



دانشگاه گواران، دانش‌پژوهی آب

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره چهارم، ۱۳۹۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

بررسی اثر تغییر اقلیم بر مقدار نیاز خالص آبیاری محصولات عمده دشت همدان - بهار با استفاده از نتایج مدل ریزمقیاس LARS-WG5

*سمیرا اخوان^۱، محمد قباثی سوق^۲ و ابوالفضل مساعدی^۳

استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان،

استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: تغییر اقلیم و اثرات آن بر منابع آب یکی از مهم‌ترین چالش‌های فراروی بشر در قرن حاضر و آینده می‌باشد. اگرچه پژوهش‌های مختلفی در ارتباط با تغییرات پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی با استفاده از سناریوهای اقلیمی و مدل‌های GCM انجام یافته است اما تغییرات نیاز آبی و بخش کشاورزی کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته است. هدف اصلی این پژوهش بررسی تغییرات مقدار نیاز خالص آبیاری محصولات عمده کشت شده در دشت همدان - بهار شامل گندم، جو، سیب‌زمینی، چغندر قند، ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای، نخود و پیاز در سه دهه آتی بر پایه سناریوهای مختلف در مقایسه با دوره پایه با استفاده از مدل LARS-WG5 می‌باشد.

مواد و روش‌ها: داده‌های مورد نیاز در این پژوهش، شامل مقادیر روزانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعت آفتابی ایستگاه سینوپتیک همدان (فرودگاه) طی دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۱) می‌باشند که از مرکز اطلاعات و آمار سازمان هواشناسی کشور اخذ گردیدند. ابتدا توانایی مدل LARS-WG5 برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دمای حداقل و حداکثر، تابش خورشیدی و بارش ایستگاه سینوپتیک همدان در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) بررسی و تأیید گردید. سپس با استفاده از داده‌های مدل HadCM3، مقادیر آن‌ها در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ بر پایه سناریوهای انتشار A₁B، A₂ و B₁ شبیه‌سازی شدند. در ادامه با محاسبه مقدار بارش مؤثر، مقدار نیاز خالص آبیاری محصولات مورد بررسی در مقیاس ماهانه برای دوره‌های پایه و سه دهه آینده برآورد و تغییرات آن‌ها در مقایسه با یکدیگر ارزیابی شدند.

یافته‌ها: براساس نتایج پیش‌بینی مدل LARS-WG5، در سه دهه آتی نسبت به دوره پایه طبق سناریوهای A₁B، A₂ و B₁ دما به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۸۸ و ۰/۷۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه به ترتیب ۲/۱، ۵/۹ و ۱۰/۲ درصد افزایش می‌یابند. نتایج نشان می‌دهد که میانگین بارش ماه‌های اکتبر، دسامبر و فوریه در هر سه سناریو افزایش و میانگین بارش ماه‌های مارس، آوریل و مه در سناریوهای A₂ و B₁ کاهش خواهد یافت. همچنین، محتمل است مجموع مقدار نیاز خالص آبیاری محصولات بررسی شده دشت همدان - بهار طی ۳۰ سال آینده براساس سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه بین ۲/۶ تا ۲۸/۲ میلی‌متر افزایش یابد. بر پایه سناریوی A₂ نیاز خالص آبیاری گیاهان زارعی گندم و جو دارای کم‌ترین مقدار افزایش و گیاهان چغندر قند و سیب‌زمینی دارای بیش‌ترین مقدار افزایش می‌باشند.

* مسئول مکاتبه: s.akhavan@basu.ac.ir

نتیجه‌گیری: بر پایه سناریوی محتمل A₂ مجموع نیاز خالص آبیاری گیاهان زراعی چغندر قند، گندم، جو، سیب‌زمینی، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، نخود و پیاز در ۳۰ سال آینده به ترتیب به مقدار ۲۶۷، ۷۵، ۵۷، ۲۷۵، ۲۵۰، ۱۵۳، ۱۴۵ و ۲۲۴ مترمکعب در هکتار نسبت به دوره پایه به‌طور متوسط افزایش خواهد یافت. به‌طور کلی با توجه به تغییرات افزایشی مقدار نیاز خالص آبیاری محصولات مختلف مورد بررسی، به‌گزینی الگوی کشت متناسب با تغییرات اقلیمی ضروری است.

واژه‌های کلیدی: سناریوهای تغییر اقلیم، مدل LARS-WG5، نیاز خالص آبیاری، دشت همدان - بهار

مقدمه

بررسی وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان می‌دهد که پس از انقلاب صنعتی، به‌دلیل توسعه روزافزون صنایع و به سبب آن افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی، غلظت آن‌ها به‌خصوص میزان گاز دی‌اکسیدکربن افزایش یافته است که این امر گرم شدن زمین را موجب شده است. گرم شدن کره زمین که از اواخر قرن نوزدهم آغاز شده و انتظار می‌رود که در سال‌های آینده نیز ادامه پیدا کند بر وضعیت دیگر اجزاء چرخه اقلیمی اثر گذاشته و پدیده تغییر اقلیم را به همراه داشته است. تغییر اقلیم عبارتست از تغییرات در میانگین و دامنه مشخصه‌های اقلیمی در منطقه‌ای خاص و یا سراسر جهان در مقایسه با رفتاری که در طول یک افق زمانی بلندمدت از اطلاعات مشاهداتی آن منطقه مورد انتظار است، به‌نحوی که این تغییرات برای مدتی در حدود چند دهه یا بیش‌تر ادامه داشته باشد (14).

در فرآیند پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم، ابتدا سناریوهایی برای انتشار گازهای گلخانه‌ای بر مبنای شرایط اقتصادی - اجتماعی کشورها در سال‌های آینده تعریف می‌شود. سپس این سناریوها در مدل‌های جفت‌شده اقیانوس - اتمسفر چرخش عمومی جو^۱ (AOGCM) تحلیل می‌شوند و اطلاعاتی در مورد متغیرهای اقلیمی در سرتاسر کره زمین و با مقیاس

بزرگ به‌دست می‌آید. سپس از طریق ریزمقیاس نمایی، این داده‌ها به اطلاعاتی در مقیاس حوضه آبریز تبدیل می‌شوند (24).

پدیده تغییر اقلیم می‌تواند با تغییر در مقدار تبخیر و تعرق گیاهان و مدت، شدت و زمان بارش‌ها، عملکرد محصولات و همچنین تقاضای آب در بخش کشاورزی را تحت‌تأثیر قرار دهد (20). نیاز خالص آبیاری^۲ (IR) به مقدار تبخیر و تعرق (ET_o) و بارش مؤثر بستگی دارد. تبخیر و تعرق به‌عنوان متغیری اقلیمی، خود متأثر از تغییر برخی پارامترهای هواشناسی نظیر دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشیدی می‌باشد. از طرف دیگر هر گونه تغییر در مقدار، الگو و توزیع مکانی و زمانی بارش‌ها نیز می‌تواند بر مقدار نیاز خالص آبیاری تأثیر به‌سزایی داشته باشد.

در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در ارتباط با تغییر پارامترهای مختلف هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از مدل‌های مولد اقلیمی در مناطق مختلف جهان صورت گرفته است. بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که در ارتباط با تأثیر تغییر اقلیم بر بخش‌های مرتبط با کشاورزی پژوهش‌های نسبتاً کمی انجام شده است.

آبرها و ساوج (2006) نشان دادند در اثر تغییر اقلیم افزایش شدیدی در متغیرهای دمای حداقل و

2- Net irrigation requirement

1- Atmosphere-Ocean General Circulation Model

ایستگاه سینوپتیک سنندج در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۹ به پیش‌بینی آن‌ها بر مبنای سناریوی A_2 در ۲۰ سال آینده پرداختند. براساس نتایج آن‌ها مقدار میانگین دمای حداقل و حداکثر و بارش نسبت به دوره پایه به ترتیب $۰/۹۲$ و $۰/۹۳$ درجه سانتی‌گراد و ۶ میلی‌متر افزایش می‌یابد، ضمن آن‌که مقدار تابش خورشیدی به مقدار $۰/۰۳$ میلی‌ژول بر مترمربع کاهش می‌یابد (15).

اشرف و همکاران (2012) تغییرات نیاز آبی گندم و چغندرقد را در دشت‌های منتخب استان خراسان رضوی تحت سه سناریوی A_1B ، B_1 و A_2 در دو دهه آینده با استفاده از مدل LARS-WG بررسی کردند. براساس نتایج آن‌ها دمای حداقل و حداکثر در تمام دشت‌های مورد بررسی افزایش می‌یابد ضمن آن‌که مقدار بارش نیز در تمام دشت‌ها به جز تربت‌جام افزایش خواهد یافت. نتایج ایشان نشان می‌دهد اگرچه در برخی از دشت‌ها مقدار نیاز آبی با افزایش معادل ۱۸ درصد و در تعدادی دیگری با کاهشی تا ۱۵ درصد نسبت به دوره پایه مواجه خواهد شد ولی به‌طورکلی تغییرات محسوس در مقدار نیاز آبی گیاهان زراعی مورد بررسی در ۲۰ سال آینده در بیش‌تر دشت‌های منتخب مورد بررسی مشاهده نخواهد شد (7). آشفته (2012) با استفاده از مدل HadCM3 و مدل ریزمقیاس LARS-WG تحت سناریوی A_2 ، اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبی و ریسک تغییرات تقاضای آبی محصولات کشاورزی در شبکه آبیاری آیدوغموش برای دوره ۲۰۲۶ تا ۲۰۳۹ را بررسی نمود. بر پایه نتایج وی دما بین ۱ تا $۱/۸$ درجه سانتی‌گراد و بارش به‌میزان ۲۸ تا ۳۳ درصد نسبت به دوره پایه افزایش و بر پایه ریسک‌های ۲۵ و ۵۰ درصد میزان نیاز آبی محصولات به مقدار ۱۳ و ۱۰ درصد افزایش می‌یابد (6).

