارش روبرو هستند. افزایش دما و کاهش باران در ماه‌های مقارن با فصل رشد ذرت، این گیاه را با بحران آب، بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک مانند منطقه مورد مطالعه، پاکدشت، مواجه خواهد کرد، زیرا دمای بالاتر منجر به افزایش تبخیر-تعرق و در نتیجه نیاز آبیاری بالاتر شده و کم بودن بارش در فصل گرما به این امر دامن می‌زند. این نتایج با نتایج ارائه شده توسط منابع (3 و 6) مطابقت دارد. همچنین در این شکل تفاوت مقادیر ΔT و ΔP در سطوح مختلف ریسک نشان داده شده است و به خوبی نمایان است که در سطوح پایین‌تر پذیرش ریسک (شرایط مطمئن‌تر)، مقادیر ΔT بزرگتر و مقادیر ΔP کوچکتر از مقادیر مشابه در سطوح ریسک بالا هستند و در واقع شرایط محیطی برای رشد گیاه دشوارتر خواهد بود.

شکل 3 مقادیر دیده‌بانی شده و شبیه‌سازی شده دمای بیشینه، دمای بیشینه و بارندگی در دوره 1971-2000 را نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان گفت که مدل LARS-WG توانایی بالایی در شبیه‌سازی دمای بیشینه و کمینه در منطقه مورد مطالعه داشته و نمودارهای مقادیر واقعی و تولید شده بسیار نزدیک به یکدیگر هستند. تحقیق عباسی و همکاران (1) نیز مؤید دقت مناسب مدل LARS-WG در تولید داده‌های دمای بیشینه و کمینه می‌باشد. در مورد بارش مشاهده می‌شود که در ماه‌های گرم سال مقادیر واقعی و مقادیر شبیه‌سازی شده به یکدیگر نزدیک بوده و در ماه‌های سرد (نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه) از هم فاصله می‌گیرند و بیش‌برآورد مدل در شبیه‌سازی مقادیر بارش را نشان می‌دهد. نتایج منبع (1) در مورد ماه‌های نوامبر و دسامبر مطابق با نتایج تحقیق حاضر می‌باشد اما در تحقیق ایشان مقادیر تولید

و 75% بوده و نیاز آبی گیاه بیشتر است و در صورت ثابت بودن میزان آب آبیاری، گیاه شرایط پرتنش را پیش رو خواهد داشت. تفاوت میان مقادیر زیست‌توده ذرت در سطوح 25 و 75% در سال 2039، 0/7 تن بر هکتار در تیمار آبیاری کامل و 0/5 تن بر هکتار در کم آبیاری پیش‌بینی شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش در مجموع نشان داد که در دوره مورد مطالعه (2010-2039) میانگین دما بین 0/15-3/29 درجه سانتیگراد نسبت به دوره پایه (1971-2000) افزایش خواهد داشت و نسبت میانگین بارندگی ماهانه در دوره مورد مطالعه به دوره پایه، از 0/24 تا 3/18 (76% کاهش تا 218% افزایش) متغیر خواهد بود. مقادیر تغییرات دما و بارندگی (ΔT و ΔP) در سطوح مختلف ریسک نشان داد که در ماه‌های گرم سال این تغییرات شدیدتر بوده و تنش بیشتری به گیاه وارد خواهد آمد. ارزیابی مدل مولد آب و هوا، LARS-WG نشان داد که این مدل در تولید داده‌های دمای بیشینه و کمینه بسیار تواناست اما در تولید داده‌های میانگین ماهانه بارش (بخصوص در ماه‌های سرد سال) بیش‌برآورد دارد. نتایج شبیه‌سازی مدل AquaCrop در دوره 2010-2039، روندی نزولی را برای عملکرد ذرت نشان داد بطوریکه در سطح ریسک 50 درصد، 1/2 و 1/4 تن بر هکتار به ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری کاهش عملکرد تا سال 2039 مورد انتظار خواهد بود. مقادیر کاهش زیست‌توده در سطح ریسک 25% بیشتر و در سطح ریسک 75% کمتر از مقادیر مذکور خواهد بود.

