

شبیه سازی اثر شوری آب بر عملکرد ذرت در شرایط تغییر اقلیم در منطقه اهواز

مهری سعیدی نیا^{۱*}، سعید برومندنسب و سید بهرام اندرزیان

استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان و دانش آموخته دانشگاه شهید چمران اهواز.

saeedinia.m@lu.ac.ir

استاد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز.

Boroomand@scu.ac.ir

استادیار پژوهش بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، اهواز، ایران.

bahramandarzian@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق، میزان عملکرد ذرت (رقم مبین)، در شرایط آبیاری با آب شور در منطقه اهواز، تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم شبیه سازی گردید. با در نظر گرفتن دوره مینا (۲۰۱۰-۱۹۸۱)، برای تولید سناریوها در دو دوره آبی ۲۰۵۰-۲۰۲۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱، از مدل CSIRO-MK3.5 در ترکیب با سه سناریوی انتشار A_2 و B_1 و A_1B استفاده شد و برای بررسی اثر سناریوهای مختلف بر روی عملکرد، تحت پنج تیمار شوری آبیاری (S_0 : آب کارون (شوری $2/3$ dS/m)، S_1 شوری $3/5$ dS/m، S_2 شوری $4/5$ dS/m، S_3 شوری $5/5$ dS/m و S_4 شوری $6/5$ dS/m) مدل Aqua Crop انتخاب گردید. برای نشان دادن اثر تغییر اقلیم به تنهایی، میزان عملکرد هر تیمار تحت هر سناریو با میزان عملکرد همان تیمار در سناریوی مینا مقایسه گردید و نتایج نشان داد در دوره آبی اول اثر تغییر اقلیم بر روی عملکرد ناچیز بود. در دوره دوم آبی، به صورت میانگین در همه تیمارها، کاهش عملکرد تحت سناریوی A_1B ، 15% ، تحت سناریوی B_1 ، 24% و در سناریوی A_2 ، 35% مشاهده گردید. نتایج اثر توأم تغییر اقلیم و شوری بر میزان عملکرد نشان داد که در دوره آبی اول، بیشترین کاهش عملکرد در سناریوی $S_4B_1N_1$ (37%)، و در دوره دوم آبی در سناریوی $S_4A_2N_2$ (58%)، رخ خواهد داد. در نهایت مشخص گردید که روند تغییرات عملکرد نسبت به شوری، تحت هر یک از سناریوها به صورت خطی بود.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، ذرت رقم مبین، شبیه سازی عملکرد، مدل Aqua Crop.

۱- آدرس نویسنده مسئول: خرم آباد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان.

* - دریافت: مرداد ۱۳۹۵ و پذیرش: اسفند ۱۳۹۵

مقدمه

هرگونه تغییر در میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین، باعث برهم خوردن تعادل در اقلیم کره زمین می‌گردد. اما اینکه در آینده چه مقدار از این گازها توسط جوامع بشری وارد اتمسفر زمین شده و چه وضعیتی برای سیستم اقلیم کره زمین رخ خواهد داد، معین و قطعی نیست، لذا به صورت کاملاً غیر قطعی و تحت سناریوهای مختلفی ارائه شده است. این سناریوها در دو بخش مجزای سناریوهای غیر اقلیمی (انتشار) و سناریوهای اقلیمی قابل تفکیک هستند. به طور کلی یک سناریوی غیر اقلیمی که به آن سناریوی انتشار^۱ نیز گفته می‌شود مربوط به یکی از گروه‌های A_1 ، A_2 ، B_1 و B_2 می‌باشد. به عنوان نمونه در خانواده سناریوهای گروه A_1 جهانی با رشد سریع اقتصادی، افزایش رشد جمعیت و تکنولوژی‌های جدید و کارتر در نظر گرفته شده است. دیدگاه‌ها به جای منطقه‌ای، جهانی می‌باشد و شامل سه زیر شاخه تشدید استفاده از سوخت فسیلی (A_1F_1)، استفاده از منابع انرژی غیر فسیلی (A_1T) و استفاده از منابع فسیلی و غیر فسیلی بصورت متعادل (A_1B) می‌باشد. موضوع در برگزیده خانواده سناریوهای A_2 تقویت نیروهای جمعیتی منطقه‌ای با تاکید بر ارزش خانواده‌ها و رسوم خانوادگی، رشد زیاد جمعیت و وابستگی کمتر به پیشرفت سریع اقتصادی می‌باشد. وضعیت جمعیت در خانواده سناریوهای B_1 شبیه به A_1 می‌باشد، با این تفاوت که تاکید در این سناریو بیشتر در استفاده از انرژی‌های پاک و محیط زیست می‌باشد. چون پیش‌بینی وضعیت اقلیم منطقه‌ای تحت پدیده تغییر اقلیم مشکل می‌باشد، راه جایگزین، مشخص کردن وضعیت‌های ممکن اقلیم آینده بوده که "سناریوی اقلیمی" نامیده می‌شود. در حال حاضر معتبرترین و پیشرفته‌ترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی و شبیه‌سازی سیستم اقلیم جهانی، مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس - اتمسفر گردش عمومی

جوانه بعد از این AOGCM اطلاق می‌گردد، می‌باشد (میتچل و همکاران، ۱۹۹۹؛ ویلی و هریس، ۲۰۰۶). پس از شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های گذشته توسط مدل‌های AOGCM، به منظور شبیه‌سازی وضعیت این متغیرها در دوره‌های آتی، نیاز به معرفی وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی برای این مدل‌ها می‌باشد بدین منظور از سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای (که معمولاً تا سال ۲۱۰۰ می‌باشند) استفاده می‌نمایند.

نتایج ناشی از شبیه‌سازی مدل‌های AOGCM تحت سناریوهای انتشار، سری زمانی متغیرهای اقلیمی را تا سال ۲۱۰۰ ارائه می‌دهد. کلیه پیش‌بینی‌های اولیه‌ای که توسط مدل‌های AOGCM انجام می‌گیرد در محدوده بزرگ مقیاس جغرافیایی بوده و نمی‌تواند تغییرات مربوط به اقلیم محلی و شرایط سینوپتیکی کوچک مقیاس را مورد توجه و ارزیابی قرار دهد. به همین دلیل، برای مناطقی مانند ایران از روش‌های کوچک مقیاس نمودن داده‌های مدل‌های AOGCM استفاده می‌شود.