احترامیان و همکاران (2012) اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم در منطقه مشهد را با استفاده از مدل

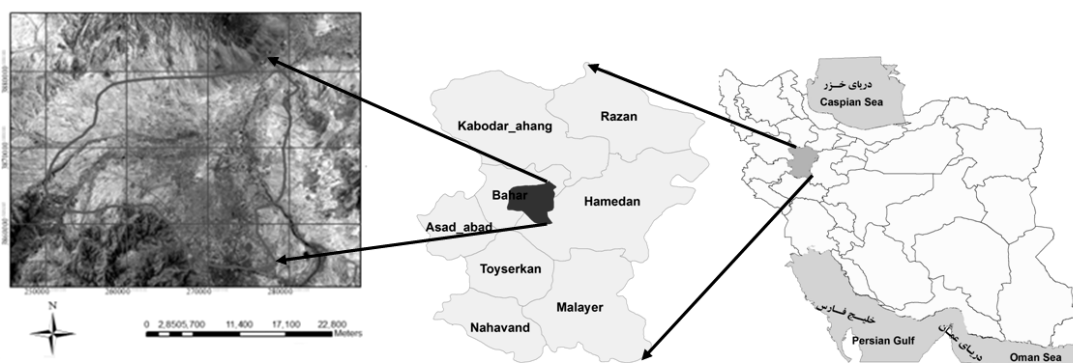
حداکثر و بارش در جنوب آفریقا پدید می‌آید و عملکرد ذرت بیش‌تر متأثر از افزایش دما خواهد بود (1). هارمن و همکاران (2009) اثر تغییر اقلیم بر مقدار تبخیر و تعرق، بارش، کمبود بارش و کاهش عملکرد نسبی محصول را در سه منطقه از غرب پورتوریکو تحت سناریوهای B_1 ، A_2 و A_1F بررسی نمودند. آن‌ها نشان دادند که در اثر تغییرات اقلیمی رطوبت فصل‌های بارانی بیش‌تر و فصل‌های خشک کم‌تر می‌گردد. بررسی میانگین ۲۰ ساله بارش طی ماه سپتامبر در تمامی مناطق تحت سناریوهای بررسی شده بین ۱۲۱ تا ۳۲۱ میلی‌متر افزایش و در ماه فوریه به مقدار ۲۷ تا ۷۷ میلی‌متر کاهش می‌یابد. همچنین نتایج بررسی کاهش عملکرد نسبی محصول براساس سناریوی B_1 تغییر معنی‌داری در آینده را نشان نداد اما در سناریوی A_1F افزایش معناداری (بیش از ۲۰ درصد) برای دوره مه/ژوئن را نشان داد و در ماه سپتامبر برای تمامی سناریوها کاهش عملکرد نسبی محصول گزارش شد (13). گوا و همکاران (2010) گزارش دادند که تحت سناریوهای A_2 ، B_2 و A_1B داده‌های مدل چرخش عمومی (HadCM3)^۱ میانگین عملکرد گندم و ذرت در دشت‌های شمال چین به ترتیب $۹/۸$ و $۳/۲$ درصد افزایش می‌یابد (12). علیزاده و همکاران (2010) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق حوضه آبریز رودخانه کشف رود با ریزمقیاس نمودن خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوی A_2 و برای سه دوره ۳۰ ساله در آینده پرداختند. آن‌ها نشان دادند که در اثر افزایش دما میزان تبخیر-تعرق در تمامی ماه‌ها برای هر سه دوره مورد بررسی افزایش خواهد یافت (3). خلیلی‌اقدم و همکاران (2013) پژوهشی با تأیید توانایی مدل LARS-WG برای شبیه‌سازی اقلیمی متغیرهای دما، تابش و بارش در

بنابراین پدیده تغییر اقلیم و اثرات آن، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدیریت منابع آب در قرن حاضر شناخته می‌شود. پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نظر گرفتن راهکارهای مناسب همواره مورد توجه متخصصان علوم مختلف می‌باشد. با توجه به اثرات وسیع تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی و متفاوت بودن نتایج پژوهش‌های انجام شده در مناطق مختلف، هدف این پژوهش بررسی تغییرات اقلیمی در محدوده همدان طی دوره ۳۰ ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ و اثر این تغییرات بر نیاز خالص آبیاری گیاهان زراعی عمده دشت همدان- بهار طبق سناریوهای مختلف اقلیمی در این دوره می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد بررسی و داده‌های مورد استفاده: دشت همدان- بهار با وسعتی بالغ بر ۵۳۶ کیلومتر مربع در دامنه شمالی ارتفاعات الوند در استان همدان قرار دارد (شکل ۱). ایستگاه هواشناسی واقع در منطقه مورد مطالعه، ایستگاه سینوپتیک همدان (فرودگاه) می‌باشد که در مدار ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۷۴۱ متر از سطح دریا قرار دارد. براساس نمودار اقلیمی آمبرژه، اقلیم منطقه نیمه‌خشک سرد با میانگین دمای حداقل ۲/۸ درجه سانتی‌گراد و حداکثر ۱۹/۲ درجه سانتی‌گراد و بارش بلندمدت سالانه ۳۱۲/۳ میلی‌متر است. داده‌های مورد نیاز در این پژوهش، شامل مقادیر روزانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعت آفتابی ایستگاه سینوپتیک همدان (فرودگاه) طی دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۱) می‌باشند که از مرکز اطلاعات و آمار سازمان هواشناسی کشور اخذ گردیدند.

HadCM3 و نتایج مدل LARS-WG بر طبق سه سناریوی A_1B ، B_1 و A_2 در سه دوره ۳۰ ساله در آینده بررسی نمودند. بر طبق نتایج آن‌ها کاهش عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه در ارتباط شدید با سناریوهای اقلیمی است و براساس سناریوی A_2 بیش‌ترین کاهش عملکرد گندم به میزان ۵۷ درصد نسبت به دوره پایه متعلق به دوره سوم می‌باشد (11). بنایان و رضائی (2012) عملکرد گندم را تحت شرایط تغییر اقلیم برای دوره‌های آتی در استان خراسان ارزیابی نمودند. آن‌ها مقادیر متغیرهای اقلیمی را با استفاده از مدل LARS-WG طبق سناریوهای اقلیمی برای دوره‌های آتی شبیه‌سازی و مقدار عملکرد گندم را بر مبنای آن‌ها برآورد نمودند. براساس یافته‌های آن‌ها بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه و مقدار بارش در دوره رشد تحت سناریوی B_1 برآورد شد در حالی که مقدار عملکرد گندم بر مبنای سناریوهای A_2 و A_1B به شدت (۵۷ درصد) کاهش می‌یابد و تغییرات اقلیمی بر مقدار تبخیر و تعرق در دوره رشد گندم تأثیر چندانی ندارد (8). ولی‌زاده و همکاران (2014) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دوره بلوغ، شاخص سطح برگ، عملکرد کل و عملکرد دانه برای گندم با استفاده از دو مدل HadCM3 و IPCM4 تحت سناریوهای A_1B ، B_1 و A_2 برای سه دوره زمانی ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ در سیستان و بلوچستان پرداختند. براساس نتایج آن‌ها طول دوره‌های رشد در تمامی سناریوها نسبت به شرایط فعلی کاهش می‌یابند که ناشی از افزایش دما می‌باشد. همچنین عملکرد و عملکرد بیولوژیکی گندم در هر دو مدل جوی مطابق سناریوهای تغییر اقلیم در تمامی دوره‌ها کاهش می‌یابند به طوری که کم‌ترین مقدار کاهش مربوط به سناریوی B_1 می‌باشد (23).



شکل ۱- موقعیت دشت همدان- بهار در استان همدان و پهنه ایران.

Figure 1. The location of Hamadan –Bahar plain in Hamadan province and Iran.

اطمینان کافی برای استفاده از پیش‌دیده‌های این مدل‌ها برای صده آینده را فراهم می‌کنند. مدل کاهش مقیاس LARS-WG توسط راسکو و همکاران (1991) و زمنف و بارو (1997) به‌عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی در کشور مجارستان ارائه گردید که برای شبیه‌سازی مقادیر روزانه متغیرهای دمای حداقل و حداکثر، بارش و تابش یا ساعت آفتابی به‌کار می‌رود. در این مدل داده‌های بارش روزانه در هر ماه با استفاده از زنجیره مارکوف مرتبه اول مورد بررسی و از داده‌های تحلیل شده به‌منظور تعیین مشخصات آماری نظیر تعداد روزهای خشک و تر، میانگین و توزیع بارش‌های روزانه در هر ماه از سال استفاده می‌شوند. مدل LARS-WG برای هر یک از متغیرهای دمای حداقل و حداکثر، تابش خورشیدی و تعداد ساعات آفتابی توزیع نیمه‌تجربی جداگانه‌ای در نظر می‌گیرد. در مدل فرض بر این است که دما دارای توزیع نرمال بوده و متوسط و انحراف معیار دمای روزانه مطابق با سری فوریه محدود تغییر می‌کند. برای دماهای حداکثر و حداقل، فرض می‌شود که خود همبستگی زمانی در طول سال برای یک ایستگاه معین به‌صورت ثابت باشد. برای تابش خورشیدی نیز، توزیع‌های

تراکم کشت در دشت همدان- بهار به‌دلیل کشت دو محصول در سال از جمله گندم و جو در زمستان و سیب‌زمینی، ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای و سبزیجات در تابستان نسبتاً بالا و بین ۶۳ تا ۷۵ درصد است. براساس تلفیق اطلاعات ماهواره‌ای و منطقه‌ای بیش‌ترین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در دشت همدان- بهار به گندم اختصاص دارد که در سطحی بالغ بر ۸۵۵۴ هکتار به‌صورت دیم و آبی کشت می‌شود. سطح زیرکشت سایر محصولات عمده شامل: جو ۲۴۸۹ هکتار، حبوبات ۲۳۰ هکتار، محصولات جالیزی ۹۰۶ هکتار، علوفه ۶۴۸۳ هکتار، سیر ۵۲۹ هکتار، سیب‌زمینی ۴۸۹۷ هکتار، سبزیجات ۱۱ هکتار، چغندر قند ۵۶۶ هکتار، دانه‌های روغنی ۸ هکتار، ذرت دانه‌ای ۷۳ هکتار و سایر نباتات علوفه‌ای ۵ هکتار می‌باشند (5).

مدل ریزمقیاس LARS-WG در سال‌های اخیر مراکز پژوهشی کشورهای مختلف نظیر آمریکا، کانادا، استرالیا، ژاپن، چین، نروژ، آلمان، کره جنوبی، فرانسه انگلستان و روسیه، مدل‌های مختلف GCM را برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی توسعه دادند (IPCC, 2007). نتایج بررسی دقت این مدل‌ها نشان می‌دهد که این مدل‌ها حدی از دقت را برخوردارند که

اقلیمی صورت می‌پذیرد. در این مرحله، مدل با استفاده از رفتار متغیرها در دوره پایه و ریزمقیاس آماری داده‌های یک مدل چرخش عمومی جو، پارامترهای اقلیمی آینده را در حد مقیاس منطقه مورد مطالعه (ایستگاه‌های هواشناسی)، شبیه‌سازی می‌کند. مدل LARS-WG5 شامل اطلاعات مدل‌های مختلف چرخش عمومی جو می‌باشد که در این پژوهش از داده‌های مدل HadCM3 به‌عنوان یکی از مدل‌های جفت شده اقیانوسی-جوی، استفاده شد.

سناریوهای انتشار: به‌طورکلی یک سناریوی انتشار، حاوی اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی-اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین است. این سناریوها هر چند در سال‌های اولیه شروع مطالعات مرتبط با تغییر اقلیم تنوع زیادی داشتند اما در گزارش‌های اخیر IPCC محدود به چهار سناریوی اصلی A_1 ، A_2 ، B_1 و B_2 از دسته سناریوهای 'SRES' هستند. سناریوهای مورد استفاده در این پژوهش شامل سه سناریوی A_1B ، A_2 و B_1 هستند که به شرح زیر می‌باشند:

سناریوی A_1 با فرض توسعه اقتصادی بسیار سریع جهان پایه‌ریزی شده است. در این سناریو جمعیت جهان در اواسط قرن ۲۱ به حداکثر خود می‌رسد و سپس رو به کاهش می‌گذارد. فناوری‌های جدید با راندمان بالاتری به سرعت توسعه می‌یابند و توسعه‌های سیاسی، اجتماعی و فرهنگی منجر به کاهش اختلاف درآمد سرانه در مناطق مختلف می‌شوند. این سناریو دارای سه سناریو زیرمجموعه به نام‌های A_1F_1 ، A_1T و A_1B می‌باشد که جهت‌گیری‌های محتمل را در زمینه راندمان استفاده از انرژی در فناوری‌های در حال توسعه نشان می‌دهند. در سناریوی A_1B تأکید بر توازن بین استفاده از سوخت‌های فسیلی و غیرفسیلی است.

نیمه‌تجربی با بازه‌های مساوی مورد استفاده قرار می‌گیرد (19). لازم به ذکر است در نسخه ویرایش شده مدل (LARS-WG5) که در این پژوهش از آن استفاده شده است شبیه‌سازی تمامی متغیرهای هواشناسی بر مبنای توزیع‌های نیمه‌تجربی صورت می‌گیرد.

شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ توسط مدل LARS-WG5: در شبیه‌سازی اقلیمی، مدل‌های چرخش عمومی برای افق‌های یک فصل تا یک قرن اجرا و تغییرات اقلیمی و آب و هوایی را پیش‌بینی می‌کنند. مدل مولد اقلیمی LARS-WG5 از سه بخش اصلی شامل: واسنجی، ارزیابی و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی دهه‌های آینده تشکیل شده است. نیاز اساسی مدل در مرحله واسنجی، فایلی است که مشخص‌کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته می‌باشد. این فایل با استفاده از داده‌های روزانه بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی یا تابش خورشیدی دوره پایه برای ایستگاه مورد بررسی تهیه شده و مدل براساس آن اجرا می‌شود. در مرحله بعد با استفاده از آماره‌های خطا اقدام به ارزیابی و صحت‌سنجی داده‌های تولید شده توسط مدل و داده‌های واقعی (مشاهده شده) موجود در دوره پایه می‌گردد. در این پژوهش به‌منظور ارزیابی نتایج شبیه‌سازی شده و واقعی در دوره پایه از آماره‌های خطاسنجی شامل ضریب تعیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و میانگین خطای مطلق (MAE) استفاده شده است. همچنین برای آزمون معنی‌داری تفاوت میانگین‌های ماهانه شبیه‌سازی شده و داده‌های واقعی از آزمون t -استیودنت استفاده شده است.

پس از کنترل و تأیید توانایی مدل LARS-WG5 در شبیه‌سازی رفتار متغیرهای اقلیمی در دوره پایه، شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی برای دوره‌های آینده براساس داده‌های یک مدل GCM و سناریوهای

$$HS = 0.0023 \frac{R_a}{\lambda} (T_{mean} + 17.8) \sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (2)$$

سازمان فائو در نشریه ۵۶ روش‌های استاندارد جهت تخمین تابش خورشیدی و فشار بخار واقعی ارائه نموده است که به کمک آن‌ها می‌توان پارامترهای تابش خورشیدی و رطوبت نسبی مورد نیاز معادله FPM را در شرایط نبود پارامترهای مذکور برآورد نمود (4). برای تخمین تابش خورشیدی با استفاده از داده‌های دمایی، رابطه ۳ به کار می‌رود.

$$R_s = 0.16 R_a \sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (3)$$

در صورت نبود داده‌های رطوبت نسبی (RH)، با فرض این‌که دمای نقطه شبنم نزدیک به دمای حداقل روزانه T_{min} است فشار بخار واقعی e_a ، از رابطه ۵ به جای رابطه ۴ در روش FPM برآورد می‌شود.

$$e_a = \frac{RH}{100} \left[\frac{e_s(T_{min}) + e_s(T_{max})}{2} \right] \quad (4)$$

$$e_a = 0.611 \exp \frac{17.27 T_{min}}{T_{min} + 237.3} \quad (5)$$

در روش FPM با برآورد مقدار e_a از رابطه ۵، روش FPM_{RHest} و با برآورد مقدار تابش خورشیدی از رابطه ۳ و مقدار e_a از رابطه ۵، روش $FPM_{RSRHest}$ توسعه داده شدند و در کنار روش HS جهت برآورد ET_0 مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

نمادهای به کار رفته در روابط ۱ تا ۵ به شرح زیر می‌باشند: T_{min} : دمای حداقل روزانه ($^{\circ}C$), T_{max} : دمای حداکثر روزانه ($^{\circ}C$), T_{mean} : میانگین دمای روزانه ($^{\circ}C$), λ : گرمای نهان تبخیر ($MJ Kg^{-1}$), Δ : شیب منحنی فشار بخار اشباع ($kPa C^{-1}$), R_n : تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJ m^{-2} d^{-1}$), G : چگالی شار گرمای خاک ($MJ m^{-2} d^{-1}$).

سناریوی A_2 بر فرض جهانی نامتنجانس پی‌ریزی شده است. در این سناریو الگوهای توسعه جمعیت با روند بسیار کندی همگرایی پیدا می‌کنند که منجر به بروز روند پیوسته رشد جمعیت می‌شود و روند توسعه اقتصادی و میزان سرانه رشد اقتصادی و توسعه فناوری‌ها در مناطق مختلف بسیار متفاوت خواهد بود.

سناریوی خوش‌بینانه B_1 با فرض جهانی متنجانس فرموله شده که در آن روند رشد جمعیت جهان مشابه سناریو A_1 است، ساختارهای اقتصادی به سرعت در جهت ارائه خدمات و اطلاعات تغییر پیدا می‌کند و استفاده از مواد خام کاهش و فناوری‌های پاک به سرعت توسعه می‌یابند.

محاسبه تبخیر- تعرق مرجع: از میان روش‌های ارائه شده برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع (ET_0), روش فائو پنمن-مانیتث (FPM) با درجه اعتماد بالایی در دامنه وسیعی از مناطق و اقلیم‌ها برآورد صحیحی از ET_0 ارائه می‌کند (رابطه ۱) و از سوی سازمان FAO به‌عنوان تنها روش استاندارد برای محاسبه ET_0 از روی داده‌های اقلیمی و همچنین برای ارزیابی سایر روش‌ها پیشنهاد شده است.

$$FPM = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma (900 / (T + 273)) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

هارگریوز-سامانی (HS) در سال ۱۹۸۵ با فرض آن‌که دما و تابش برون‌زمینی مهم‌ترین پارامترهای موثر بر ET_0 می‌باشند رابطه ۲ را برای محاسبه ET_0 پیشنهاد دادند. براساس نتایج دین‌پژوه (2006) در مناطق غرب و شمال‌غرب کشور روش HS در مقایسه با روش‌های ترنت-وایت اصلاح‌شده و لینیاکر از دقت بالاتری جهت تخمین ET_0 در مقیاس ماهانه برخوردار می‌باشد (۹).

بررسی شامل گندم و جو از گیاهان زراعی زمستانه و محصولات بهاره شامل سیب‌زمینی، چغندر قند، ذرت علوفه‌ای و دانه‌ای، نخود و پیاز می‌باشند. محصولات انتخاب شده براساس سطح زیرکشت جزء عمده‌ترین محصولات کشت شده در دشت همدان- بهار می‌باشند. با تعیین طول دوره‌های رشد و ضرایب گیاهی مربوطه، با ضرب ضریب گیاهی به دست آمده برای هر روز در مقدار تبخیر و تعرق همان روز مقدار نیاز آبی آن روز از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$ET_C = K_C \times ET_0 \quad (6)$$

نیاز خالص آبیاری (IR) از تفاوت تبخیر و تعرق گیاهی (ET_C) و بارش مؤثر (P_{eff}) برای هر ماه از رابطه ۷ محاسبه می‌شود (۱۰):

$$IR = ET_C - P_{eff} \quad (7)$$

از دیدگاه متخصصین آبیاری، بارش مؤثر بخشی از بارش است که در منطقه توسعه ریشه‌ها ذخیره شده و به مصرف گیاه می‌رسد. برای محاسبه بارش مؤثر در هر ماه از روابط ارائه شده در روش SCS (روابط ۸ و ۹) استفاده شده است.

$$P_{eff} = P/125 \times (125 - 0.2 \times P) \quad P \leq 250mm \quad (8)$$

$$P_{eff} = 125 + 0.1 \times P \quad P > 250mm \quad (9)$$

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی مدل مولد داده LARS-WG در شبیه‌سازی اقلیم فعلی: نتایج مقادیر میانگین ماهانه متغیرهای دما، تابش خورشیدی و بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل و مشاهده شده در دوره پایه (۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰) به همراه نتایج ارزیابی آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. براساس نتایج این جدول، مقادیر

R_a : تابش برون‌زمینی ($MJ \ m^{-2} \ d^{-1}$)، γ : ضریب سایکرومتری رطوبتی ($kPa \ C^{-1}$)، U_2 : سرعت باد در ارتفاع دو متری ($m \ s^{-1}$)، e_s : فشار بخار اشباع (kPa)، e_a : فشار بخار واقعی (kPa)، e_{sTmin} : فشار بخار اشباع در دمای حداقل روزانه (kPa)، e_{sTmax} : فشار بخار اشباع در دمای حداکثر روزانه (kPa) و RH: متوسط رطوبت نسبی روزانه (% (16)).

همان‌طور که بیان گردید در صورتی که پارامترهای دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی به‌طور کامل اندازه‌گیری شده باشند، بهترین روش برآورد ET_0 روش FPM می‌باشد. در غیر این صورت باید با توجه به نوع داده‌های اندازه‌گیری شده، روش‌های مختلف برآورد ET_0 با مرجع قرار دادن روش استاندارد FPM بر مبنای آماره‌های خطا، ارزیابی و بهترین روش انتخاب گردد. با توجه به این که در مدل LARS-WG شبیه‌سازی اقلیمی تنها برای متغیرهای دمای حداقل و حداکثر و ساعات آفتابی انجام می‌گیرد، از اینرو در این پژوهش، معادلات هارگریوز-سامانی، FPM_{RHest} و $FPM_{RSRHest}$ براساس آماره‌های خطا، ارزیابی و بهترین روش برآورد ET_0 در دوره پایه و سه دهه آتی تعیین گردید.

محاسبه نیاز خالص آبیاری: گیاهان در طول دوره‌های رشد خود ضرایب گیاهی K_c متفاوتی دارند و بر این اساس دوره رشد آن‌ها به ۴ مرحله تقسیم می‌شود. طول دوره‌های رشد بستگی به نوع ارقام گیاهی داشته و از روی اطلاعات محلی به دست می‌آید. در این پژوهش تاریخ کاشت، طول مراحل ۴ گانه دوره‌های رشد و ضرایب گیاهی محصولات مختلف از اطلاعات مجموعه نرم‌افزارهای نیاز آبی گیاهان OPTIWAT (2) استخراج گردید که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. محصولات مورد

سناریوهای A_1B ، A_2 و B_1 استفاده گردید. با توجه به نبود داده‌های تابش خورشیدی، از داده‌های ساعات آفتابی در بخش ورودی مدل استفاده گردید که مدل برای محاسبه مقادیر تابش خورشیدی از رابطه انگستروم- پرسکات با ضرایب تجربی a برابر با $0/25$ و b برابر با $0/50$ استفاده می‌کند (۴).

میانگین مقادیر ماهانه متغیرهای اقلیمی دمای حداقل، دمای حداکثر، تابش خورشیدی و بارش در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ براساس سناریوهای A_1B ، A_2 و B_1 محاسبه گردید که نمودار آن‌ها به ترتیب در شکل‌های ۲ تا ۵ نشان داده شده‌اند. در شکل‌های مذکور، جهت درک بهتر تغییرات اقلیمی آینده، مقادیر میانگین ماهانه داده‌های اقلیمی دوره پایه نیز آورده شده است. براساس نتایج شکل ۲، میانگین دمای حداقل شبیه‌سازی شده براساس هر سه سناریو در مقایسه با دوره پایه برای تمام ماه‌های سال دارای افزایش می‌باشد، به طوری که میانگین این افزایش به‌ازای سناریوهای ذکر شده به ترتیب برابر $0/79$ ، $0/85$ و $0/75$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بیش‌ترین مقدار افزایش دما در هر سه سناریو متعلق به ماه ژوئیه می‌باشد. شکل ۳ روند افزایشی مشابهی را برای مقدار دمای حداکثر در تمامی ماه‌های سال بر طبق هر سه سناریو نسبت به دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ را نشان می‌دهد. به‌طورکلی بر پایه نتایج پیش‌بینی مدل LARS-WG5 مقدار میانگین متوسط دما در سه سناریوی A_1B ، A_2 و B_1 نسبت به دوره پایه به ترتیب برابر $0/77$ ، $0/88$ و $0/78$ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. تغییرات مقدار تابش خورشیدی در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه تقریباً ناچیز می‌باشد (شکل ۴) به طوری که بیش‌ترین مقدار مربوط به سناریوی A_1B در ماه مارس با مقدار $0/7$ مگاژول بر مترمربع می‌باشد. در سناریوی A_2 نیز بیش‌ترین تغییرات مربوط به ماه‌های مارس و نوامبر می‌باشد.

میانگین دمای حداقل و حداکثر شبیه‌سازی شده تطابق نسبتاً بالایی با مقادیر مشاهداتی در دوره پایه دارند، هر چند این تطابق برای داده‌های دمای حداقل بیش‌تر می‌باشد. به طوری که مقدار R^2 برای هر دو متغیر برابر $0/999$ و مقدار RMSE به ترتیب برابر $0/173$ و $0/243$ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. علاوه بر آن اختلاف میانگین‌های متغیرهای دمای حداقل و حداکثر در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند. بررسی میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده و واقعی تابش خورشیدی در دوره پایه نشان می‌دهد که داده‌های مذکور تطابق خوبی با هم دارند، هر چند براساس مقادیر P-value در آزمون t - استیودنت در ماه‌های مارس، ژوئیه و نوامبر مقدار اختلاف میانگین‌های تابش خورشیدی در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشند. با وجود آن که بارش از تغییرپذیرترین متغیرهای اقلیمی می‌باشد، اما بررسی مقادیر میانگین بارش شبیه‌سازی شده تطابق خوبی با مقادیر مشاهداتی دارند به طوری که مقدار R^2 برابر $0/987$ به دست آمد. برای متغیر بارش بیش‌ترین اختلاف مربوط به ماه مارس می‌باشد که در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. همان‌طور که نشان داده شد تفاوت معنی‌داری در نتایج شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی مورد استفاده از نظر میانگین در ماه‌های مختلف در سطح معنی‌داری ۵ درصد مشاهده نشد و مقدار R^2 در همه موارد به یک نزدیک (بالاتر از $0/987$) و مقادیر سایر آماره‌های خطا نیز نسبتاً کوچک هستند که همگی بیانگر دقت بالای مدل در شبیه‌سازی رفتار اقلیمی متغیرهای مورد بررسی در دوره پایه می‌باشد.

نتایج شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی:
با تأیید توانایی مدل LARS-WG5 در شبیه‌سازی داده‌های دوره پایه، از آن برای شبیه‌سازی مقادیر روزانه داده‌های اقلیمی دمای حداقل و حداکثر، تابش خورشیدی و بارش در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ براساس

(2013) در ایستگاه سنندج (افزایش دما و بارندگی در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۹).

نتایج مقایسه چگونگی تغییر متغیرهای بارش و دما در دهه‌های آتی با نتایج روند تغییر آن‌ها طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۵ در ایستگاه همدان (نوزده) به شرح زیر می‌باشد: طبری و همکاران (2011) روند افزایشی معنی‌داری در سطوح اعتماد ۹۹ و ۹۵ درصد برای متغیرهای دمای میانگین و دمای حداقل در مقیاس سالانه گزارش کردند. این در حالی است که برای متغیرهای بارندگی و دمای حداکثر به ترتیب با شیب افزایشی منفی و مثبت روند معنی‌دار مشخصی در سطوح اعتماد ذکر شده بیان نکردند. تغییر افزایشی مقادیر دمای حداقل و حداکثر به دست آمده در این پژوهش برای دهه‌های آتی در تطابق با نتایج شیب افزایشی متغیرهای دمای حداقل، میانگین و حداکثر در دهه‌های پیشین می‌باشد اما نتایج افزایش مقدار بارندگی با نتایج شیب کاهشی مقدار بارش (22) در مقیاس سالانه مطابقت ندارد. طبری و حسین‌زاده‌طلائی (2011) روند معنی‌دار افزایشی یا کاهشی برای متغیر بارش در هیچ‌یک از مقیاس‌های فصلی زمستان، پاییز، بهار و تابستان براساس آزمون من-کندال در سطوح اعتماد ۹۹ و ۹۵ درصد مشاهده نکردند. اما براساس نتایج آن‌ها شیب تغییرات بارش برای فصل‌های پاییز و تابستان مثبت و برای فصل‌های زمستان و بهار منفی به دست آمد (21). روند کلی افزایش مقدار بارش طی فصل‌های تابستان و پاییز و کاهش بارش‌های فصل بهار در تطابق با نتایج به دست آمده از مدل ریز مقیاس استفاده شده می‌باشد.

بررسی نتایج شکل ۵ نشان می‌دهد که در ماه‌های اکتبر، دسامبر و فوریه به‌طور مشخص مقدار بارش در دهه‌های آتی نسبت به دوره پایه در هر سه سناریو به‌ویژه سناریوهای A_2 و B_1 افزایش می‌یابد. بررسی میانگین تغییرات بارش در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر بیانگر تغییرات افزایشی و کاهش متفاوت و نسبتاً نامحسوس طی ماه‌های مذکور است. بررسی بارش‌های بهاره (مارس، آوریل و مه) در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۱) در سناریوهای A_2 و B_1 روند کاهش دارند. در حالت کلی میانگین بارش سالانه در سه دهه آتی نسبت به وضعیت قبلی طبق سه سناریوی بررسی شده افزایش می‌یابد، به طوری که میزان این افزایش نسبت به دوره پایه براساس سناریوهای A_1B ، A_2 و B_1 به ترتیب برابر $2/1$ ، $9/5$ و $2/10$ درصد می‌باشد.

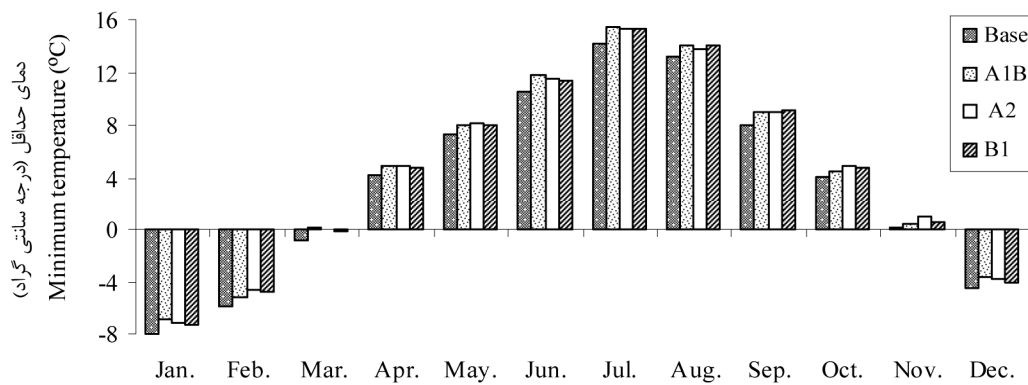
چگونگی تغییرات پارامترهای اقلیمی دما و بارش شبیه‌سازی شده با نتایج به دست آمده از سایر پژوهشگران تا حد زیادی مطابقت دارد. از جمله می‌توان به این موارد اشاره نمود: علیزاده و همکاران (2010) در حوضه کشف‌رود (افزایش دما و به تبع آن افزایش تبخیر و تعرق)، سلیمانی‌ننادرگانی و همکاران (2011) در بهشهر (افزایش دما تا سال ۲۱۰۰ به مقدار ۱ تا ۲ درجه و افزایش بارندگی‌ها در فصل پاییز و کاهش در فصل‌های زمستان و بهار)، اشرف و همکاران (2012) در استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی (افزایش دمای حداقل و حداکثر و بارش)، آشفته (2012) در شبکه آبیاری آیدوغموش (افزایش دما بین ۱ تا $1/8$ درجه سانتی‌گراد و بارش به میزان ۲۸ تا ۳۳ درصد) و خلیلی‌اقدم و همکاران

جدول ۱- ضرایب گیاهی و طول مراحل مختلف رشد محصولات عمده در دشت بهار- همدان (۲).

مجموع Total	Duration of various growth stage (Day)				Individual crop coefficient			دوره رشد Season growth	محصول Crop
	پایانی End	میانی Mid	توسعه Development	آغازین Initial	پایانی End	میانی Mid	آغازین Initial		
230	30	60	130	20	0.20	1.10	0.15	۱۱ اکتبر تا ۱۱ ژوئن 11 Oct. – 11 Jun.	گندم Wheat
240	30	50	130	20	0.15	1.10	0.15	۱۱ اکتبر تا ۳۱ مه 11 Oct. – 31 May.	جو Barley
154	33	55	36	30	0.65	1.10	0.15	۱ آوریل تا ۳۱ ژوئیه 1 Apr. – 31 July.	سیب زمینی Potato
175	44	60	46	25	0.50	1.15	0.15	۱ آوریل تا ۲۱ سپتامبر 1 Apr. – 21 Sep.	چغندر قند Sugar beat
133	33	45	35	20	0.50	1.15	0.15	۲۱ آوریل تا ۳۱ اوت 21 Apr. – 31 Aug.	ذرت دانه‌ای Maize (grain)
134	33	45	36	20	0.50	1.15	0.15	۱۱ مه تا ۲۱ سپتامبر 11 May – 21 Sep.	ذرت علوفه‌ای Maize (Grass)
112	32	35	30	15	0.20	1.05	0.15	۲۱ مارس تا ۱۰ ژوئیه 21 Mar. – 10 Jul.	نخود Pea
164	44	70	35	15	0.65	0.95	0.15	۱ مه تا ۱۰ اکتبر 1 May. – 10 Oct.	پیاز Onion

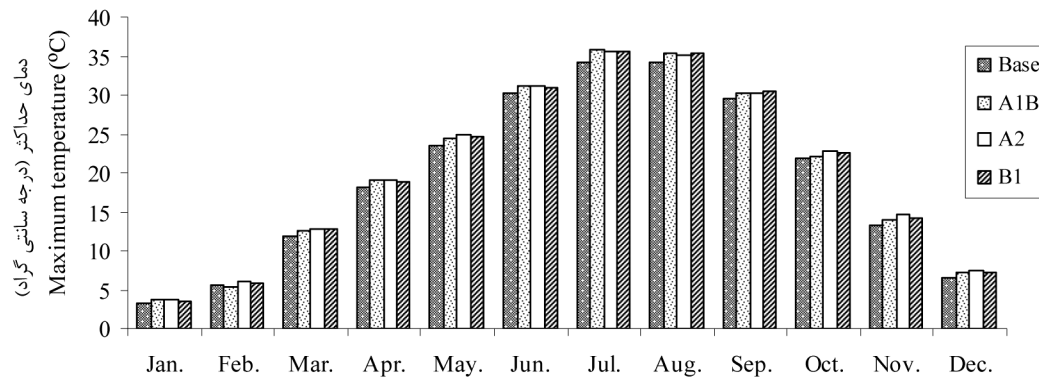
جدول ۲- ارزیابی مدل LARS-WG5 در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) با استفاده از آماره‌های ارزیابی خطا.

میانگین بارش		میانگین تابش خورشیدی		میانگین دمای حداکثر		میانگین دمای حداقل		P-Value	P-Value	P-Value	Time (month)
Average of Precipitation (mm)		Solar radiation (MJ m ⁻² d ⁻¹)		Average of T _{max}		Average of T _{min}					
P-Value	مشاهداتی	پیش‌بینی	مشاهداتی	پیش‌بینی	مشاهداتی	پیش‌بینی	مشاهداتی	پیش‌بینی	مشاهداتی	پیش‌بینی	زمان (ماه)
0.81	33.40	34.35	8.41	8.30	2.81	3.17	0.55	0.79	0.79	-8.13	January
0.99	41.53	41.49	11.04	11.19	5.76	5.51	0.68	0.61	0.61	-5.53	February
0.27	45.64	52.08	15.77	15.05	12.00	11.80	0.69	0.68	0.68	-0.96	March
0.70	50.00	47.68	19.01	19.08	18.11	18.20	0.77	0.60	0.60	4.017	April
0.91	27.09	26.54	24.00	23.81	23.81	23.42	0.16	0.88	0.88	7.35	May
0.80	3.07	3.36	28.20	28.24	30.01	30.30	0.19	0.81	0.81	10.55	June
0.83	3.77	3.36	27.61	27.24	34.55	34.29	0.10	0.93	0.93	14.77	July
0.75	2.75	2.06	25.21	25.06	34.33	34.19	0.43	0.43	0.43	12.98	August
0.94	1.46	1.51	21.39	21.42	29.67	29.52	0.41	0.21	0.21	8.24	September
0.70	22.10	24.39	15.17	15.20	21.61	21.95	0.27	0.59	0.59	3.96	October
0.92	40.19	39.45	10.31	9.82	13.30	13.36	0.85	0.55	0.55	1.01	November
0.70	40.50	42.93	7.45	7.27	6.58	6.51	0.89	0.47	0.47	-4.13	December
	0.987		0.998		0.999		0.999		0.999		R ²
	2.245		0.293		0.243		0.243		0.173		RMSE
	0.641		-0.158		-0.027		-0.027		-0.001		MBE
	1.433		0.211		0.217		0.217		0.146		MAE



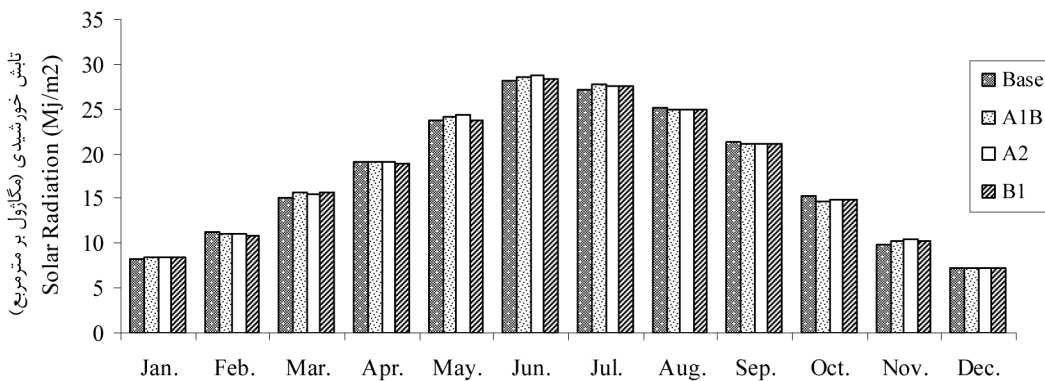
شکل ۲- مقایسه میانگین ماهانه دمای حداقل در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ براساس سناریوهای A₁B، A₂ و B₁ با دوره پایه.

Figure 2. Comparison of mean monthly minimum temperature for 2011-2040 period based on A₁B, A₂ and B₁ scenarios and baseline period.



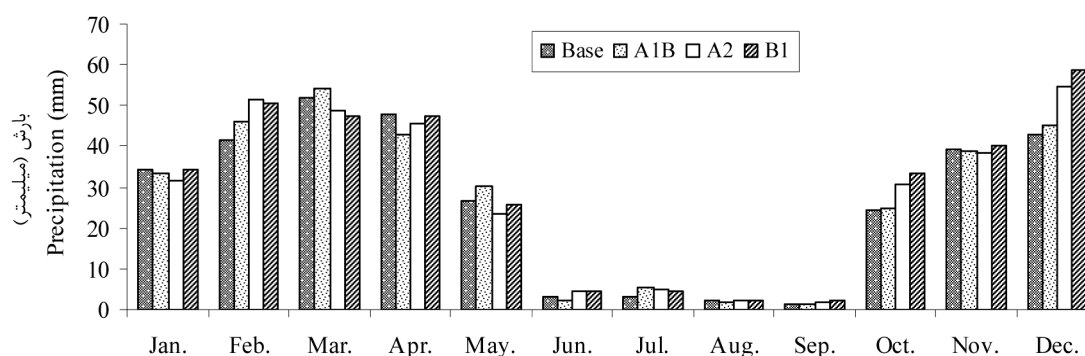
شکل ۳- مقایسه میانگین ماهانه دمای حداکثر در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ براساس سناریوهای A₁B، A₂ و B₁ با دوره پایه.

Figure 3. Comparison of mean monthly maximum temperature for 2011-2040 period based on A₁B, A₂ and B₁ scenarios and baseline period.



شکل ۴- مقایسه میانگین ماهانه تابش خورشیدی در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ براساس سناریوهای A₁B، A₂ و B₁ با دوره پایه.

Figure 4. Comparison of mean monthly solar radiation for 2011-2040 period based on A₁B, A₂ and B₁ scenarios and baseline period.



شکل ۵- مقایسه میانگین ماهانه بارش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ براساس سناریوهای A₁B، A₂ و B₁ با دوره پایه.

Figure 5. Comparison of mean monthly precipitation for 2011-2040 period based on A₁B, A₂ and B₁ scenarios and baseline period.

بر پایه نتایج آن مدل‌های مبتنی بر روش FPM با متغیرهای برآوردی نسبت به روش HS از مقدار ضریب تبیین بیشتر و مقادیر RMSE، MBE و MAE کوچک‌تری برخوردارند که نشانگر دقت و صحت بیشتر آن‌هاست. بنابراین، روش FPM_{RHest} به‌عنوان مناسب‌ترین روش برآورد مقدار ET₀ در ایستگاه مورد بررسی انتخاب و مقادیر ET₀ در دوره پایه و سه دهه آتی از روش FPM_{RHest} محاسبه شدند.

نتایج ارزیابی معادلات برآورد تبخیر و تعرق: به‌منظور ارزیابی معادلات مختلف برآورد ET₀، ابتدا در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) تمامی ماه‌هایی که در آن‌ها پارامترهای مورد نیاز روش FPM به‌طور کامل اندازه‌گیری شده بودند، تعیین و مقادیر ET₀ با استفاده از روش‌های HS، FPM_{RHest} و FPM_{RsRHest} محاسبه گردید. در ادامه با ارزیابی معادلات مذکور بر مبنای روش FPM، بهترین روش برآورد انتخاب گردید که نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- ارزیابی معادلات مختلف برآورد ET₀ در دوره پایه با مرجع قرار دادن روش استاندارد فانو پنمن - مانتیث.

Table 3. Evaluation of different equations for ET₀ estimation in the baseline period using FAO-Penman Monteith as a standard method.

معادلات Equations	متغیرهای هواشناسی Metrological variables	آماره‌های ارزیابی Statistic error			
		R ²	RMSE	MBE	MAE
HS	دمای حداقل و حداکثر T _{min} , T _{max}	0.935	1.183	-0.828	0.841
FPM _{RHest}	دمای حداقل و حداکثر و تابش خورشیدی T _{min} , T _{max} , R _S	0.946	0.500	-0.234	0.347
FPM _{RsRHest}	دمای حداقل و حداکثر T _{min} , T _{max}	0.944	0.658	-0.392	0.458

روز در مقدار ET₀ همان روز (رابطه ۶) مقدار نیاز آبی آن روز محاسبه گردید. در ادامه مقادیر نیاز آبی ماهانه در دوره رشد برای محصولات مختلف محاسبه

نتایج برآورد نیاز خالص آبیاری: جهت محاسبه نیاز آبی محصولات مختلف در دوره پایه و نیز سه دهه آینده با ضرب ضریب گیاهی به‌دست آمده برای هر

مقدار نیاز خالص آبیاری سیب‌زمینی در سه دهه آینده نسبت به دوره فعلی طبق هر سه سناریو در تمامی ماه‌های رشد افزایش می‌یابد (شکل ۶- b). مقدار نیاز خالص آبیاری در ماه آوریل که منطبق با دوره آغازین رشد می‌باشد تقریباً ناچیز است. نتایج شکل ۷ برای محصول سیب‌زمینی نشان می‌دهد که مجموع نیاز خالص آبیاری در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ بر مبنای سناریوهای A_1B ، A_2 و B_1 به ترتیب به مقدار ۲۸/۲، ۲۷/۵ و ۲۴/۷ میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد.

گیاه زراعی نخود در ۲۱ ماه مارس کشت و پس از ۱۱۲ روز در ۱۰ ژوئیه برداشت می‌شود. مجموع نیاز خالص آبیاری آن در دوره پایه برابر ۲۷۴ میلی‌متر می‌باشد که بیش‌ترین نیاز آبیاری مربوط به ماه‌های مه و ژوئن می‌باشد که مقارن با دوره رشد میانی و بخش‌هایی از دوره‌های رشد توسعه و پایانی می‌باشند (شکل ۶- c). در گیاه نخود نیاز آبیاری در ماه آوریل بر خلاف دو گیاه سیب‌زمینی و چغندر قند که تقریباً ناچیز است، از مقدار قابل توجهی (به‌طور متوسط ۱۳ میلی‌متر) برخوردار است. این امر به دلیل آن است که ماه آوریل در گیاه نخود مقارن با روزهای زیادی از دوره رشد توسعه است که در آن مقدار ضریب گیاهی به‌طور خطی به سمت ۱/۰۵ نزدیک می‌شود در حالی که در دو گیاه دیگر ماه آوریل مقارن با دوره رشد آغازین می‌باشد که مقدار ضریب گیاهی آن برابر ۰/۱۵ می‌باشد. به‌طور کلی مجموع نیاز خالص آبیاری این گیاه بر مبنای سه سناریوی A_1B ، A_2 و B_1 در سه دهه آینده نسبت به وضعیت فعلی نیز به‌میزان ۱۴/۰، ۱۴/۵ و ۱۰/۵ میلی‌متر افزایش خواهد یافت (شکل ۷). گیاهان زراعی جو و گندم در ردیف گیاهان زمستانه قرار دارند که در ۱۱ اکتبر کشت و دارای طول دوره رشدی برابر با ۲۳۰ و ۲۴۰ روز می‌باشند به‌طوری‌که جو در انتهای ماه مه و گندم در ۱۱ ماه

شد و با استفاده از روابط ۸ و ۹ مقدار بارش مؤثر در هر ماه نیز به‌دست آمد و در نهایت با استفاده از رابطه ۷، مقدار نیاز خالص آبیاری برای هر محصول در دوره رشد آن در هر ماه محاسبه شد. نتایج محاسبه مقادیر نیاز خالص آبیاری محصولات چغندر قند، سیب‌زمینی، نخود، جو، ذرت دانه‌ای، گندم، ذرت علوفه‌ای و پیاز به‌عنوان محصولات عمده دشت همدان- بهار در دوره پایه (۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰) و دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ بر مبنای سه سناریوی A_1B ، A_2 و B_1 در طول دوره رشد هر محصول به‌ترتیب در شکل‌های ۶ (a) تا ۶ (h) ترسیم شده‌اند. همچنین به‌منظور مقایسه و درک بهتر تغییرات اقلیمی، مجموع نیاز خالص آبیاری برای محصولات مورد بررسی در دوره پایه و دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ بر مبنای سناریوهای A_1B ، A_2 و B_1 محاسبه و مقدار اختلاف مجموع نیاز خالص آبیاری در دوره رشد هر محصول نسبت به دوره پایه بر مبنای هر یک از سناریوها محاسبه گردید که مقادیر آن در شکل ۷ ترسیم و نشان داده شده است.

در دشت همدان- بهار محصول چغندر قند در ابتدای ماه آوریل کشت و دوره رشد آن تا ۲۱ سپتامبر ادامه دارد (مجموعاً ۱۷۵ روز). براساس اطلاعات دوره پایه مجموع نیاز خالص آبیاری این محصول برابر ۶۷۵ میلی‌متر به‌دست آمد که بر پایه نتایج سناریوهای A_1B ، A_2 و B_1 در سه دهه آینده به‌ترتیب ۲۷/۳، ۲۶/۷ و ۲۴/۰ میلی‌متر افزایش خواهد یافت.

دوره رشد محصول سیب‌زمینی مجموعاً ۱۵۵ روز می‌باشد و در روز اول آوریل کشت و پایان اوت برداشت می‌شود (جدول ۳). مجموع نیاز خالص آبیاری طی دوره رشد براساس اطلاعات دوره پایه ۵۶۶ میلی‌متر (۵۶۶۰ مترمکعب بر هکتار) می‌باشد که بیش‌ترین نیاز به مراحل توسعه و میانی اختصاص دارد. براساس نتایج پیش‌بینی مدل LARS-WG

پياز در اول ماه مه کشت و در طول یک دوره رشد برابر با ۱۶۴ روز در ۱۰ اکتبر برداشت می‌شود. مجموع نیاز خالص آبیاری طی دوره رشد ۵۸۰ میلی‌متر می‌باشد که بیش‌ترین مقدار آن به مرحله میانی رشد اختصاص دارد. مقدار نیاز خالص آبیاری این گیاه نیز همانند گیاهان زارعی دیگر مورد بررسی در تمامی ماه‌های دوره رشد بر طبق سه سناریوی به‌کار گرفته شده افزایش می‌یابد (شکل ۶-h) به‌طوری‌که مجموع مقدار نیاز آبی آن در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۴۰ در مقایسه با دوره پایه براساس سناریوهای A_1B ، A_2 و B_1 به ترتیب ۲۲/۳، ۲۲/۴ و ۲۰/۸ میلی‌متر افزایش می‌یابد (شکل ۷).

با بررسی نتایج ارائه شده در شکل‌های ۶ (a) تا ۶ (h) و شکل ۷ می‌توان بیان داشت که مقدار نیاز خالص آبیاری محصولات بهاره شامل سیب‌زمینی، چغندر قند، ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای، نخود و پیاز در سه دهه آینده در تمامی ماه‌های دوره رشد خود بر طبق هر سه سناریوی به‌کار گرفته شده در مقایسه با دوره پایه افزایش خواهند یافت. این در حالی است که این موضوع برای گیاهان زمستانه گندم و جو در ماه‌های اکتبر تا مارس برای هیچ‌یک از سناریوها (به‌جز سناریوی A_2 در ماه مارس) صادق نمی‌باشد و مقدار نیاز خالص آبیاری طی ماه‌های مذکور نسبت به دوره پایه کاهش یافته است اما برای گیاه جو در ماه‌های آوریل و مه و برای گیاه گندم در ماه‌های آوریل، مه و ژوئن مطابق محصولات بهاره مقدار نیاز خالص آبیاری بر طبق هر سه سناریو افزایش می‌یابد. در زیر به تحلیل نتایج فوق و نتایج نیاز آبیاری محصولات مختلف پرداخته می‌شود:

به‌طور کلی افزایش مقدار دما و کاهش مقدار بارش سبب افزایش مقدار نیاز خالص آبیاری می‌شوند. اثر افزایشی دما طی ماه‌های سرد سال در گیاهان کشت زمستانه باعث افزایش دمای خاک و بهبود شرایط

ژوئن برداشت می‌شود. مجموع نیاز خالص آبیاری جو و گندم در طول دوره رشد بر پایه اطلاعات دوره پایه به‌ترتیب برابر با ۱۵۵ و ۲۰۱ میلی‌متر به‌دست آمد که براساس نتایج شکل ۷ تحت سناریوهای تغییر اقلیم A_1B ، A_2 و B_1 مقدار آن برای جو به‌ترتیب به مقدار ۴/۱، ۵/۷ و ۲/۶ میلی‌متر و برای گندم به‌ترتیب ۶/۰، ۷/۵ و ۳/۷ میلی‌متر در ۳۰ سال آینده افزایش می‌یابد. مقدار نیاز خالص آبیاری گندم و جو طی ماه‌های اکتبر تا مارس بر طبق سناریوهای مورد بررسی نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد (شکل‌های ۶-d و ۶-f). در این ماه‌ها که معادل دوره‌های رشد آغازین و توسعه می‌باشند مقدار نیاز خالص آبیاری نسبتاً کم می‌باشد. در سایر ماه‌های دوره رشد که سهم بسیار بیشتری از مقدار نیاز خالص آبیاری را به خود اختصاص دادند بر طبق هر سه سناریو مقدار نیاز آبی افزایش می‌یابد.

طول دوره رشد ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای تقریباً برابر (۱۳۳ روز) می‌باشد، با این تفاوت که ذرت علوفه‌ای تقریباً ۲۰ روز با تأخیر نسبت به ذرت دانه‌ای در ۱۱ ماه مه کشت می‌گردد. مجموع نیاز آبیاری ذرت دانه‌ای برابر ۵۳۳ میلی‌متر به‌دست آمد که نسبت به ذرت علوفه‌ای (۵۴۸ میلی‌متر) مقدار کم‌تری است که دلیل آن قرار گرفتن دوره‌های رشد ذرت علوفه‌ای در ماه‌هایی با مقدار ET_0 بیش‌تر است. مقدار نیاز خالص آبیاری برای ذرت دانه‌ای در تمامی ماه‌های دوره رشد تحت سناریوهای A_1B ، A_2 و B_1 دارای مقدار افزایشی است (شکل ۶-e) به‌طوری‌که افزایش نیاز خالص آبیاری برای سه دهه آینده به‌ترتیب برای سناریوهای ذکر شده برابر با ۲۵/۴، ۲۵/۰ و ۲۲/۷ میلی‌متر به‌دست آمد. مقدار افزایش نیاز آبیاری برای ذرت علوفه‌ای تحت سناریوهای مذکور نیز به‌ترتیب برابر ۱۵/۵، ۱۵/۳ و ۱۴/۶ میلی‌متر برآورد شد (شکل ۷).

توجه به این که بیشترین سهم نیاز آبی گیاهان کشت بهاره مربوط به ماههای ژوئن، ژوئیه و اوت (مراحل میانی رشد) می باشد و با توجه به درصدهای افزایش مقدار نیاز آبیاری گیاهان مختلف (شکل ۷) می توان نتیجه گیری نمود که نقش افزایش دما در افزایش نیاز آبیاری گیاهان کشت بهاره بیش تر از بارندگی می باشد هر چند که بخشی از افزایش نیاز آبیاری ناشی از کاهش مقدار بارندگی در ماههای آوریل و مه که منطبق بر دوره های رشد ابتدایی و بخشی از دوره توسعه می باشد که سهم کمتری در نیاز آبیاری محصولات بهاره دارند.

مقایسه نتایج تغییرات نیاز آبیاری به دست آمده برای محصولات مختلف با نتایج سایر پژوهشگران نشان می دهد افزایش مقدار نیاز آبیاری محصولات کشت بهاره در اثر تغییر افزایشی دما با نتایج آبرها و ساوج (2006) که نشان دادند تغییر عملکرد ذرت در آفریقا بیش تر متأثر از افزایش دما خواهد بود، مطابقت دارد (1). اشرف و همکاران (2012) تغییرات افزایشی و کاهش مقدار نیاز آبی محصولات گندم و چغندر قند را برای برخی از دشت های استان های خراسان (خراسان های شمالی، رضوی و جنوبی) گزارش کردند (7) که در این پژوهش تغییرات نیاز آبی این گیاهان از نوع افزایشی بوده است. کاهش عملکرد گندم در پژوهش های احترامیان و همکاران (2012)، ولی زاده و همکاران (2014) و بنایان و رضائی (2012) پیش بینی شده است که با نتایج این پژوهش مبنی بر پیش بینی افزایش نیاز آبیاری گیاهان گندم و جو و به تبع آن کاهش عملکرد آنها تا حدودی همخوانی دارد.

نتیجه گیری کلی

در این پژوهش اثرات تغییر اقلیم بر مقدار نیاز آبی محصولات عمده دشت بهار-همدان در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ مورد بررسی قرار گرفت. به منظور

رشد می شود از طرف دیگر افزایش آن طی ماه های گرم سال سبب افزایش تبخیر و تعرق و به تبع آن نیاز آبیاری می شود. براساس نتایج شکل های ۲ و ۳، مقدار میانگین دمای متوسط (میانگین دمای حداقل و حداکثر) برای تمامی ماه های سال نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت و بیشترین افزایش آن طی ماه های مه و ژوئیه و کمترین آن طی ماه های ژانویه، دسامبر و اکتبر می باشد. از طرف دیگر مقدار بارش طی ماه های اکتبر، دسامبر و فوریه افزایش و طی ماه های مارس، آوریل و مه (سناریوهای A_2 و B_1) کاهش می یابد. ماه هایی که بیشترین مقدار افزایش بارش و کمترین مقدار تغییرات دما در آنها به وقوع خواهد پیوست در مراحل ابتدایی و توسعه رشد محصولات گندم و جو واقع شده اند، این موضوع سبب کاهش نیاز آبیاری گیاهان مذکور طی این ماه ها و کاهش محسوس افزایش نیاز آبیاری در دوره رشد آنها شده است.

در محصولات بهاره دوره کشت از ماه آوریل شروع و تا ماه اکتبر ادامه می یابد. مقدار بارش طی ماه های مارس، آوریل و مه نسبت به دوره پایه کاهش و برای ماه های ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر افزایش می یابد (شکل ۴). کاهش مقدار بارش طی ماه آوریل و ماه مه که منطبق بر مرحله ابتدایی و بخشی از مرحله توسعه رشد بسیاری از محصولات مورد بررسی می باشد، سبب افزایش نیاز آبیاری آنها می شود. از طرف دیگر افزایش مقدار بارش طی ماه های ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر که تنها ۱۰ میلی متر از کل بارندگی (میلی متر) را شامل می شوند نمی تواند سبب کاهش قابل توجه نیاز آبیاری شود. از طرف دیگر بیشترین افزایش دما طی ماه ژوئیه رخ می دهد. ماه ژوئیه منطبق بر مرحله میانی رشد محصولات بهاره می باشد که طی آن دارای بیشترین نیاز آبی هستند. این موضوع نیز باعث تشدید افزایش نیاز آبیاری محصولات کشت بهاره می شود. بنابراین با

است در متوسط جهانی هم این سناریو به وقوع پیوندد. از این رو بر مبنای نتایج این سناریو، مجموع نیاز خالص آبیاری گیاهان زراعی چغندر قند، گندم، جو، سیب‌زمینی، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، نخود و پیاز در ۳۰ سال آینده به ترتیب به مقدار ۲۶۷، ۷۵، ۵۷، ۲۷۵، ۲۵۰، ۱۵۳، ۱۴۵ و ۲۲۴ مترمکعب در هکتار نسبت به دوره پایه به‌طور متوسط افزایش خواهد یافت. بررسی نیاز خالص آبیاری محصولات مورد بررسی نشان می‌دهد که بر پایه سناریوی محتمل A_2 گیاهان زراعی گندم و جو دارای کم‌ترین مقدار افزایش در نیاز خالص آبیاری و گیاهان چغندر قند و سیب‌زمینی دارای بیش‌ترین مقدار افزایش در نیاز خالص آبیاری می‌باشند علاوه بر این گیاه ذرت علوفه‌ای (۱۵۳ مترمکعب در هکتار) در مقایسه با گیاه ذرت دانه‌ای (۲۵۰ مترمکعب در هکتار) دارای تغییرات افزایشی کم‌تری در مقدار نیاز خالص آبیاری می‌باشد. به‌طور کلی با توجه به تغییرات افزایشی مقدار نیاز خالص آبیاری محصولات مختلف مورد بررسی ممکن است نتیجه‌گیری نمود که می‌توان با کاهش سطح زیرکشت محصولات پرمصرف نظیر سیب‌زمینی و چغندر قند و اختصاص آن به کشت محصولات با تغییرات نیاز آبی کم‌تر نظیر نخود در حفظ تعادل منابع آب این منطقه اقدام نمود که این امر نیازمند مطالعات اقتصادی نیز می‌باشد. به‌عنوان نمونه سطح زیرکشت محصول سیب‌زمینی در دشت همدان - بهار برابر ۴۸۹۷ هکتار می‌باشد از طرفی با توجه به نتایج به‌دست آمده مقدار نیاز خالص آبیاری سیب‌زمینی در ۳۰ سال آینده به‌طور متوسط ۲۵۰ مترمکعب در هکتار افزایش خواهد یافت که این افزایش معادل ۴/۴ درصد کل نیاز خالص آبیاری می‌باشد. بنا بر اطلاعات بیان شده در طول ۳۰ سال بعد تقریباً ۳۷ میلیون مترمکعب آب به مقدار آب مصرفی باید افزوده شود تا بتواند الگوی کشت حاضر سیب‌زمینی حفظ شود در حالی که با جایگزینی محصولات با نیاز آبی کم‌تر نظیر نخود

ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای مورد بررسی از مدل آماری LARS-WG همراه با مدل چرخش عمومی HadCM3 تحت سناریوهای A_1 ، A_2 و B_1 استفاده شد.

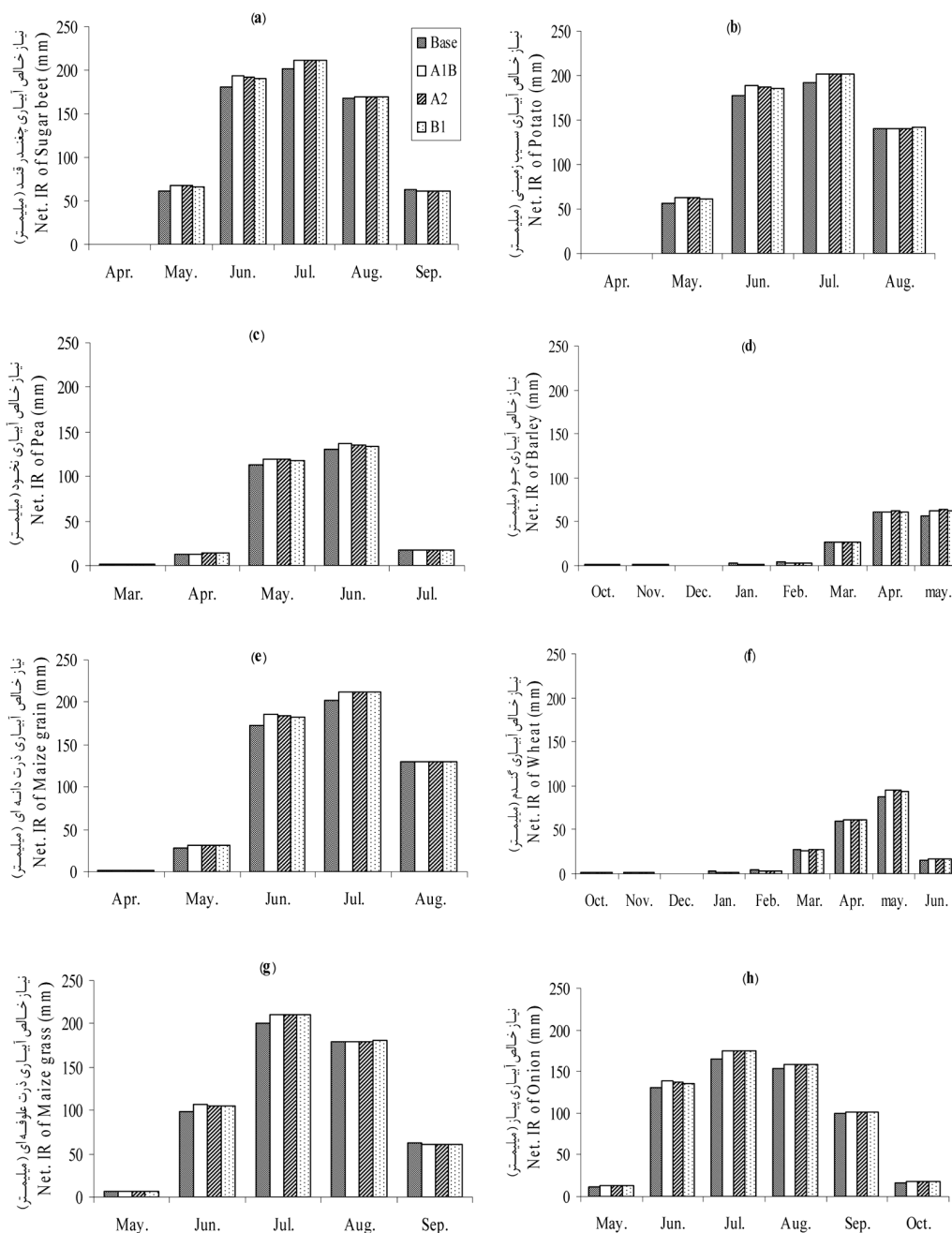
براساس نتایج پیش‌بینی مدل LARS-WG در ایستگاه سینوپتیک همدان (فرودگاه) در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) متوسط دمای حداقل و دمای حداکثر در تمامی ماه‌های سال مطابق هر سه سناریوی A_1 ، A_2 و B_1 افزایش خواهد یافت. میانگین بارش سالانه در سه دهه آتی نسبت به دوره پایه براساس سناریوهای A_1 ، A_2 و B_1 به ترتیب ۰/۵، ۱/۶ و ۲/۷ میلی‌متر افزایش خواهد یافت. در حالی که میانگین ماهانه بارش طی ماه‌های اکتبر، دسامبر و فوریه در سناریوهای A_2 و B_1 افزایش و در ماه‌های مارس، آوریل و مه کاهش خواهد یافت.

بررسی نتایج شکل ۷ نیز بیانگر این امر است که مجموع مقدار نیاز خالص آبیاری محصولات مختلف در ۳۰ سال آینده نسبت به دوره پایه براساس سناریوهای مختلف بین ۲/۶ تا ۲۸/۲ میلی‌متر تغییر افزایشی خواهد داشت. براساس نتایج این شکل تفاوت میان مجموع نیاز خالص آبیاری محصولات چغندر قند، سیب‌زمینی، ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای و پیاز در هر سه سناریو چندان محسوس نمی‌باشد در حالی که این تغییر برای سه سناریوی مورد بررسی در ارتباط با گیاهان زراعی گندم و جو تفاوت بیش‌تری نسبت به هم دارند و برای گیاه نخود، سناریوی B_1 مقدار افزایشی کم‌تری را نسبت به دو سناریوی A_1 و A_2 نشان می‌دهد.

از آنجا که در سناریوی A_2 در آینده، جمعیت جهان افزایش، رشد اقتصادی کم و رشد فناوری‌های پاک کاهش می‌یابد، به‌نظر می‌رسد این سناریو در تناسب بیش‌تری با وضعیت کشورهای جهان سوم و در حال توسعه در دهه‌های آینده باشد و حتی ممکن

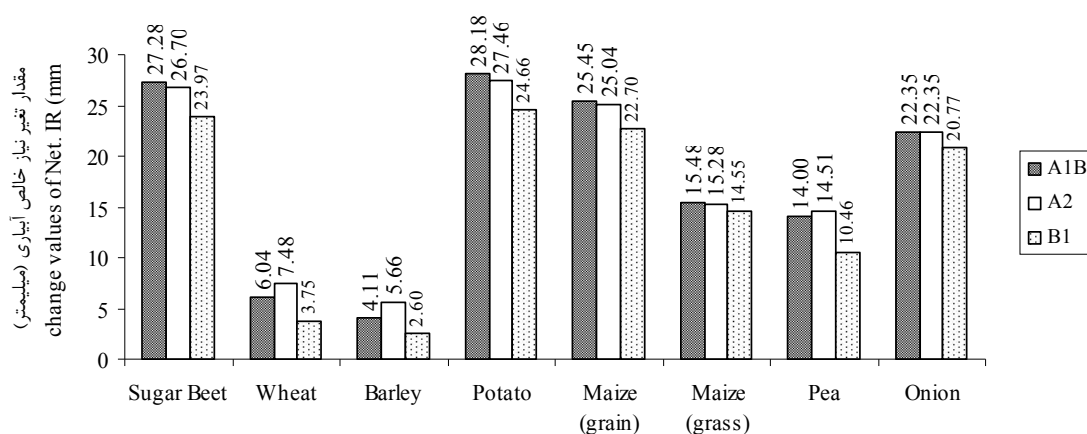
می‌شود این امر به صورت دقیق‌تری با محاسبه میزان افزایش حجم آب مورد نیاز با حفظ الگوی کشت فعلی و مقایسه آن با مقدار افزایش در الگوی کشت بهینه صورت پذیرد.

این مقدار برابر ۲۲ میلیون مترمکعب به دست می‌آید. همان‌طور که پیش‌تر بیان گردید، به‌گزینی الگوی کشت متناسب با تغییرات اقلیمی نیازمند مطالعات مهندسی ارزش در کنار مطالعات حاضر می‌باشد. پیشنهاد



شکل ۶- مقایسه میانگین نیاز ماهانه خالص آبیاری در مراحل رشد برای محصولات مختلف دشت همدان- بهار در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه براساس سناریوهای A_1B ، A_2 و B_1 .

Figure 6. Comparison of average net irrigation-requirement at growth stages for different crops of Hamadan-Bahar plain in 2011-2040 period, with respect to baseline period, based on A_1B , A_2 and B_1 scenarios.



شکل ۷- مقدار تغییر مجموع نیاز خالص آبیاری در دوره رشد برای محصولات مختلف دشت همدان- بهار در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه براساس سناریوهای A₁B، A₂ و B₁.

Figure 7. Variation of sum of net irrigation-requirement in the growing season for different crops of Hamadan-Bahar plain in 2011-2040 period, as compared with baseline period, for A₁B, A₂ and B₁ scenarios.

منابع

1. Abraha, M.G., and Savage, M.J. 2006. Potential impacts of climate change on the grain yield of maize for the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agric Ecosys Environ.* 115: 150-160.
2. Alizade, A., and Kamali, G.A. 2007. Crops water requirements in Iran. *Astan Qods Razavi Press.* 228p. (In Persian)
3. Alizadeh, A., Sayari, N., Hesami Kermani, M.R., Bannayan, M., and Farid Hossaini, A. 2010. Assessment of climate change potential impacts on agricultural water use and water resources of Kashaf rood basin. *J. Water Soil.* 24: 4. 815-835. (In Persian)
4. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage, Paper no. 56.* FAO, Rome.
5. Amini Bazyani, S., Akbari, M., and Zare Abyaneh, H. 2013. Assessment of cropped area and cropping intensity in Hamadan-Bahar plain using remote sensing data. *Iran. J. irrig. Drain.* 7: 1. 36-48. (In Persian)
6. Ashofteh, P. 2012. Climate change Impact on the crop water requirement using HadCM3 model in Aidoghmoush irrigation network. *Iran. J. Irrig. Drain.* 6: 3. 142-151. (In Persian)
7. Ashraf, B., Mousavi-Baygi, M., Kamali, G.A., and Davari, K. 2012. Evaluation of wheat and Sugar beet water use Variation due to climate change effects in two Coming Decades in the Selected plains of Khorasan Razavi Province. *Iran. J. Irrig. Drain.* 6: 2. 105-117. (In Persian)
8. Bannayan, M., and Eyshi Rezaei, E. 2012. Future production of rainfed wheat in Iran (Khorasan province): climate change scenario analysis. *Mitig Adapt Strateg Glob Change.* 19: 2. 211-227.
9. Dinpashoh, Y. 2006. Study of reference crop evapotranspiration in I.R. of Iran. *Agric Water Manage.* 84: 123-129.
10. Doll, P. 2002. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *J. Clim. Change.* 54: 269-293.
11. Ehteramian, K., Normohamadi, Gh., Banayan, M., and Alizadeh, A. 2012. Impacts of climate change scenarios on wheat yield determined by evapotranspiration calculation. *Zemdirbyste Agriculture.* 99: 3. 279-286.
12. 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. *Agric Water Manage.* 97: 1185-1194.

13. Harmsen, E., Miller, N.L., Schlegel, N.J., and Gonzalez, J.E. 2009. Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico. *Agricultural Water Management*. 96: 1085-1095.
14. IPCC. 2007. Synthesis Report 2007: AR4, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.
15. Khaliliaqdam, N., Mosaedi, A., Soltani, A., and Kamkar, B. 2013. Evaluation of ability of LARS-WG model for simulating some weather parameters in Sanandaj. *J. Water Soil Cons.* 19: 4. 85-102. (In Persian)
16. Landeras, G., Ortiz-Barredo, A., and Lopez, J.J. 2008. Comparison of artificial neural network models and empirical and semi-empirical equations for daily reference evapotranspiration estimation in the Basque Country (Northern Spain). *Agricultural water management*. 95: 553-565.
17. Racsko, P., Szeidl, L., and Semenov, M. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modeling*, 57: 27-41.
18. Semenov, M.A., and Barrow, E.M. 1997. Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climate Change*. 35: 397-414.
19. Semenov, M.A., and Brooks. R.J. 1999. Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain. *Climate Research*. 11: 137-148.
20. Soleymani Nanadegani, M., Parsinejad, M., Araghinejad, Sh., and Massah Bavani, A. 2011. Study on climate change effect on net Irrigation requirement and yield for rainfed wheat (Case Study: Behshahr). *J. Water Soil*. 25: 2. 389-397. (In Persian)
21. Tabari, H., and Hosseinzadeh Talaei, P. 2011. Temporal variability of precipitation over Iran: 1966-2005. *J. Hydrol.* 396: 313-320.
22. Tabari, H., Shifteh Somee, B., and Rezaeian Zadeh, M. 2011. Testing for long-term trends in climatic variables in Iran. *Atmospheric Research*. 100: 132-140.
23. Valizade, J., Ziaei, S.M., and Mazlumzadeh, S.M. 2014. Assessing climate change impacts on wheat production (a case study). *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 13: 2. 107-115.
24. Wilby, R.L., Dawson, C.W., and Barrow, E.M. 2002. SDSM a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environ Model Softw.* 17: 145-157.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(4), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Investigation of the effect of climate change on net irrigation-requirement of main crops of Hamadan-Bahar plain using LARS-WG5 downscaling model

***S. Akhavan¹, M. Ghabaei Sough² and A. Mosaedi³**

¹Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamadan, ²Ph.D. Student, Dept. of Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamadan, ³Professor, Dept. of Rangeland and Watershed Management, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 10/30/2013; Accepted: 09/13/2014

Abstract

Background and Objectives: Climate change and its impacts on water resources is known as one of the most important challenges which human would be faced with it in the future century. Although different studies are performed to consider the effects of climate change on the meteorological and hydrological variables using climatic scenarios and General Circulation Models, but its effects on agricultural sectors such as water requirement are less investigated. The main objective of this study is to assess the effect of climate change on the net irrigation requirement changes of main crops in Hamadan-Bahar plain (winter wheat, barley, potato, sugar beet, maize (grain), maize (grass), peas and onion) in three next decades according to different scenarios using LARS-WG5 model compared with baseline period.

Materials and Methods: In this study daily meteorological variables including precipitation, minimum and maximum temperature and relative humidity were collected from the Islamic Republic of Iran Meteorological Organization for 1981-2010. For main purpose, first of all, the capability of LARS-WG5 model was investigated and verified to simulate meteorological variables including minimum and maximum temperature, solar radiation and precipitation at Hamadan synoptic station in the baseline period (1981-2010). In the next step, meteorological variable values were simulated by HadCM3 model based on A₁B, A₂ and B₁ emission scenarios in the period of 2011-2040. Finally, the net irrigation requirement values of main crops were estimated for baseline and three future decades.

Results: Based on the simulated results of LARS-WG5 model, the average values of air temperature and precipitation will increase by 0.77, 0.88 and 0.78 °C and 2.1, 5.9 and 10.2% for A₁B, A₂ and B₁ scenarios, respectively. The results showed that average monthly precipitation will increase in October, December and February for three scenarios and decrease in March, April and May for A₂ and B₁ scenarios. Also, the total amount of net irrigation requirement of examined crops will increase between 2.6 to 28.2 mm for three future decades compared with baseline period. According to A₂ scenario, the net irrigation requirements of wheat and barley have the lowest values of increasing change and sugar beet and potato have the highest increasing changes.

Conclusion: According to the A₂ as a plausible scenario, the total net irrigation requirement of sugar beet, wheat, barley, potato, maize (grain), maize (grass), peas and onion in 30 next years will increase 267, 75, 57, 275, 250, 153, 145 and 224 cubic meters per hectares, respectively compared with baseline period. In general, considering increasing changes of the net irrigation requirements of different examined crops, the selection of appropriate cropping patterns consistent with climate change is required.

Keywords: Climate change scenarios, LARS-WG5 model, Net irrigation requirement, Hamadan-Bahar plain

* Corresponding Author; Email: s.akhavan@basu.ac.ir