ذکر این نکته ضروری است که این مطالعه تلاش دارد روش شناسی بررسی اثرات تغییر اقلیم بر گیاه با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مطالعات تغییر اقلیم را ارائه دهد که نیل به این هدف نیازمند بهره‌گیری از داده‌های طولانی مدت برای واسنجی مدل گیاهی است. باید توجه داشت که یکی از عدم قطعیت‌هایی که مطالعات ارزیابی

شد. امیدهای اولیه برای جبران اثرات منفی تغییر اقلیم بر تولیدات گیاهی توسط اثرات مثبت افزایش CO_2 متوقف شده، زیرا تا زمانی که میزان CO_2 دو برابر شود دما نیز حدوداً 4 درجه افزایش یافته که اثرات مثبت CO_2 را خنثی می‌نماید (27).

لازم به ذکر است که در مدل AquaCrop برای سال‌های مختلف مقادیر مختلف دی‌اکسیدکربن در نظر گرفته شده و مدل بین گیاهان سه کربنه و چهارکربنه تفاوت قائل است. این تفاوت در ضرائب مختلف اعمال شده برای شبیه‌سازی مراحل رشد، وجود دارد. به همین دلیل در این مطالعه از بررسی اثر CO_2 به صورت جداگانه صرف نظر شده است. تا کنون کاهش عملکرد محصولات زراعی در سال‌های آتی، تحت تأثیر تغییر اقلیم در مناطق مختلف در مطالعات بسیاری تخمین زده شده است (4، 19، 24، 5 و 15). در نتایج این تحقیق نیز مشخص شد که، گرچه در سال‌های مختلف نوساناتی در کاهش یا افزایش (ناچیز) زیست‌توده مشاهده می‌شود، اما روند کلی، حاکی از کاهش میزان زیست‌توده گیاه ذرت تا سال 2039 برای تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری می‌باشد (شکل 5). میزان زیست‌توده در تیمار آبیاری کامل به 13/11 تن بر هکتار و در کم‌آبیاری به 4/02 تن بر هکتار در سال 2039 رسیده است. کاهش میزان زیست‌توده در شرایط کم‌آبیاری چشمگیرتر خواهد بود زیرا این حد کاهش آبیاری، به خصوص در سال‌های آینده، روزنه‌ها را درحالت بسته شدن و کانوپی را درحالت پیری زودرس قرار می‌دهد.

مقایسه مقادیر زیست‌توده در سطوح مختلف ریسک نشان می‌دهد که در سطوح ریسک بالاتر (75%)، مقادیر شبیه‌سازی شده زیست‌توده بیشتر از سطوح ریسک پایین-تر و شرایط مطمئن‌تر (25%) بوده است که علت آن، کوچکتر بودن مقادیر ΔT و بالاتر بودن ΔP در سطح ریسک 75% نسبت به 25% می‌باشد. در واقع در ریسک 25%، میزان افزایش دما و کاهش بارش بیش از ریسک 50

رشد گیاه). برای کاهش این عدم قطعیت و کسب نتایج نزدیک به مقادیر اندازه گیری شده، لازم است چندین دوره آزمایش مزرعه‌ای انجام گیرد.

اثرات تغییر اقلیم و این مطالعه نیز با آنها روبروست، عدم قطعیت ناشی از واسنجی مدل‌های گیاهی است (واسنجی با داده‌های کم و یا دقت کلی مدل در شبیه‌سازی روند