در این روش خروجی مدل‌های AOGCM با داده‌های مشاهده‌ای تطبیق داده می‌شود. روش‌های ریز مقیاس کردن مکانی عبارتند از: روش استفاده از سلول اصلی یا روش تناسبی^۳، روش‌های آماری^۴، روش درون‌یابی اطلاعات سلول‌های مجاور^۵ و روش دینامیکی (مساح بوانی، ۱۳۸۵). پس از اینکه سناریوهای تغییر اقلیم، با استفاده از مدل‌های اقلیمی و بر اساس سناریوهای انتشار ساخته شدند، می‌توان از هر یک از این سناریوها به عنوان یکی از ورودی‌های مدل‌های رشد استفاده کرد و شبیه‌سازی روند رشد را بر اساس سناریوهای اقلیمی انجام داد و در نهایت با بررسی و تفسیر نتایج، راهکارهای مدیریتی متفاوت را برای رویارویی با عواقب هر یک از

2- Atmosphere- Ocean General Circulation Model
3 - Proportional Downscaling
4 -Statistical Downscaling
5 -Interpolating Neighbor Cells Information

1-Emission Scenario

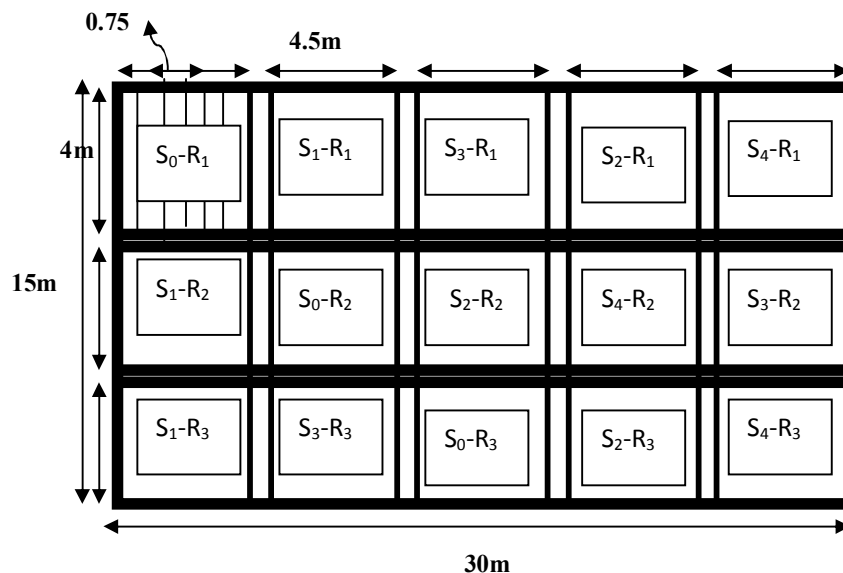
همان‌طور که نتایج تحقیقات در نقاط مختلف نشان می‌دهد، در زمینه اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت نتایج زیادی ارائه شده است، اما در رابطه با بررسی اثر شوری بر عملکرد تحت سناریوهای اقلیمی، تحقیق جامعی انجام نشده است. در این تحقیق سعی شده است که به بررسی این موضوع پرداخته شود. در این تحقیق، از سناریوهای تغییر اقلیم، به عنوان ورودی مدل AquaCrop استفاده شد. با استفاده از مدل AquaCrop اثر تنش شوری، بر روی عملکرد تحت سناریوهای اقلیمی مورد بررسی قرار گرفت، به این صورت که عملکرد برای تیمارهای مختلف آبیاری با آب شور، تحت سناریوهای اقلیمی مختلف، برای دوره‌های آبی شبیه‌سازی شد و در نهایت، مشخص گردید که کیفیت آب آبیاری در شرایط مختلف اقلیمی، چه تاثیری می‌تواند بر عملکرد داشته باشد.

مواد و روش‌ها

در ابتدا به منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop تحقیقی در مزرعه تحقیقاتی شماره یک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز با عرض شمالی ۳۱ درجه و ۱۸ دقیقه و ۱۰ ثانیه و طول شرقی ۴۸ درجه و ۳۹ دقیقه و ۴۱ ثانیه با ارتفاع حدود ۲۰ متر از سطح دریا و در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ بر روی کشت بهاره ذرت (رقم مبین) انجام شد. طرح آزمایشی مورد نظر در قالب طرح تصادفی با چهار تیمار شوری و یک تیمار شاهد (آب کارون) در سه تکرار اجرا شد. در شکل (۱) طرح آزمایشی به صورت شماتیک نشان داده شده است.

این سناریوها اعمال کرد. در زمینه‌های مختلف مباحث مربوط به تغییر اقلیم، تحقیقات گوناگونی در داخل و خارج از کشور انجام شده است. لشکری و همکاران (۱۳۹۰) در استان خراسان رضوی، به بررسی تأثیر تغییر دما و بارندگی، بر عملکرد ذرت تحت سه سناریوی A_1B ، A_2 و B_1 پرداختند. نتایج نشان داد که طی ۱۰۰ سال آینده، عملکرد ذرت به تدریج به میزان ۱ تا ۳۹ درصد نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت و تغییر تاریخ کاشت ذرت، از اردیبهشت به خرداد، برای تمام نقاط، به استثنای سبزوار، می‌تواند گزینه مناسبی برای کاهش اثر تغییر اقلیم باشد. روستایی و همکاران (۱۳۹۰)، در پاکدشت به بررسی میزان عملکرد ذرت با استفاده از مدل AquaCrop تحت سناریوی A_2 برای دوره آبی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ پرداختند. نتایج نشان داد شبیه‌سازی عملکرد برای سطوح ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد، برای تیمار آبیاری کامل، به ترتیب $7/8$ ، $6/8$ ، $6/2$ درصد و برای تیمار کم‌آبیاری، $20/7$ ، $18/9$ ، $17/8$ درصد کاهش بهره‌وری آب را نشان می‌دهد که علت آن افزایش دما و تغییرپذیری باران بوده است.

لایکسو همکاران (۲۰۱۰) در کامرون، اثر تغییر اقلیم، بر محصول ذرت در شرایط دیم تحت سناریوی انتشار A_2 ، ساپیتو همکاران (۲۰۱۲) اثر تغییر اقلیم بر روی عملکرد ذرت تابستانه و بهاره تحت سناریوهای اقلیمی، A_2 و B_1 در اروپا، واونگوو همکاران (۲۰۱۵) در بورکینافاسو اثر سناریوهای سازگاری با تغییر اقلیم، برای ذرت دیم در آفریقا و فرهنگ‌فر و همکاران (۲۰۱۵) در خراسان شمالی به بررسی میزان آسیب‌پذیری ذرت در برابر خشکی، تحت سناریوهای اقلیمی مختلف پرداختند.



شکل ۱- نقشه طرح آزمایشی

نمودند که تأثیر تغییر اقلیم بر تشعشع ورودی برای ایستگاه‌های مختلف ناچیز است. لذا، متغیرهای اقلیمی در این مطالعه عبارتند از دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش.

در این تحقیق، با توجه به موجودیت آمار متغیرهای اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۱ به عنوان دوره پایه و همچنین دو دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ به عنوان دوره‌های آتی انتخاب گردیدند. این مجموعه داده‌ها از طریق سایت مرکز توزیع داده که توسط IPCC در سال ۱۹۹۸ شکل گرفته، قابل دسترسی می‌باشد. برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل AOGCM مقادیر "اختلاف" برای دما (معادله ۱) و "نسبت" برای بارندگی (معادله ۲) بین میانگین ۳۰ ساله در دوره‌های آتی (۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰) و دوره شبیه‌سازی شده پایه (۱۹۸۱-۲۰۱۰) توسط همان مدل برای هر سلول از شبکه محاسبه می‌شود. این مقادیر بیانگر میزان میانگین ۳۰ ساله تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه می‌باشد.

$$\Delta T_i = (\bar{T}_{AOGCM, fut_i} - \bar{T}_{AOGCM, base_i}) \quad (1)$$

$$\Delta p_i = (\bar{p}_{AOGCM, fut_i} - \bar{p}_{AOGCM, base_i}) \quad (2)$$

²-<http://www.ipcc-data.org>

ابعاد کرت‌های فرعی $4 \times 4/5$ (متر در متر) و فاصله کرت‌ها یک متر در نظر گرفته شد. تیمارها شامل: ۱- تیمار شاهد (S_0): آب آبیاری با آب رودخانه کارون، ۲- تیمار (S_1): آب آبیاری با قابلیت هدایت الکتریکی $3/5$ دسی‌زیمنس بر متر ۳- تیمار (S_2): آب آبیاری با قابلیت هدایت الکتریکی $4/5$ دسی‌زیمنس بر متر. ۴- تیمار (S_3): آب آبیاری با قابلیت هدایت الکتریکی $5/5$ دسی‌زیمنس بر متر. ۵- تیمار (S_4): آب آبیاری با قابلیت هدایت الکتریکی $6/5$ دسی‌زیمنس بر متر. در مرحله بعد، از بین مدل‌های AOGCM، مدل CSIRO-MK3.5 انتخاب گردید. از بین سناریوهای انتشار نیز، سناریوهای انتشار A_1B و B_1A_2 مربوط به گزارش چهارم ارزیابی IPCC، استفاده شد. سناریوی A_2 در برگرنده بحرانی‌ترین و سناریوی B_1 در برگرنده کمترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشند. (کارگروه داده‌ها و پشتیبانی هیئت بین دول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). مشخصات مدل CSIRO-MK3.5 در جدول (۱) آورده شده است. لازم به ذکر است که کوچکی و نصبری محلاتی (۱۳۸۷) عنوان

¹- Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment (IPCC-TGICIA)

می‌باشد. استفاده مستقیم از پیش‌بینی‌های اقلیمی خروجی مدل‌های AOGCM در اتصال به برخی از مدل‌های شبیه‌سازی مانند مدل Aqua Crop که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، امکان‌پذیر نمی‌باشد. زیرا، این پیش‌بینی‌ها به صورت میانگین‌های ماهانه می‌باشند، در صورتی که مدل Aqua Crop به سری‌های زمانی روزانه آب و هوا نیازمند می‌باشد.

در روابط فوق ΔT_i و ΔP_i به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای میانگین بلندمدت ۳۰ ساله برای هر ماه ($1 \leq i \leq 12$)، میانگین بلندمدت \bar{T}_{AOGCM, fut_i} میانگین ۳۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره آتی برای هر ماه، میانگین بلندمدت $\bar{T}_{AOGCM, base_i}$ میانگین ۳۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی برای هر ماه می‌باشد. برای بارندگی نیز موارد ذکر شده برقرار

جدول ۱- مشخصات مدل CSIRO-MK3.5 مورد استفاده در این تحقیق (IPCC, AR4, 2007)

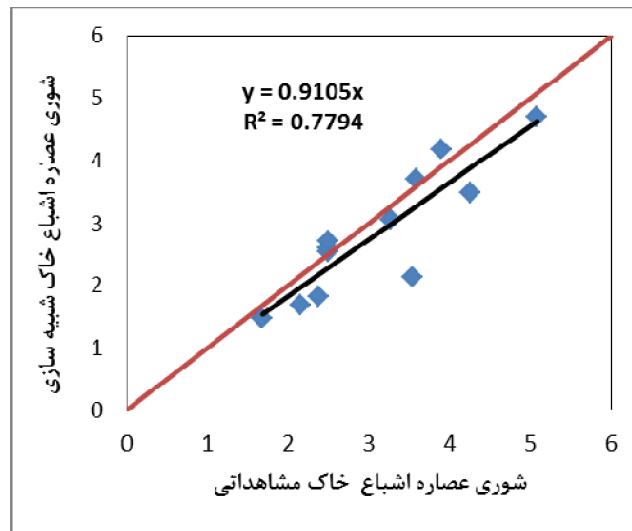
نام مدل	گروه موسس و کشور	قدرت تفکیک در اتمسفر	قدرت تفکیک در اقیانوس	سناریوهای انتشار
CSIRO-MK3.5	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) Atmospheric Research, Australia	T63 (~1.9° x 1.9°) L18	0.8° x 1.9° L31	A ₂ , B ₁ , A ₁ B

حرف و یک عدد به صورت $X_1 X_2 N$ گردید که X_1 نشان-دهنده تیمار شوری (S_0, S_1, S_2, S_3, S_4)، X_2 نشان دهنده نوع سناریوی انتشار (سناریوی انتشار $A_1 B$ و $B_1 A_2$)، در نهایت N نشان دهنده دوره آتی (N_1) نشان دهنده دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ و N_2 نشان دهنده دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ می‌باشد. پس از تولید سناریوهای تغییر اقلیم تولید شده و اعمال آن به مدل واسنجی و ارزیابی شده AquaCrop، روند رشد ذرت تحت هر یک از سناریوها شبیه‌سازی گردید و در نهایت وضعیت سناریوها از نظر مقدار عملکرد مورد بررسی قرار گرفت.

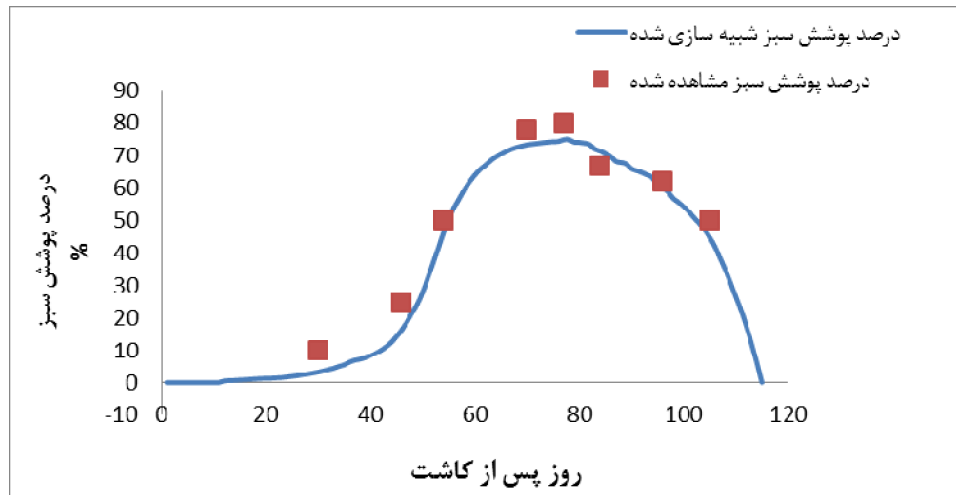
نتایج و بحث

در ابتدا با استفاده از داده‌های مشاهداتی مدل AquaCrop واسنجی و ارزیابی گردید. برای واسنجی مدل، سه سطح شوری S_0, S_1, S_4 و برای اعتبارسنجی دو سطح شوری S_2 و S_3 انتخاب گردیدند. به عنوان نمونه نتایج واسنجی مدل برای شبیه‌سازی شوری عصاره اشباع خاک در تیمار S_1 در شکل (۲) و درصد پوشش سبز گیاه در شکل (۳) ارائه شده است.

قدرت تفکیک مکانی کم مدل‌های AOGCM به این معنی است که خروجی این مدل‌ها برای استفاده مستقیم در مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه مناسب نیست. به همین دلیل، خروجی مدل‌های AOGCM نیاز به روش‌های مختلف ریزمقیاس کردن دارند. برای تولید سناریوهای اقلیمی روزانه منطقه مورد مطالعه به این صورت عمل گردید که مقادیر ΔT و ΔP (معادلات ۱ و ۲) برای مدل CSIRO-MK3.5 تحت هر یک از سناریوی انتشار $A_1 B$ و $B_1 A_2$ برای هر ماه و هر دو دوره آتی محاسبه گردید. در ادامه برای تولید داده‌های روزانه و ریزمقیاس شده اقلیمی، از مولد آب و هوای تصادفی^۱ LARS-WG استفاده گردید. توانایی و کارایی این مدل در تحقیقاتی که صورت گرفته (سمنوف و استراتونویچ، ۲۰۱۰؛ سمنوف، ۲۰۰۸؛ کاودنو همکاران، ۲۰۰۸؛ لو و همکاران، ۲۰۰۹)، به اثبات رسیده است. مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی، حداقل به داده‌های بارش، دمای حداکثر، حداقل و تابش خورشیدی نیاز دارد. برای ساخت سناریوهای تغییر اقلیم مورد نیاز مدل AquaCrop لازم است که سناریوهای بارش، دما و تابش خورشیدی با هم ترکیب شوند. برای سهولت اقدام به نامگذاری سناریوهای تغییر اقلیم با سه



شکل ۲- همبستگی بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی شوری عصاره اشباع در تیمار S₁



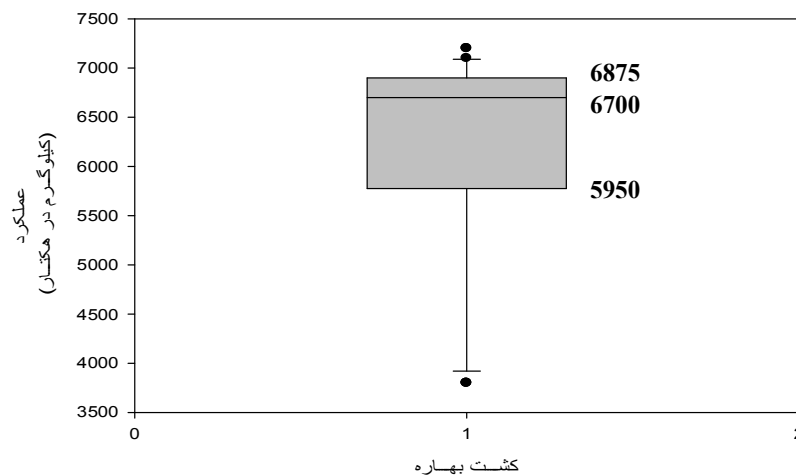
شکل ۳- مقایسه درصد پوشش سبز شبیه‌سازی و مشاهداتی در تیمار S₁ طی فرآیند واسنجی مدل

انتشار B₁ در مقایسه با سناریوی انتشار A₂، افزایش دمای جزئی را برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ برآورد نموده است. در مورد ΔP نیز سناریو B₁ نسبت به سناریوهای A₁B و A₂ اعداد بیشتری نشان داد. در دوره آبی ۲۱۰۰-۲۰۷۱ افزایش دمای بیشتری را شاهد خواهیم بود. به عنوان مثال در سناریوی A₂، مقدار دمای حداکثر و حداقل در طول سال در حادثین شرایط، ۴/۳۹ و ۴/۵۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) افزایش خواهد یافت. بیشترین میزان افزایش دمای حداکثر و حداقل در سناریوی A₂ و سپس در سناریوهای A₁B و B₁ مشاهده گردید. برخلاف دما که در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ نسبت به

نتایج واسنجی و صحت‌سنجی نشان داد مدل عملکرد و بیوماس تحت تنش شوری را با دقت خوبی شبیه‌سازی می‌کند. (خطای نسبی چهار درصد، RMSE برابر ۰/۱۵). برای شبیه‌سازی شوری عصاره اشباع خاک، خطای نسبی ۱۰/۲۳ درصد، RMSE برابر ۰/۵۳ بود. در نهایت، مدل برای رقم مبین در کشت بهاره واسنجی و صحت‌سنجی گردید. در مرحله بعد مقادیر ΔT و ΔP ماهیانه با استفاده از معادله‌های (۱) و (۲) برای مدل CSIRO-MK3.5 تحت هر سناریوی انتشار محاسبه شد. نتایج نشان داد در دوره آبی ۲۰۵۰-۲۰۲۱، تغییرات ΔT و ΔP در همه سناریوها تقریباً مشابه است. سناریوی

گردید. برای شبیه‌سازی رشد ذرت در دوره مینا، مدل AquaCrop، غلظت CO₂ را برابر با میانگین این دوره یعنی ۳۶۹/۴۷ppm در نظر گرفته است. تاریخ کشت چهار اسفند ماه برای شبیه‌سازی در این دوره انتخاب شد (تاریخ کشت متداول منطقه). پس از وارد نمودن داده‌های مورد نیاز، مدل AquaCrop برای دوره ۳۰ ساله مینا اجرا شد. به‌عنوان نمونه، نتایج حاصل از شبیه‌سازی عملکرد دانه برای تیمار S₀ در نمودارهای جعبه‌ای ارائه شده است (شکل ۴). همان‌گونه که از این نمودار مشخص است مقدار عملکرد در سال‌های مختلف به دلیل متفاوت بودن داده‌های هواشناسی نوسان دارند. در تیمار S₀، برای عملکرد دانه، میانگین عدد ۶۷۰۰ Kg/ha را نشان می‌دهد. برای سایر تیمارهای آب شور نیز، به همین روش میانگین عملکرد ذرت مربوط به دوره ۳۰ ساله مینا مشخص گردید. میانگین عملکرد در سایر تیمارها تحت سناریوی مینا، در جدول (۲) ارائه شده است. برای نشان دادن اثر تغییر اقلیم به تنهایی، این اعداد برای هر یک از تیمارهای شوری، مینای مقایسه قرار گرفتند.

دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ به صورت چشم‌گیری افزایش می‌یابد (حدود دو برابر)، مقادیر ΔP در هر دو دوره آتی تقریباً مشابه هستند، اما در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ نسبت به دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ مقادیر ΔP اندکی کاهش یافته است. در مرحله بعد برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم روزانه، از مدل LARS-WG استفاده گردید. با استفاده از مقادیر ΔTmax، ΔTmin و ΔP مربوط به هر سناریوی انتشار، سناریوهای روزانه تغییر اقلیم برای هر دو دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰) و تحت سه سناریوی انتشار (A₁B و B₁, A₂) تولید گردید. با توجه به اینکه برای هر دوره آتی پنج سناریوی شوری (S₀ تا S₄) و سه سناریوی انتشار (A₁B و B₁, A₂) وجود دارد، بنابراین برای هر دوره آتی، ۱۵ سناریوی تغییر اقلیم شکل گرفت و با توجه به دو دوره آتی، در نهایت ۳۰ سناریوی تغییر اقلیم بررسی گردید. پس از ساخته شدن سناریوهای تغییر اقلیم، با استفاده از مدل AquaCrop، ابتدا میزان عملکرد برای دوره مینا (۲۰۱۰-۱۹۸۱) و سپس برای دو دوره آتی (با در نظر گرفتن سناریوهای تغییر اقلیم) شبیه‌سازی



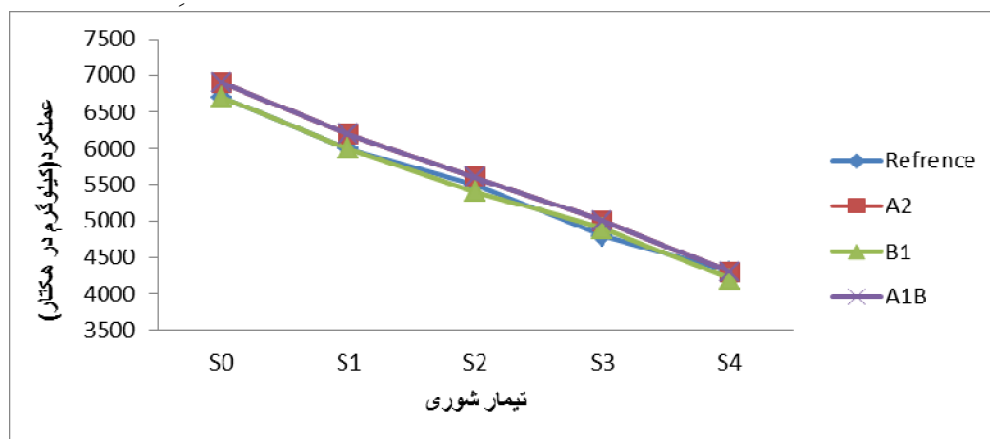
شکل ۴- نمودار جعبه‌ای عملکرد دانه شبیه‌سازی شده برای دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۱

جدول ۲- میانگین عملکرد در سناریو مینا (۲۰۱۰-۱۹۸۱) در همه تیمارهای آبیاری

S ₄	S ₃	S ₂	S ₁	S ₀	تیمار
۴۳۰۰	۴۸۰۰	۵۵۰۰	۶۰۰۰	۶۷۰۰	مقدار میانگین برای دوره سی سال عملکرد

سناریوها، از سال ۱۹۰۲ تا ۲۱۰۰ در مدل موجود می‌باشد. بنابراین به صورت پویا، می‌توان برای هر سال از غلظت CO_2 اتمسفر مربوطه، استفاده کرد و این یکی از مزایای مدل AquaCrop است. دلغندی (۱۳۹۱) برای شبیه‌سازی عملکرد گندم با مدل CRESS، از متوسط غلظت CO_2 ، تحت هر یک از سناریوهای انتشار استفاده کرد. در شکل (۵) عملکرد ذرت، تحت سناریوهای مختلف و برای تیمارهای مختلف آزمایشی (دوره آبی اول) ارائه شده است.

بدین ترتیب، عملکرد ذرت برای هر کدام از سناریوها، جداگانه توسط مدل AquaCrop شبیه‌سازی گردید. برای این منظور به‌جز داده‌های هواشناسی و غلظت CO_2 اتمسفر، بقیه داده‌های ورودی به مدل، مشابه داده‌های ورودی دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۱ بود. مقدار غلظت CO_2 اتمسفر، تحت سناریوهای A_2 ، B_1 و A_1B در مدل AquaCrop، به صورت یک بخش از فایل اقلیم تعبیه شده است. داده‌های غلظت CO_2 اتمسفر تحت هر یک از



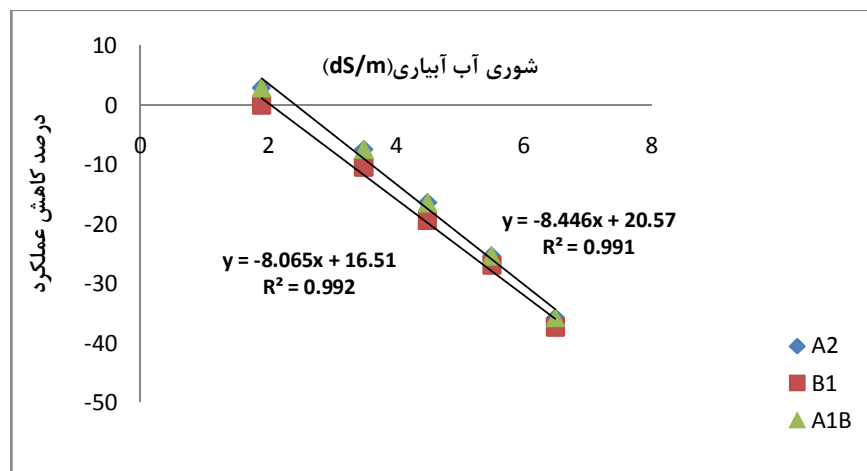
شکل ۵ - عملکرد ذرت، تحت سناریوهای مختلف و برای تیمارهای مختلف آزمایشی (دوره آبی اول)

که در سناریوی B_1 رخ داد، مشخص گردید که در کشت بهاره افزایش ۱/۶ درجه، در مراحل حساس رشد گیاه اثر منفی بر روی میزان عملکرد نداشته است (حتی باعث افزایش جزئی عملکرد نسبت به دوره مبنا نیز شده است)، این نتایج بیانگر این است که در این فصل زراعی، با وجود این مقدار افزایش دما، دمای محیط باز هم در حد دمای بهینه رشد گیاه ذرت باقی ماند و در نتیجه گیاه در مراحل حساس رشد با محدودیت مواجه نگردیده است. دلغندی (۱۳۹۱) برای گندم بهاره نتیجه گرفتند برای دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۵ بین عملکرد تحت سناریوهای A_2 و B_1 تفاوت زیادی وجود ندارد. لشگری و همکاران (۱۳۹۰) در مشهد برای کشت ذرت بهاره نتیجه گرفتند که برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ سناریوی A_2 با عملکرد ۹۰۵۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد و سپس سناریوی A_1B با عملکرد ۹۰۱۸ کیلوگرم در هکتار در مرتبه دوم و در نهایت سناریوی B_1 با عملکرد ۸۸۴۴ کیلوگرم در هکتار در رتبه

همان‌طور که شکل (۵) نشان داد، در کشت بهاره، تغییرات عملکرد در سناریوهای مختلف، بسیار ناچیز است. در این فصل کشت، سناریوی A_2 بیشترین مقدار عملکرد را به خود اختصاص داده است (تمام تیمارهای شوری). در این سناریو، عملکرد در تیمارهای شوری متفاوت، بین یک تا چهار درصد بیشتر از عملکرد سناریوی مبنا است. این شرایط برای سناریوی A_1B نیز برقرار بود. میزان عملکرد در سناریوی B_1 نیز نسبت به دوره مبنا مقدار کمی افزایش پیدا کرد، اما باز هم عملکرد در این سناریو پایین‌تر از دو سناریو دیگر است. علاوه بر اثر غلظت CO_2 ، مهمترین عامل تغییرات دما بود که باعث اختلاف (هرچند به صورت جزئی) در میزان عملکرد شده است. در این فصل کشت مرحله زایشی در ماه مه (May) رخ داد. در این ماه، میانگین دمای حداکثر در سناریوی B_1 ، ۱/۶ درجه و در سناریوهای A_2 و B_1 حدود ۱/۲ درجه افزایش یافته است. با در نظر گرفتن بیشترین افزایش دما

سناریوهای مختلف (برای هر یک از تیمارها)، نسبت به تیمار شاهد (S_0) در سناریوی مبنا، محاسبه گردید (شکل ۶). همان طور که شکل ۶ نشان می‌دهد روند تغییرات عملکرد نسبت به شوری آب آبیاری، خطی بوده و در سناریوهای مختلف، تفاوت چندانی ندارند.

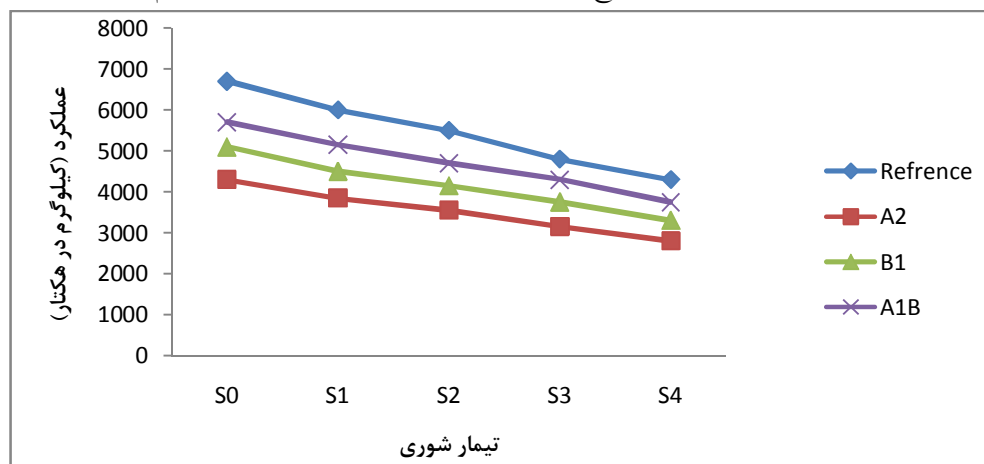
سوم قرار دارد که با نتایج این تحقیق هماهنگی دارد (همان طور که نتایج عملکرد نشان می‌دهد، تفاوت عملکرد بین سناریوهای مختلف، جزئی می‌باشد). برای نشان دادن اثر توام تغییر اقلیم و شوری بر میزان عملکرد تحت هر یک از سناریوها در دوره آبی اول، میزان کاهش عملکرد در



شکل ۶- درصد کاهش عملکرد در سناریوهای مختلف نسبت به تیمار شاهد در سناریوی مبنا در دوره اول آبی

است. در سناریوی $S_4B_1N_1$ و سناریوی $S_4(A_1B)N_1$ نیز ۳۵ درصد کاهش عملکرد رخ داد. در شکل ۷ روند تغییرات عملکرد در دوره آبی دوم ارائه شده است.

علاوه بر این، شکل ۶ نشان داد، با در نظر گرفتن اثر توام تغییر اقلیم و شوری، حادثترین شرایط، در سناریوی $S_4B_1N_1$ (۳۷ درصد کاهش عملکرد) رخ داده



شکل ۷- تغییرات عملکرد ذرت بهاره، تحت سناریوهای مختلف، برای تیمارهای مختلف آزمایشی در دوره دوم آبی

سناریوی A_1B و کمترین عملکرد تحت سناریوی A_2 رخ داد. علت افزایش عملکرد در سناریوی A_1B نسبت به سناریوی B_1 ، افزایش بیشتر غلظت CO_2 می‌باشد. در

همان طور که شکل ۷ نشان می‌دهد، در دوره دوم آبی در همه سناریوها میزان عملکرد نسبت به دوره مبنا کاهش یافت. برای همه تیمارهای شوری، بیشترین عملکرد تحت

(۲۱۰۰-۲۰۷۱) دما نسبت به دوره مبنای به صورت چشم-گیری افزایش یافت (حدود دو برابر) ولی مقادیر ΔP اندکی کاهش یافت. برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم روزانه، از مدل LARS-WG استفاده گردید. در نهایت ۳۰ سناریوی تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفت. پس از ساخته شدن سناریوهای تغییر اقلیم، با استفاده از مدل AquaCrop، میزان عملکرد برای تمام سناریوها (برای دوره ۳۰ ساله) شبیه‌سازی گردید. برای نشان دادن اثر تغییر اقلیم به تنهایی، میزان عملکرد هر تیمار تحت هر سناریو، با میزان عملکرد همان تیمار در سناریوی مبنای مقایسه گردید و نتایج نشان داد در دوره آبی اول اثر تغییر اقلیم بر روی عملکرد تحت سناریوهای مختلف ناچیز بود. با وجود این که در مراحل حساس رشد، در بیشترین مقدار، افزایش دما به مقدار ۱/۶ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت اما دمای محیط باز هم در حد دمای بهینه رشد گیاه ذرت باقی ماند و در نتیجه گیاه در مراحل حساس رشد با محدودیت مواجه نگردید.

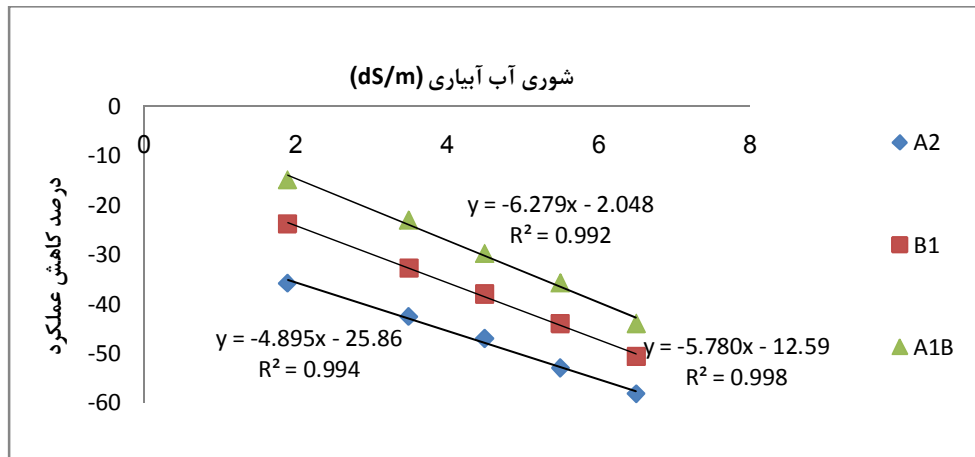
روند تغییرات عملکرد بین تیمارهای مختلف شوری، در سناریوهای مختلف نیز خطی بود. در دوره دوم آبی میزان عملکرد تحت سناریوهای مختلف نسبت به دوره مبنای کاهش یافت. به صورت میانگین در همه تیمارهای شوری، تحت سناریوی A_1B ، ۱۵ درصد، سناریوی B_1 ، ۲۴ درصد و سناریوی A_2 ، ۳۵ درصد کاهش عملکرد مشاهده گردید. علت افزایش عملکرد در A_1B نسبت به سناریوی B_1 ، افزایش بیشتر غلظت CO_2 و علت کاهش شدید عملکرد در سناریوی A_2 ، نسبت به سایر سناریوها افزایش شدید دما (بخصوص در مراحل حساس رشد) بود. برای نشان دادن اثر توأم تغییر اقلیم و شوری بر میزان عملکرد تحت هر یک از سناریوها، میزان کاهش عملکرد در سناریوهای مختلف، نسبت به تیمار شاهد (S_0) در سناریوی مبنای محاسبه گردید. نتایج نشان داد در دوره آبی اول بیشترین کاهش عملکرد به ترتیب در سناریوی $S_4B_1N_1$ (۳۷ درصد)، سناریوی $S_4B_1N_1$ و سناریوی $S_4(A_1B)N_1$ (۳۵ درصد) رخ داد. در دوره دوم

سناریوی B_1 مقدار غلظت CO_2 تا سال ۲۰۷۱ افزایش می‌یابد و سپس تا سال ۲۱۰۰ در عدد ۵۴۰ ppm ثابت باقی می‌ماند اما در سناریوی A_1B ، در پایان قرن به ۷۲۰ ppm می‌رسد. هرچند، بیشترین افزایش غلظت CO_2 در سناریوی A_2 رخ می‌دهد، اما علت کاهش عملکرد در سناریوی A_2 ، افزایش شدید دما، می‌باشد. به عنوان مثال: در سناریوی A_2 ، در ماه مه (May)، ۳/۳ درجه سانتی‌گراد، در سناریوی B_1 ۲/۷ درجه سانتی‌گراد و در سناریوی $2/3A_1B$ ۲/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش دما مشاهده گردید. کو و همکاران (۲۰۱۰)، نیز در تحقیق خود برای منطقه آریزونا^۱ ایالات متحده آمریکا عنوان نمودند تغییرات بارش اثر اندکی بر عملکرد گندم آبی در دوره‌های آبی خواهد داشت. دلفندی (۱۳۹۱) نیز برای کشت گندم آبی به همین نتیجه رسیده است. بر خلاف افزایش دما که اثری منفی بر عملکرد دارد افزایش غلظت CO_2 باعث افزایش عملکرد می‌گردد. لو و همکاران (۲۰۰۳) نیز افزایش غلظت CO_2 را عامل افزایش عملکرد در دوره‌های آبی عنوان نمودند. در شکل (۸) نیز برای نشان دادن اثر توأم شوری و تغییر اقلیم در دوره دوم آبی، میزان کاهش عملکرد در سناریوهای مختلف، نسبت به تیمار شاهد (S_0) در سناریوی مبنای ارائه شده است. روند تغییرات عملکرد در سناریوهای مختلف نسبت به شوری آب آبیاری خطی می‌باشد (شکل (۸)). با در نظر گرفتن اثر توأم تغییر اقلیم و شوری، در حادترین شرایط در سناریوی $S_4A_2N_1$ ، ۵۸ درصد کاهش عملکرد در سناریوی $S_4(A_1B)N_1$ ، ۵۰ درصد و در سناریوی و سناریوی $S_4B_1N_1$ ، ۴۴ درصد کاهش عملکرد نسبت به سناریوی مبنای (تیمار S_0) رخ داد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد در دوره آبی اول (۲۰۵۰-۲۰۲۱)، تغییرات ΔT و ΔP نسبت به دوره مبنای در همه سناریوها تقریباً مشابه بود اما در دوره آبی دوم

آتی نیز بیشترین کاهش عملکرد به ترتیب در سناریوی $S_4(A_1B)N_1$ (۵۸ درصد)، سناریوی $S_4(A_1B)N_1$ (۵۰ درصد) و در سناریوی $S_4B_1N_1$ (۴۴ درصد) رخ داد. در نهایت مشخص گردید روند تغییرات عملکرد نسبت به شوری، تحت هر یک از سناریوها به صورت خطی می-باشد



شکل ۸- درصد کاهش عملکرد در سناریوهای مختلف نسبت به تیمار شاهد در سناریوی مبنا در دوره دوم آبی

فهرست منابع

۱. دلقدی، م. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر محصول گندم و ارائه راهکارهای سازگاری با آن با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای در راستای افزایش امنیت غذایی (مطالعه موردی: دشت خوزستان). رساله دکتری. دانشگاه شهید چمران اهواز. دانشکده مهندسی علوم آب، گروه آبیاری و زهکشی.
۲. روستایی، م. سهرابی، ت. مساح بوانی، ع. و م. ص. احدی. ۱۳۹۰. بررسی عملکرد و بهره‌وری آب گیاه ذرت در سطوح مختلف ریسک تحت تأثیر تغییر اقلیم در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۶(۲): ۳۷۱-۳۶۱.
۳. کوچکی، ع. و م. نصیری محلاتی. ۱۳۸۷. تأثیر تغییر اقلیم همراه با افزایش غلظت CO_2 بر عملکرد گندم در ایران و ارزیابی راهکارهای سازگاری. پژوهش‌های زراعی ایران. ۶(۱): ۱۵۳-۱۳۹.
۴. لشکری، ا. علیزاده، ا. و م. بنایان اول. ۱۳۹۰. بررسی امکان کاهش اثر تغییر پارامترهای اقلیمی بر تولید ذرت دانه‌ای در شمال شرق ایران. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵(۴): ۹۳۹-۹۲۶.
۵. مساح بوانی، ع. ۱۳۸۵. ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب (مطالعه موردی حوضه زاینده‌رود اصفهان). رساله دکتری. پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس. تهران.
6. Cowden, J.R., Watkins, D.W. and J.R. Mihelcic. 2008. Stochastic rainfall modeling in West Africa: Parsimonious approaches for domestic rainwater harvesting assessment. *Journal of Hydrology*. 361: 64-77.
7. Farhangfar, S., Bannayan, M. and H.R. Khazaei. 2015. Vulnerability assessment of wheat and maize production affected by Drought and climate change. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 13: 37-51.
8. IPCC-TGICA. 2007. General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. eds. Carter, T.R., Version 2, 71p. Intergovernmental Panel on

- Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment.
9. Ko, J., Ahuja, L., Kimball, B., Anapalli, S., Mab, L., Green, T.R., Ruane, A.C., Wall, G.W., Pinter, P. and D.A. Bader. 2010. Simulation of free air CO₂ enriched wheat growth and interactions with water, nitrogen, and temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*. 150:1331-1346.
 10. Laux, P., Jackel, G., Tingem. R. M and H. Kunstmann. 2010. Impact of climate change on agricultural productivity under rainfed conditions in Cameroon—a method to improve attainable crop yields by planting date adaptations. *Agricultural and Forest Meteorology*. 150: 1258-1271.
 11. Luo, Q., Bellotti, W., Williams, M. and E. Wang. 2009. Adaptation to climate change of wheat growing in South Australia: Analysis of management and breeding strategies agriculture. *Ecosystems and Environment*. 129: 261–267.
 12. Luo, Q., Williams, M., Bellotti, W. and B. Bryan. 2003. Quantitative and visual assessments of climate change impacts on South Australian wheat production. *Agricultural Systems*. 77: 173-186.
 13. Mitchell, J. F. B., Johns, T.C., Eagles, M., Ingram, W.J. and R.A. Davis. 1999. Towards the Construction of Climate Change Scenarios. *Climatic Change*. 41: 547–581.
 14. Semenov, M.A. 2008. Extreme impacts of climate change on wheat in England and Wales. *Asp Appl Biol*. 88:37–38.
 15. Semenov, M.A. and P. Stratonovitch. 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Clim. Res*. 41: 1-14.
 16. Supit, I., van Diepen, C.A., de Wit, A. J.W., Wolf, J., Kabat, P., Baruth, B. and F. Ludwig. 2012. Assessing climate change effects on European crop yields using the Crop Growth Monitoring System and a weather generator. *Agricultural and Forest Meteorology*. 164: 96-111.
 17. Waongo, M., Laux, P. and H. Kunstmann. 2015. Adaptation to climate change: The impacts of optimized planting dates on attainable maize yields under rainfed conditions in Burkina Faso. *Agricultural and Forest Meteorology*. 205: 23-39.
 18. Wilby, R.L. and I. Harris. 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames. UK. Water Resources Research.