منابع مورد استفاده

- 1) Abbasi, F., Malbusi, S., babaieian, I., Asmari, M. and Borhani, R. 2010. Climate Change Prediction of South Khorasan Province during 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO-G Data. Journal of Water and Soil Vol. 24, No. 2, May-Jun 2010, p. 218-233 (In Farsi)
- 2) EL Afandi, G.E., Khalil, F.A. and Ouda, S.A. 2010. Using irrigation scheduling to increase water productivity of wheat-maize rotation under climate change conditions. Chilean Journal of Agricultural Research, 70(3):474-484.
- 3) Elmahdi, A., Shahkarami, N., Morid, S. and Massah Bavani, A.R. 2009. Assessing the impact of AOGCMs uncertainty on the risk of agricultural water demand caused by climate change. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009.
- 4) García-Vila, M., Fereres, E., Mateos, L., Orgaz, F. and Steduto, P. 2009. Deficit irrigation optimization of cotton with AquaCrop. Agronomy Journal, 101(3).
- 5) Giglioli N. Saltelli A. 2003. SimLab 2.2, Software for Sensitivity and uncertainty Analysis, Simlab Manual. Joint Research Centre European Commission.
- 6) Guo, R., Lin, Z., Mo, X. and Yang, C. 2010. Responses of crop yield and water use efficiency to climate change in the North China Plain. Agricultural Water Management, 97: 1185-1194.
- 7) Hsiao C.T. Heng L. Steduto P. Rojas-Lara B. Raes D. Fereres E. 2009. AquaCrop-The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: III. Parameterization and Testing for Maize. Agronomy Journal, 101(3).
- 8) Jones, P.D., and Hulme, M. 1996. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations. International Journal of Climatology, 16: 361-377.
- 9) Jones, P.G., and Thornton, P.K. 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. Global Environmental Change, 13:51-59.
- 10) Jones, R.N. 2000. Analyzing the risk of climate change using an irrigation demand model. Climate research, 14: 89-100.
- 11) Knox, J.W., Hess, T.M., Daccache, A., and Perez Ortola, M. (2011). What are the projected impacts of climate change on food crop productivity in Africa and south Asia?. DFID systematic review, Cranfield University.
- 12) Massah Bavani, A.R. and Morid, S. 2006. Impact of Climate Change on the Water Resources of Zayandeh Rud Basin. JWSS - Isfahan University of Technology. 2006, 9:17-28 (In Farsi)
- 13) Meza, J.F. Silva, D., and Vigil H. 2008. Climate change impact on irrigated maize in Mediterranean climates: Evaluation of double cropping as an emerging adaption alternative. Agricultural System, 98:21-30.

- 14) Minville, M. Brissette, F., and Leconte, R. 2008. Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a Nordic watershed. *Journal of Hydrology*,. 358: 70-83
- 15) Mirsane, M. S., Sohrabi, T., Massah Bavani, A.R. and Bazrafshan, J. 2010. Risk analysis of crop water requirement under climate change (Case study: Qazvin), Master thesis, University of Tehran (In Farsi).
- 16) Najjar, Z., Massah Bavani, A.R. and Mashal, M. 2009. Adaptation strategies of climate change impacts on maize yield. Master thesis, University of Tehran, College of Abureyhan (In Farsi).
- 17) Prudhomme, Ch., Davies, H. 2005: Comparison of different sources of uncertainty in climate change impact studies in Great Britain. Center for Ecology and Hydrology, Wallingford, OXON, OX10 0QN, UK
- 18) Racsco, P., Szeidl, L. and Semenov, M.A. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modeling*,. 1 (57): 27-41.
- 19) Rowhani, P., Lobell, D.B., Linderman, M. and Ramankutty, N. 2011. Climate variability and crop production in Tanzania. *Agricultural and Forest Meteorology*,. 15: 449-460.
- 20) Semenov, M.A. and Barrow, E.M. 2002. LARS-WG: A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies, Version 3.0, User's Manual.
- 21) Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow E.M. & Richardson, C. W. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climatic Research*,. 10 (2): 95-107.
- 22) Steduto, P., Raes, T., Hsiao, T.C. Fereres, E. 2009. AquaCrop-reference manual.
- 23) Steduto, P., Raes, T., Hsiao, T.C. Fereres, E., Heng, L., Izzi, G. and Hoogeveen, J. 2009. "AquaCrop: a new model for crop prediction under water deficit conditions". *Options Mediterranean's*,. 80:285-292
- 24) Tao, F., and Zhang, Z. 2010. Adaptation of maize production to climate change in North China Plain: Quantify the relative contributions of adaptation options. *European Journal of Agronomy*,. 10.
- 25) Toews M. W. and Allen D. M (2009): Evaluating different GCMs for predicting spatial recharge in an irrigated arid region. *Journal of Hydrology*, 374: 265-281.
- 26) Torriani, D.S., Calanca, P., Schmid, S., Beniston, M., and Fuhrer, J. 2007a. Potential effects of changes in mean climate and climate variability on the yield of winter and spring crops in Switzerland. *Climate Research*,. 34:59-69.
- 27) Turrall, H., Burke, J., and Faures, J.M. 2011. Climate change, water and food security. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome