

تغییرات زمانی و مکانی بارش در ایران تحت تأثیر تغییر اقلیم تا سال ۲۱۰۰

سیدسعید موسوی^۱، فاطمه کاراندیش^۲، حسین طبری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۰۲

چکیده

در این پژوهش، اثرات بلندمدت تغییر اقلیم بر تغییرات مکانی و زمانی بارش در سطح کشور تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 تا سال ۲۱۰۰ بررسی شد. با استفاده از داده‌های بارش روزانه در دوره‌ی پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) در ۵۲ ایستگاه سینوپتیک، مدل واسنجی شده و جهت ریزمقیاس‌سازی داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سناریوهای مذکور تا سال ۲۱۰۰ استفاده شد. نقشه‌های پراکنش مکانی تغییرات بارش در محیط GIS تهیه شد. مقادیر اندک جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده و ضریب کارایی بالا در مقایسه‌ی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده‌ی بارش حاکی از عملکرد مطلوب مدل LARS-WG برای شبیه‌سازی بارش بود. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تغییر اقلیم باعث افزایش غیریکنواخت بارش در دو مقیاس مکانی و زمانی در بخش اعظم کشور خواهد شد. افزایش بارش در کرانه‌های دریا‌های خزر، عمان و خلیج فارس، دامنه‌های غربی رشته کوه‌های زاگرس و دامنه‌های شمالی رشته کوه‌های البرز بیش‌تر از نواحی مرکزی، شرقی و شمال‌شرقی ایران بود. علی‌رغم افزایش میانگین بارش در تمام دوره‌های زمانی، میانگین بارش در دوره‌های زمانی ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ کم‌تر از مقدار آن در دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ بود. این مسأله، لزوم برنامه‌ریزی در استفاده‌ی بهینه از بارش موثر در کشور را به اثبات می‌رساند.

واژه‌های کلیدی: سناریوهای تغییر اقلیم، ریزمقیاس‌سازی آماری، مدل HADCM3، مدل LARS-WG

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل، زابل، ایران. saeedmoosavi8@yahoo.com.

^۲ استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه زابل، زابل، ایران. ۰۹۱۲۶۷۵۳۹۰۱. Karandish_h@yahoo.com & F.Karandish@uoz.ac.ir.

(مسئول مکاتبه)

^۳ محقق گروه مهندسی عمران، دانشگاه کاتولیک، لوون، بلژیک. tabari.ho@gmail.com

مقدمه

ایران به عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک و نیمه خشک جهان، همواره با کم آبی و خشکسالی‌های متناوب مواجه بوده است. خشکسالی ناشی از شکست طبیعی رژیم بارش است که می‌تواند منتج به وقوع بارندگی‌های کم‌تر از میانگین و با فراوانی کم‌تر، تداوم و شدت نامعین و همچنین وقوع رخداد‌های غیرقابل پیش‌بینی شود. وقوع خشکسالی می‌تواند با کاهش موجودیت منابع آب شیرین، باعث بروز خسارت‌های زراعی و هیدرولوژیکی شود (قمقامی و همکاران، ۱۳۹۳).

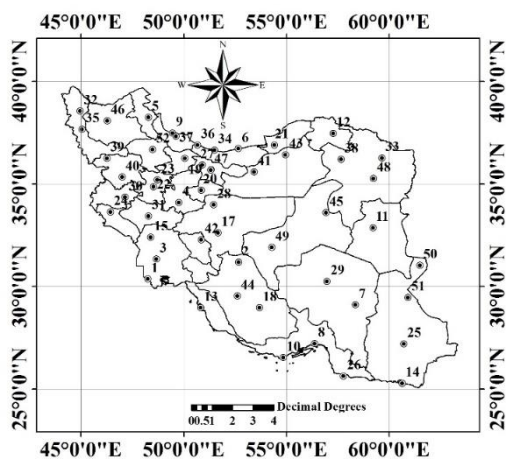
بارش یکی از فاکتورهای بسیار مهم و مؤثر در مدیریت آب کشاورزی، به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک جهان نظیر ایران، محسوب می‌گردد. در زراعت دیم، بارش تنها منبع تأمین آب به شمار آمده و عدم آگاهی از وضعیت آن سبب بروز مشکلات و خسارات جبران ناپذیری برای کشاورزی به این شیوه می‌باشد. تغییرات و پراکنش نامناسب بارش، باعث تغییرات سالانه‌ی میزان عملکرد در زراعت دیم می‌گردد (سهرابی ملایوسف و همکاران، ۱۳۹۱). علاوه بر این، تغییر میزان و توزیع مکانی و زمانی بارش می‌تواند بر مقدار نیاز خالص آبیاری در کشت آبی نیز تأثیر بسزایی داشته باشد. در حقیقت، بارش از طریق تأمین رطوبت خاک به طور مستقیم میزان تولید محصولات کشاورزی در کشت دیم و از طریق تغذیه منابع آب سطحی و زیرزمینی، میزان تولید در اراضی فاریاب را تحت تأثیر قرار می‌دهد (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲). لذا، تعیین الگوی تغییرات زمانی و مکانی بارش برای طراحی و مدیریت بهینه‌ی فعالیت‌های مرتبط با آب نظیر تعیین مناطق مستعد برای کشت دیم، مطالعات فرسایش خاک، هیدرولوژیکی و آبخیزداری و مدیریت منابع آب ضروری است (نادی و خلیلی، ۱۳۹۲).

تغییر اقلیم، یکی از مؤثرترین عوامل تغییردهنده‌ی الگوی بارش در یک منطقه می‌باشد. با توجه به آثار گسترده و متقابل اقلیم با بخش‌های مختلف

کشاورزی، زیست‌محیطی و جوامع انسانی، امروزه از تغییر اقلیم به عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در قرن بیست و یکم یاد می‌شود (Reidsma et al., 2009). اگرچه برخی معتقدند که افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در نتیجه‌ی تغییر اقلیم می‌تواند با تسریع چرخه‌ی هیدرولوژیکی، باعث افزایش منابع آبی قابل دسترس در جو و تغییر فصلی بارش و دما در بسیاری از نقاط جهان شده (IPCC, 2007) و در نهایت، این آشفتگی‌های اقلیمی منجر به افزایش تعداد بارش‌های سنگین در نیمه دوم قرن بیستم و یکم شود (IPCC, 2013). لکن باید توجه داشت که پاسخ تمامی نقاط کره‌ی زمین به پدیده‌ی گرمایش جهانی صرفاً به صورت افزایش بارش نخواهد بود. به دلیل تغییر الگوهای فشاری، برخی نقاط نیز می‌تواند با کاهش بارش مواجه شود (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸). به این ترتیب، اهمیت نقش الگوی بارش در مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی کشاورزی در یک منطقه (Fu et al., 2013)، پیش‌بینی تغییرات مقدار و روند بارش را جهت استفاده در برنامه‌ریزی‌های کلان کشور به ویژه در رابطه با مدیریت ریسک بلایای طبیعی اجتناب‌ناپذیر می‌نماید (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹).

در این راستا، پژوهش‌های پراکنده‌ای در سطح کشور انجام شده که نتایج آنها نشان دهنده‌ی کاهش نه درصدی بارش کل کشور در دوره‌ی زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت مدل ECHO-G (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸)، کاهش سه درصدی بارش تا سال ۲۰۹۹ در استان آذربایجان شرقی (Zarghami et al., 2011)، افزایش ۱۶ درصدی بارش تحت سناریو A2 و افزایش دو درصدی آن تحت سناریو A1B در دوره‌ی زمانی ۲۰۶۵-۲۰۴۶ در استان گلستان (دوستی و همکاران، ۱۳۹۲)، افزایش بارش سالانه ایستگاه‌های کرمان و بم با استفاده از مدل HADCM3 تا سال ۲۰۹۹ (رضائی و همکاران، ۱۳۹۳) و افزایش ۵/۱ میلی‌متر میانگین بارش کل کشور در دوره‌ی زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ با بکارگیری مدل HADCM3 (مظفری و همکاران، ۱۳۹۳) اشاره نمود. همچنین برخی از پژوهش‌های

سال هفتم • شماره بیست و پنجم • پاییز ۱۳۹۵
ایران با وسعت ۱۶۴۰۱۹۵ کیلومترمربع در نیمه جنوبی منطقه‌ی معتدل شمالی بین عرض‌های جغرافیایی '۲۵۰۰ تا '۳۸۰۳۹ شمالی از خط استوا و طول‌های جغرافیایی '۴۴۰۰ تا '۶۳۰۲۵ شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. داده‌های هواشناسی در ۵۲ ایستگاه سینوپتیک کشور در حدفاصل سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۸۱ (دوره‌ی پایه) جمع‌آوری شد. بر اساس این آمار، میانگین بارش در دوره‌ی پایه در سطح کشور ۲۴۳/۶ میلی‌متر بوده و میزان بارش در استان‌های سیستان و بلوچستان و گیلان، به ترتیب کم‌ترین (۱۰۴/۳ mm) و بیش‌ترین (۱۰۳۲/۹ mm) مقدار را دارد.



شکل (۱): پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

پیش‌بینی بارش در آینده با استفاده از مدل LARS-WG

به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بزرگ مقیاس در خروجی مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)، از مدل LARS-WG استفاده شد (Reddy et al., 2014). فرآیند تولید داده‌ها در مدل مذکور شامل سه بخش واسنجی، صحت‌سنجی و شبیه‌سازی می‌باشد. برای انجام دو مرحله‌ی اول، آمار ۳۱ ساله تابش، دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش در ایستگاه‌های منتخب وارد مدل شده و با مقایسه‌ی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده بر اساس معیارهای ارزیابی، صحت مدل در ایستگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. بعد از آن، با استفاده از مدل HadCM3 و تحت سناریوهای A1B، A2 و B1، شبیه‌سازی مؤلفه‌های

صورت گرفته در نقاط دیگر جهان، حاکی از افزایش بارش زمستانه و کاهش بارش تابستانه در دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۶۰ در کشور ایرلند (Steele et al., 2008)، افزایش دما و بارش در حوضه رودخانه هندوکش کارکروم هیمالیا در دوره زمانی ۲۱۰۰-۲۰۷۰ و کاهش ۴/۵ تا ۵/۵ درصد کاهش بارش در انتهای قرن ۲۱ برای منطقه آرگون اسپانیا (Ribalaygua et al., 2013) و افزایش دمای تابستانه و کاهش دمای زمستانه در کشور بلژیک برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ (Tabari et al., 2015) می‌باشد.

مروری بر پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که در غالب پژوهش‌های تغییر اقلیم، تنها بخش خاصی از کشور مدنظر قرار گرفته و تاکنون نحوه‌ی پراکنش مکانی بارش به صورت جامع در سطح کشور تا سال ۲۱۰۰ بررسی نشده است. به همین منظور در این پژوهش ابتدا تاثیر تغییر اقلیم بر میزان بارش دریافتی در ۵۲ ایستگاه سینوپتیک کشور، تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 در مدل HADCM3 در سه دوره‌ی زمانی سی ساله شامل ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۱-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰ بررسی شد. سناریوی A2 مبین توسعه اقتصادی منطقه‌ای، رشد زیاد جمعیت و تغییرات تکنولوژیکی کند می‌باشد. در سناریوی B1، تغییرات سریع ساختارهای اقتصادی، رشد کند جمعیت و معرفی تکنولوژی‌های پاک و کارآمد از نظر منابع مطرح است. در سناریوی A1B تاکید متعادلی بر کلیه منابع انرژی می‌شود. سپس، نقشه‌های پراکنش مکانی بارش تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 در مدل HADCM3 در سه دوره‌ی زمانی سی ساله شامل ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۱-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰ تهیه شده و روند تغییرات زمانی و مکانی این متغیر مؤثر در بخش کشاورزی بررسی شد.

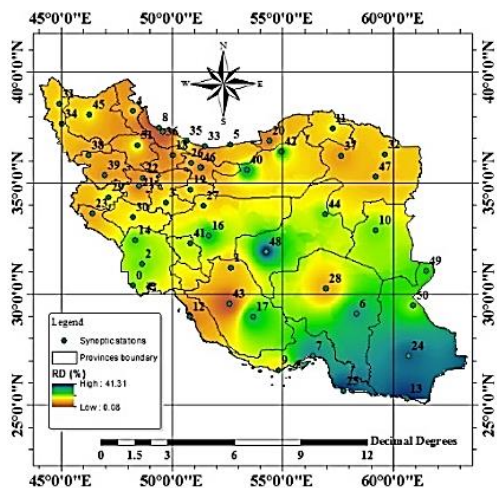
مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مطالعاتی

شکل ۱ موقعیت جغرافیایی کشور و پراکنش مکانی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب را نشان می‌دهد.

شده‌ی بارش سالانه در مناطق شمالی، شمال شرقی و شمال غربی کشور کم‌تر از سایر نقاط بود.

اقلیمی دما و بارش طی سه دوره سی ساله ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ انجام شد.



شکل (۲): مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش سالانه در دوره‌ی پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) در سطح کشور

برای تحلیلی بهتر از کارآیی مدل، روند تغییرات زمانی بارش مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در طول دوره‌ی پایه برای هشت ایستگاه سینوپتیک کشور در شکل ۳ ارائه شد. این ایستگاه‌ها مشتمل بر ایستگاه‌های رشت، بابلسر، سقز، شهرکرد، مشهد، یزد، زاهدان و بندرعباس بودند که به ترتیب در اقلیم‌های بسیار مرطوب، مرطوب، مدیترانه‌ای، نیمه خشک، نیمه خشک، خشک، خشک و خشک ایران قرار دارند. شکل ۳ بیش‌برآورد بارش ماهانه در تمام خرداقلیم‌های کشور را نشان می‌دهد. با این وجود، تحلیل آماری داده‌های شبیه‌سازی شده بر اساس معیارهای ارزیابی مندرج در جدول ۱ حاکی از دقت قابل قبول مدل LARS-WG در تولید داده‌های بارش در ۵۲ ایستگاه سینوپتیک کشور است. بر اساس معیار EF، کم‌ترین و بیش‌ترین دقت مدل در شبیه‌سازی داده‌های بارش به ترتیب در ایستگاه‌های چابهار (EF=۷۰/۳۸ درصد) و بوشهر (EF=۹۸/۴۱ درصد) مشاهده شد. همچنین، ایستگاه‌های شیراز، نوشهر و بندرانزلی رتبه‌های بعدی را از نظر دقت مدل به خود اختصاص دادند. همچنین، نتایج آزمون t برای ۵۲ ایستگاه سینوپتیک حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر مشاهده‌ای و

تحلیل تاریخی بارش و معیارهای ارزیابی

برای تعیین معنی‌داری تغییرات سالانه‌ی بارش در حداث سال‌های ۲۱۰۰-۱۹۸۰ از آزمون روند به روش کم‌ترین مربعات خطا استفاده شد (عیوضی و همکاران، ۱۳۸۹). علاوه بر تغییرات زمانی، روند تغییرات مکانی متوسط بارش ۳۰ ساله در سطح کشور تحت سناریوهای منتخب در دوره‌های زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ با تعیین نقشه‌های رستری بارش در محیط GIS مورد بررسی قرار گرفت.

کارآیی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی بر اساس آماره‌های مجموع مجذور مربعات خطا (SSE) (Reddy et al., 2014)، ضریب کارآیی مدل (EF) (Nash and Sautcliffe, 1970) و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (RMSE) (Wang et al., 2006) ارزیابی شد. علاوه بر آن، درصد خطای نسبی (%Difference) با استفاده از رابطه‌ی ذیل محاسبه شد (Reddy et al., 2014).

$$\%Difference = \frac{(Y_i - X_i)}{X_i} \times 100 \quad (1)$$

که در آن Y_i و X_i به ترتیب معرف داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده می‌باشد.

نتایج و بحث

ارزیابی مدل LARS-WG

بررسی درصد اختلاف مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده‌ی بارش سالانه در سطح کشور در شکل ۲ نشان می‌دهد که استفاده از مدل LARS-WG باعث فراب‌آورد بارش در تمام ایستگاه‌ها به ویژه در بخش‌هایی از نواحی جنوبی و جنوب شرقی ایران می‌شود. اختلاف مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی

سال هفتم • شماره بیست و پنجم • پاییز ۱۳۹۵
داده‌های اقلیمی تحت گرمایش جهانی را به اثبات می‌رساند.

شبیه‌سازی شده‌ی بارش در دوره‌ی پایه بود که این نتیجه، قابلیت استفاده از مدل LARS-WG در تولید



شکل (۳): مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش ماهانه در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) در ۸ ایستگاه سینوپتیک سطح کشور

جدول (۱): شاخص‌های آماری خطای برآورد بارش با مدل LARS-WG در دوره‌ی پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) در ۵۲ ایستگاه سینوپتیک

رتبه کل	EF	NRMS E	SSE	نام ایستگاه	رتبه کل	EF	NRMS E	SSE	نام ایستگاه
۹	۹۵/۱۰	۱۶/۸۴	۱۳۰/۳۰	کرج	۳۰	۸۹/۸۷	۳۳/۸۷	۲۱۸/۵۱	آبادان
۴۰	۷۷/۹۵	۴۰/۳۸	۲۱۶/۲۸	کاشان	۱۷	۹۳/۷۷	۲۴/۱۵	۷۷/۹۲	آباده
۶	۹۶/۷۸	۱۸/۷۱	۵۰/۶۳	کرمان	۲۶	۹۰/۷۸	۳۳/۰۶	۴۳۸/۰۳	اهواز
۳۱	۸۹/۴۳	۲۶/۸۲	۹۷۸/۹۲	کرمانشاه	۲۲	۹۲/۰۳	۲۱/۹۰	۳۴۱/۸۹	اراک
۲۰	۹۲/۵۶	۲۳/۹۴	۱۰۰۰/۴۴	خرم آباد	۳۵	۸۷/۱۴	۱۸/۸۱	۲۲۵/۴۱	اردبیل
۳۶	۸۶/۳۱	۲۱/۳۶	۲۵۰/۲۲	خوی	۱۹	۹۳/۰۸	۱۷/۴۸	۱۹۵۷/۷۶	بابلسر
۱۸	۹۳/۲۲	۲۳/۰۲	۲۵۶/۹۶	مشهد	۴۵	۷۱/۷۶	۵۰/۵۳	۵۴/۷۴	بم
۳	۹۷/۹۳	۹/۴۵	۱۰۵۳/۹۶	نوشهر	۴۸	۶۵/۵۶	۷۱/۵۰	۱۱۷۰/۵۹	بندرعباس
۲۹	۸۹/۹۷	۲۰/۳۲	۴۱۴/۸۲	ارومیه	۴	۹۷/۴۶	۱۰/۹۹	۲۶۲۸/۵۸	بندر انزلی
۳۹	۷۸/۸۳	۳۲/۴۴	۱۰۷۹۸/۳۱	رامسر	۲۷	۹۰/۰۱	۴۱/۳۶	۲۲۷/۸۸	بندر لنگه
۱۱	۹۴/۶۲	۱۲/۴۵	۲۰۲۱/۲۰	رشت	۲۱	۹۲/۰۵	۳۰/۵۵	۱۸۸/۰۶	بیرجند
۱۶	۹۳/۹۸	۲۲/۹۶	۱۴۳/۵۷	سبزوار	۳۸	۸۴/۹۳	۲۲/۶۷	۲۵۵/۱۰	بجنورد
۵	۹۷/۲۶	۱۲/۲۴	۲۵۷/۲۰	سقز	۱	۹۸/۴۱	۱۷/۰۲	۱۵۷/۴۶	بوشهر
۱۳	۹۴/۵۸	۱۸/۶۱	۴۸۲/۴۵	سنندج	۵۲	۵۵/۹۹	۷۰/۳۸	۶۲۳/۸۶	چابهار
۴۹	۶۱/۶۸	۴۵/۶۶	۳۳۶/۵۸	سمنان	۲۴	۹۱/۳۲	۳۲/۳۲	۱۲۳۹/۹۶	دزفول
۲۵	۹۰/۹۸	۲۸/۵۱	۶۵۶/۲۰	شهرکرد	۱۰	۹۴/۹۷	۱۷/۶۴	۱۵۶/۷۷	دوشان تپه
۴۶	۶۷/۰۸	۴۲/۲۲	۳۳۸/۱۶	شاهرود	۴۴	۷۲/۹۷	۴۶/۳۶	۲۶۷/۳۰	اصفهان
۲	۹۷/۹۵	۱۶/۹۳	۲۴۰/۳۳	شیراز	۴۱	۷۷/۲۶	۶۰/۴۲	۲۳۴۶/۵۸	فسا

ادامه جدول (۱): شاخص‌های آماری خطای برآورد بارش با مدل LARS-WG در دوره‌ی پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) در ۵۲ ایستگاه

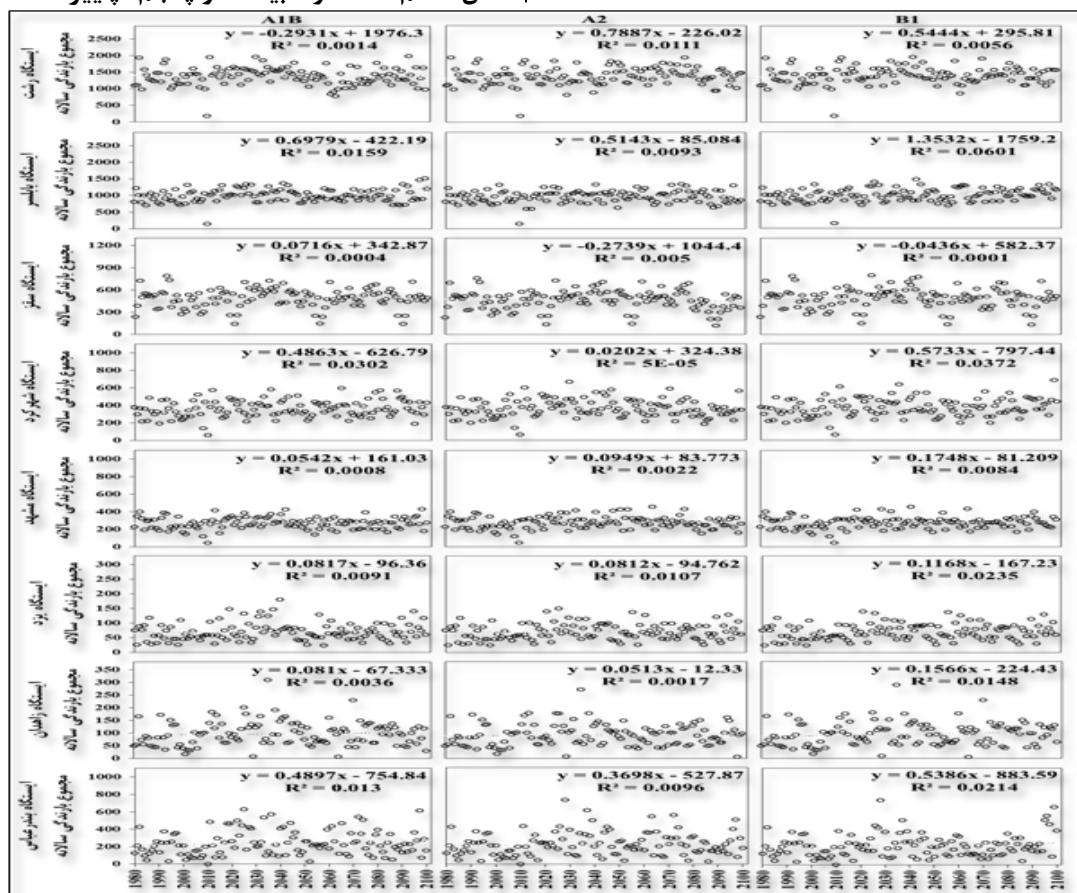
سینوپتیک

رتبه کل	EF	NRMS E	SSE	نام ایستگاه	رتبه کل	EF	NRMS E	SSE	نام ایستگاه
۳۷	۸۵/۷۷	۳۹/۹۳	۸۷/۷۹	طبس	۱۲	۹۴/۶۱	۱۷/۱۴	۲۳۶/۳۳	قزوین
۳۲	۸۸/۹۹	۲۰/۹۹	۲۰۸/۴۹	تبریز	۲۳	۹۱/۵۲	۲۴/۱۵	۹۱/۹۸	قم
۱۴	۹۴/۳۸	۱۹/۱۴	۱۵۸/۰۴	مهرآباد تهران	۳۴	۸۷/۳۰	۱۳/۲۱	۳۹۳/۵۰	گرگان
۲۸	۸۹/۹۸	۳۰/۱۱	۵۰۹/۲۷	تربت حیدریه	۸	۹۶/۱۳	۱۴/۵۰	۱۵۷/۴۷	فروودگاه همدان
۴۷	۶۵/۵۸	۶۴/۳۰	۱۱۳/۴۸	یزد	۷	۹۶/۶۵	۱۲/۷۶	۱۲۸/۹۱	نوزه همدان
۳۳	۸۸/۱۸	۴۲/۶۳	۵۰/۱۸	زابل	۱۵	۹۴/۲۹	۲۲/۱۶	۱۲۲۱/۲۱	ایلام
۴۲	۷۶/۲۴	۴۵/۳۳	۹۴/۶۲	زاهدان	۵۱	۶۰/۸۳	۵۴/۹۲	۲۹۶/۳۳	ایرانشهر
۴۳	۷۳/۶۳	۳۲/۵۴	۶۵۱/۸۱	زنجان	۵۰	۶۱/۱۰	۷۵/۲۱	۷۰۴/۴۴	جاسک

اثرات بلندمدت تغییر اقلیم بر بارش

شکل ۴ روند تغییرات بارش سالانه در هشت ایستگاه منتخب با اقلیم‌های مختلف تا سال ۲۱۰۰ را نشان می‌دهد. نتایج آزمون روند در این ایستگاه‌ها، شیب خط روند را مثبت و معنی‌دار گزارش نموده که این نتیجه، افزایش معنی‌دار بارش در این ایستگاه‌ها در دوره‌های آتی نسبت به دوره‌ی پایه را به اثبات می‌رساند. نتایج مشابه برای دیگر ایستگاه‌ها نیز بدست آمد. نتایج پژوهش‌های پیشین نیز افزایش بارش در برخی مناطق ایران (مظفری و همکاران، ۱۳۹۳، روشن و همکاران، ۱۳۹۲، رضایی و همکاران، ۱۳۹۳) و دیگر نقاط جهان (Nkomozepe and Lhomme et al., Terink et al., 2013, Chung, 2014, Harmsen et al., 2009, 2009) را تایید می‌کند. با این وجود، بررسی مقادیر میانگین بارش در کشور تحت سناریوهای مختلف اقلیمی تا سال ۲۱۰۰ نشان می‌دهد که اگرچه بارش افزایشی مشهود در تمام دوره‌ها خواهد داشت، لکن، درصد مناطق با میزان

بارش کم‌تر از میانگین در سطح کشور نیز نسبت به دوره‌ی پایه بیش‌تر خواهد بود (جدول ۲) که این مسأله، موید افزایش غیریکنواختی توزیع بارش در سطح کشور در نتیجه‌ی وقوع تغییر اقلیم تا سال ۲۱۰۰ می‌باشد. میانگین بارش سالانه در دوره‌ی پایه برابر با ۲۴۳/۶ میلی‌متر بوده و سهم بارش دریافتی در حدود ۵۸/۴ درصد از کل منطقه، کم‌تر از میانگین کل کشور است. علی‌رغم افزایش ۵/۳ تا ۲۲/۷ درصدی بارش در محدوده‌ی زمانی ۲۰۱۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره‌ی پایه، سهم بارش دریافتی در حدود ۵۹/۳ تا ۶۳/۷ درصد از کل کشور کم‌تر از میانگین آن در دوره‌ی مورد بررسی می‌باشد که این مقدار، بین ۱/۵۴ تا ۹/۱ درصد بیش‌تر از دوره‌ی پایه است. بنابراین، اعمال یک شیوه‌ی مدیریتی برای اولویت‌بندی مکانی کشت محصولات کشاورزی جهت استفاده‌ی مطلوب‌تر از آب سبز در کشاورزی ضروری خواهد بود.



شکل (۴): روند تغییرات بارش تا سال ۲۱۰۰ تحت سناریوهای اقلیمی در ۸ ایستگاه سینوپتیک سطح کشور

جدول (۲): میانگین بارش در سطح ایران تحت سناریوهای مختلف اقلیمی تا سال ۲۱۰۰

PIB	PI	PD	PLM	PHM	SD (mm)	M (mm)	Max (mm)	Min (mm)*	سناریو	دوره
-	-	-	۵۸/۴	۴۱/۶	۱۵۴/۱	۲۴۳/۶	۱۶۸۰/۹	۵۳/۱	-	دوره‌ی پایه ۱۹۸۰-۲۰۱۰
۲۲/۷	۹۹/۸۷	۰/۱۳	۶۱/۵	۳۸/۵	۱۶۳/۸	۲۹۸/۹	۱۹۴۱/۹	۷۹/۲	A1B	۲۰۱۱-۲۰۴۰
۱۹/۲	۹۹/۹۸	۰/۰۲	۵۹/۴	۴۰/۶	۱۵۷/۹	۲۹۰/۴	۱۷۱۵/۳	۷۹/۰	A2	
۱۹	۹۹/۷۶	۰/۲۴	۶۳/۷	۳۶/۳	۱۶۸/۱	۲۸۹/۹	۱۸۱۱/۲	۷۵/۸	B1	
۱۲/۱	۹۹/۳۱	۰/۶۹	۵۹/۳	۴۰/۷	۱۵۶/۳	۲۷۳/۳	۱۷۳۷/۲	۶۰/۴	A1B	۲۰۴۱-۲۰۷۰
۱۶/۳	۹۹/۶۰	۰/۴۰	۶۰/۱	۳۹/۹	۱۶۵/۶	۲۸۳/۴	۱۸۷۰/۴	۶۲/۴	A2	
۱۱/۱	۹۸/۶۲	۱/۳۸	۶۰/۹	۳۹/۱	۱۶۵/۳	۲۷۰/۸	۱۸۵۳/۶	۵۶/۷	B1	
۱۳/۸	۹۷/۳۲	۲/۶۸	۶۱/۵	۳۸/۵	۱۶۳/۶	۲۷۷/۳	۱۷۳۸/۶	۶۴/۹	A1B	۲۰۷۱-۲۱۰۰
۵/۳	۸۱/۸	۱۸/۹	۶۱/۰	۳۹/۰	۱۵۲/۴	۲۵۶/۶	۱۷۲۳/۹	۶۵/۵	A2	
۱۲/۸	۹۶/۳۹	۳/۶۱	۶۲/۴	۳۷/۶	۱۶۲/۶	۲۷۴/۹	۱۷۶۹/۹	۸۰/۳	B1	

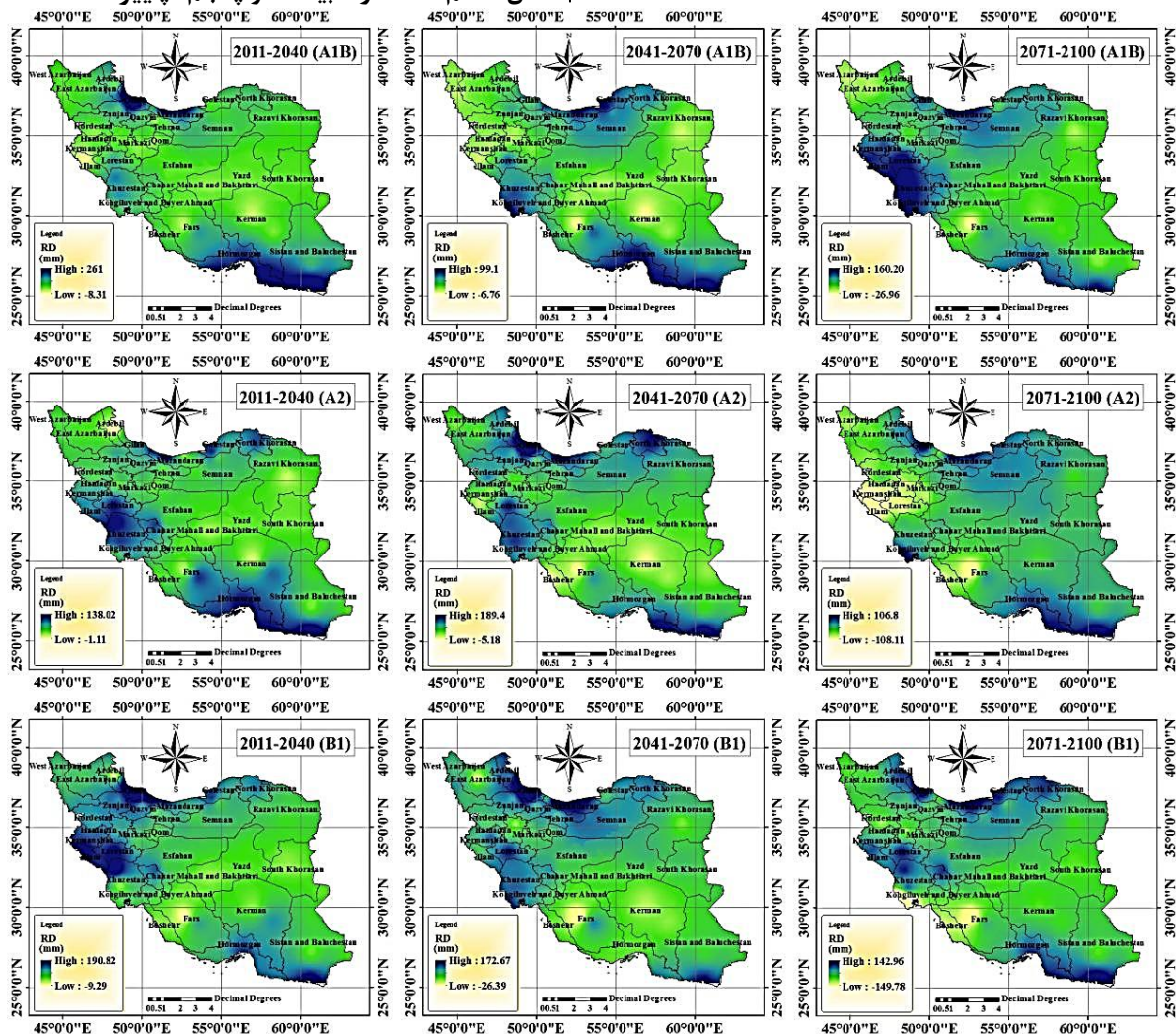
* Min حداقل، Max حداکثر، M میانگین، SD انحراف از معیار، PHM درصد بیش‌از میانگین، PLM درصد کم‌تر از میانگین، PD درصد مناطق با کاهش بارش، PI درصد مناطق با افزایش بارش، PIB درصد مناطق با افزایش بارش نسبت به دوره‌ی پایه

شمالی رشته کوه البرز و دامنه‌ی غربی رشته‌کوه‌های زاگرس رخ داده است. بارش در بخش‌هایی از نواحی شرقی، جنوب شرقی و کویر مرکزی ایران نیز اغلب کم‌تر از دیگر مناطق تحت تاثیر قرار گرفته است. در بازه‌ی زمانی ۲۰۷۱-۲۱۰۰، کاهش بارش در سناریوی A2 بخش‌هایی از نواحی غربی و جنوب غربی ایران را شامل می‌شود.

وقوع گرمایش جهانی علاوه بر آماره‌ی میانگین، دامنه‌ی تغییرات بارش را نیز متأثر می‌سازد (شکل ۵). میانگین بارش سالانه در دوره‌ی پایه بین ۵۳/۱ تا ۱۶۸۰/۹ میلی‌متر تغییر می‌کند. اما بررسی حدود آستانه در نقشه‌های پراکنش مکانی بارش نشان می‌دهد که وقوع تغییراقلیم، به استثنای یک مورد، غالباً حد آستانه‌ی حداقل بارش را بین ۶/۷۷ (سناریوی B1 در بازه‌ی زمانی ۲۰۴۱-۲۰۷۰) تا ۴۹/۱۵ (سناریوی A1B در بازه‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱) درصد افزایش می‌دهد. اما میزان حداقل بارش تحت سناریوی B1 در بازه‌ی زمانی ۲۰۷۱-۲۱۰۰، حدود ۸۴/۳۶ درصد کم‌تر از مقدار آن در دوره‌ی پایه بود. تغییراقلیم بر حد آستانه‌ی حداکثر بارش سالانه در سطح کشور نیز تأثیر داشته و میزان آن را بین ۲/۰۴ (سناریوی A2 در بازه‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱) تا ۱۵/۵۳ (سناریوی A1 در بازه‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱) درصد افزایش داده است.

لزوم برنامه‌ریزی در راستای استفاده‌ی مطلوب‌تر از منابع آبی موجود با نگاهی بر روند افزایش غیریکنواخت زمانی بارش مشهودتر خواهد شد. بر اساس جدول ۲، علی‌رغم افزایش بارش در تمام دوره‌های مورد بررسی نسبت به دوره‌ی پایه، میزان این افزایش در بازه‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ بیش‌تر بوده و با گذشت زمان، درصد افزایش میانگین بارش سالانه نسبت به دوره‌ی پایه کاهش خواهد یافت. به نحوی که میانگین بارش در دوره‌های زمانی ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ در تمام سناریوها کم‌تر از مقدار معادل آن‌ها در دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ می‌باشد. به منظور بررسی غیریکنواختی زمانی و مکانی تغییرات بارش نسبت به دوره‌ی پایه، اختلاف بین میانگین مجموع بارش سالانه در هر یک از دوره‌های زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ تحت سناریوهای منتخب نسبت به مقدار آن در دوره‌ی پایه به صورت نقشه‌های رستری تهیه و در شکل ۵ ارائه شد. مقادیر مثبت و منفی در این شکل به ترتیب نشان‌دهنده‌ی افزایش و کاهش بارش نسبت به دوره‌ی پایه می‌باشد. بر اساس شکل ۵، به استثنای سناریوی A2 در بازه‌ی زمانی ۲۰۷۱-۲۱۰۰ که کاهش بارش در حدود ۱۸/۹ درصد از منطقه را به همراه داشته است، باقی مناطق اغلب دارای بارشی بیش‌تر از مقدار آن در دوره‌ی پایه بودند. بیش‌ترین افزایش بارش همواره در کرانه‌های دریای خزر، عمان و خلیج فارس، دامنه‌های

سال هفتم • شماره بیست و پنجم • پاییز ۱۳۹۵



شکل (۵): اختلاف میزان بارش سالانه‌ی برآورد شده با مدل LARS-WG نسبت به دوره‌ی پایه تحت سناریوهای مختلف تا سال

۲۱۰۰

بر اساس شکل ۵، میانگین بارش سالانه در هریک از استان‌های کشور تحت سناریوهای منتخب در سه دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ محاسبه و نتایج در جدول ۳ ارائه شد. در نتیجه‌ی وقوع تغییرات اقلیم، بارش سالانه در غالب استان‌های کشور روندی افزایشی نسبت به دوره‌ی پایه خواهد داشت. کاهش بارش تنها تحت سناریوی A2 در بازه‌ی زمانی ۲۰۷۱-۲۱۰۰ در استان‌های بوشهر (۵/۷ درصد)، فارس (۰/۲ درصد)، همدان (۵/۷ درصد)، ایلام (۱۱/۸ درصد)، کرمانشاه (۸/۲ درصد)، کردستان (۱/۸ درصد)، لرستان (۶/۱ درصد)، مرکزی

و آذربایجان غربی (۳/۳ درصد) و تحت سناریوی B1 در بازه‌ی زمانی مذکور در استان بوشهر (یک درصد) رخ می‌دهد. بیش‌ترین افزایش بارش در استان‌های سیستان و بلوچستان (تحت سناریوی B1) و هرمزگان (تحت سناریوهای A1B و A2) مشاهده گردید. نکته‌ی حایز اهمیت این است که این استان‌ها در گروه استان‌هایی هستند که در دوره‌ی پایه، کم‌ترین بارش سالانه را نسبت به سایر استان‌ها دریافت می‌کنند. همچنین، کم‌ترین افزایش بارش غالباً در استان‌هایی همچون ایلام، اردبیل، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، کردستان و بوشهر رخ داده

اختلاف پانزده درجه‌ای عرض جغرافیایی بین جنوبی-ترین و شمالی‌ترین نقطه‌ی کشور، چین خوردگی و پستی بلندی‌های زیاد در سطح کشور و ترکیب توده-های هوایی که از سرزمین‌های مختلف سرچشمه گرفته‌اند بر فلات ایران، منجر به تغییرات آب و هوایی و به‌وجود آمدن اقلیم‌های مختلف در سطح کشور می‌شود. همچنین، مجاورت با دریای عمان و خلیج فارس از یک طرف و تأثیر دریای مدیترانه از طرف دیگر و وجود صحرای خشک عربستان و آفریقا در جنوب غربی و دشت بزرگ سیبری در شمال شرقی در نوع توده‌های هوایی که به ایران می‌رسند مؤثرند (علیزاده، ۱۳۹۱).

است که این استان‌ها در دوره‌ی پایه، دارای بارش سالانه بیش‌تر از میانگین کشوری می‌باشند. به نظر می‌رسد که پدیده‌ی تغییر اقلیم اثرات متفاوتی را بر میزان بارش در خرد اقلیم‌های ایران برجای گذاشته که دلیل آن می‌تواند نشات گرفتن بارندگی از منابع مختلف در بخش‌های مختلف کشور باشد. بارندگی مناطق جنوبی و شمالی کشور به ترتیب تحت تأثیر جبهه‌های سرد سیبری و موسمی و جبهه‌ی مدیترانه‌ای می‌باشد. لکن مناطق مرکزی، جنوبی و شرقی کشور که فاقد ارتفاعات کافی‌اند و در پناه رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس قرار می‌گیرند، بارندگی کمتری داشته و مناطق خشک و بیابانی را به‌وجود می‌آورند (آذرخشی و همکاران، ۱۳۹۲). از سوئی

جدول (۳): میانگین بارش سالانه در سطح استان‌های کشور تحت سناریوهای مختلف اقلیمی تا سال ۲۱۰۰

۲۰۷۱-۲۱۰۰			۲۰۴۱-۲۰۷۰			۲۰۱۱-۲۰۴۰			دوره پایه	استان
B1	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1	A2	A1B		
۵۴۰/۷	۵۰۸/۱	۵۰۵/۹	۵۳۵/۲	۵۴۲/۵	۵۰۷/۸	۵۲۷/۵	۵۰۳/۲	۵۵۳/۸	۴۸۲/۱	اردبیل
۲۵۵/۸	۲۴۳/۶	۲۷۷/۴	۲۷۰/۵	۲۷۳/۶	۲۹۲/۱	۲۸۱/۷	۲۹۷/۷	۳۰۶/۳	۲۵۸/۴	بوشهر
۳۳۰/۱	۲۹۰/۶	۳۳۳/۳	۳۱۲/۵	۳۳۰/۰	۳۱۶/۴	۳۴۰/۲	۳۴۶/۴	۳۳۰/۴	۲۷۸/۳	چهارمحال بختیاری
۴۰۵/۵	۳۷۷/۴	۳۸۷/۰	۴۰۴/۰	۴۱۹/۰	۳۹۴/۴	۴۲۷/۰	۴۱۰/۳	۴۲۷/۴	۳۷۷/۴	آذربایجان شرقی
۲۲۹/۸	۲۰۷/۱	۲۳۱/۴	۲۲۳/۰	۲۲۹/۳	۲۲۲/۰	۲۳۵/۶	۲۳۴/۹	۲۵۳/۳	۱۹۵/۰	اصفهان
۲۴۸/۰	۲۳۴/۷	۲۵۷/۸	۲۴۷/۹	۲۶۳/۲	۲۶۴/۴	۲۶۵/۶	۲۸۵/۳	۲۸۷/۷	۲۳۵/۱	فارس
۱۱۰۴/۷	۱۰۷۸/۲	۱۰۸۱/۸	۱۱۲۲/۳	۱۱۴۱/۷	۱۰۶۸/۶	۱۱۵۲/۵	۱۰۸۴/۶	۱۱۸۴/۰	۱۰۳۲/۹	گیلان
۴۵۸/۰	۴۳۱/۳	۴۳۸/۲	۴۳۳/۰	۴۵۰/۲	۴۵۴/۳	۴۵۹/۸	۴۶۰/۸	۴۴۶/۱	۳۹۶/۱	گلستان
۳۷۳/۴	۳۳۱/۶	۳۸۳/۲	۳۷۲/۴	۳۸۵/۴	۳۶۵/۸	۴۱۴/۵	۳۹۶/۴	۳۹۱/۹	۳۵۱/۸	همدان
۲۰۶/۱	۱۹۶/۶	۲۱۰/۸	۱۷۲/۵	۲۱۴/۶	۲۲۱/۶	۲۱۷/۰	۲۴۰/۶	۲۷۶/۰	۱۵۴/۱	هرمزگان
۵۲۰/۶	۴۱۱/۸	۵۴۹/۹	۵۰۰/۴	۴۹۸/۴	۴۸۴/۶	۵۶۳/۵	۵۳۶/۸	۴۹۵/۴	۴۶۶/۷	ایلام
۱۴۷/۳	۱۳۹/۴	۱۴۵/۲	۱۳۴/۲	۱۴۵/۹	۱۴۴/۹	۱۶۵/۰	۱۷۲/۰	۱۷۱/۱	۱۲۳/۳	کرمان
۴۷۴/۶	۴۰۳/۲	۵۰۱/۲	۴۷۳/۹	۴۶۹/۳	۴۵۰/۳	۵۱۹/۶	۴۹۴/۷	۴۶۹/۸	۴۳۹/۲	کرمانشاه
۳۰۵/۲	۳۰۲/۸	۳۶۹/۰	۳۲۵/۶	۳۴۴/۴	۳۳۱/۴	۳۳۹/۱	۳۵۶/۹	۳۵۰/۶	۲۸۱/۴	خوزستان
۲۶۶/۴	۲۵۱/۰	۲۹۰/۹	۲۷۲/۱	۲۸۳/۷	۲۸۰/۰	۲۸۶/۴	۲۹۸/۸	۲۹۴/۸	۲۴۶/۰	کهگیلویه و بویراحمد
۴۵۲/۸	۴۲۷/۱	۴۶۸/۰	۴۶۳/۷	۴۸۶/۴	۴۴۹/۴	۴۹۸/۸	۴۷۶/۹	۴۷۶/۸	۴۳۴/۸	کردستان
۴۵۳/۱	۳۷۳/۲	۴۷۸/۰	۴۴۲/۱	۴۵۳/۲	۴۳۱/۷	۴۸۴/۲	۴۷۱/۹	۴۵۴/۰	۳۹۷/۶	لرستان
۳۳۴/۳	۳۰۰/۰	۳۴۱/۹	۳۳۲/۶	۳۳۹/۸	۳۲۷/۵	۳۵۵/۲	۳۸۴/۳	۳۴۱/۵	۳۰۵/۰	مرکزی
۷۴۶/۴	۷۱۶/۶	۷۵۰/۹	۷۴۷/۲	۷۴۵/۸	۷۳۲/۷	۷۴۴/۰	۷۳۱/۱	۷۷۵/۴	۶۷۶/۱	مازندران
۳۲۵/۹	۲۸۹/۰	۳۱۰/۸	۳۰۷/۱	۳۴۰/۰	۳۰۹/۲	۳۲۵/۲	۳۳۱/۲	۳۲۲/۸	۲۶۴/۷	خراسان شمالی
۵۴۱/۷	۵۱۸/۵	۵۴۶/۱	۵۵۰/۶	۵۶۱/۶	۵۴۱/۶	۵۸۴/۶	۵۶۰/۸	۵۷۸/۰	۵۰۹/۳	قزوین
۲۵۵/۸	۲۳۸/۹	۲۶۲/۵	۲۵۲/۵	۲۵۶/۵	۲۵۰/۵	۲۶۴/۲	۲۵۸/۲	۲۵۸/۸	۲۲۴/۲	قم

۲۰۷۱-۲۱۰۰			۲۰۴۱-۲۰۷۰			۲۰۱۱-۲۰۴۰			دوره پایه	استان
B1	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1	A2	A1B		
۲۴۸/۳	۲۳۴/۶	۲۴۱/۸	۲۴۴/۳	۲۶۲/۸	۲۳۷/۱	۲۵۵/۶	۲۵۱/۹	۲۶۲/۴	۲۱۹/۴	خراسان رضوی
۳۱۵/۸	۳۰۰/۸	۳۲۰/۸	۳۱۱/۸	۳۲۰/۴	۳۱۴/۶	۳۱۷/۲	۳۱۴/۸	۳۲۵/۴	۲۷۱/۰	سمنان
۱۳۹/۷	۱۳۰/۰	۱۳۰/۱	۱۲۹/۰	۱۴۳/۶	۱۴۵/۱	۱۴۹/۹	۱۵۶/۰	۱۸۷/۴	۱۰۴/۳	سیستان-بلوچستان
۱۵۶/۱	۱۵۲/۳	۱۵۴/۳	۱۶۱/۴	۱۶۷/۰	۱۵۵/۱	۱۶۵/۳	۱۶۸/۹	۱۷۶/۰	۱۴۰/۶	خراسان جنوبی
۳۹۹/۱	۳۸۴/۴	۴۰۹/۴	۴۰۳/۳	۴۰۷/۶	۳۶۹/۹	۴۱۰/۰	۴۰۱/۸	۴۱۲/۴	۳۵۹/۵	تهران
۳۷۳/۱	۳۴۲/۴	۳۶۱/۵	۳۸۴/۸	۳۹۰/۳	۳۶۴/۶	۴۰۴/۴	۳۹۱/۴	۳۹۴/۰	۳۵۴/۱	آذربایجان غربی
۱۵۱/۰	۱۴۳/۸	۱۵۰/۷	۱۵۰/۶	۱۵۴/۵	۱۴۷/۶	۱۵۶/۳	۱۵۹/۱	۱۶۲/۵	۱۲۹/۳	یزد
۵۲۲/۷	۴۹۶/۱	۵۱۸/۲	۵۳۰/۷	۵۴۶/۷	۵۱۵/۶	۵۶۱/۴	۵۳۵/۰	۵۶۰/۶	۴۸۵/۹	زنجان

نتیجه گیری

۲۰۷۱-۲۱۰۰ کم‌تر از مقدار آن در دوره‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ بود. همچنین، افزایش بارش در کرانه‌های دریاهای خزر، عمان و خلیج فارس، دامنه‌های غربی رشته کوه‌های زاگرس و دامنه‌های شمالی رشته کوه‌های البرز بیش‌تر از سایر مناطق بوده و نواحی مرکزی، شرقی و شمال شرقی ایران دستخوش تغییرات کم‌تری بودند. به این ترتیب، روند یکسانی در تغییرات بلند مدت بارش برای تمام مناطق کشور مشاهده نشد که این مساله، لزوم برنامه‌ریزی در استفاده‌ی بهینه از آب سبز در کشور جهت نیل به کشاورزی پایدار را به اثبات می‌رساند.

در این پژوهش، تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات زمانی و مکانی بارش بر اساس خروجی‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 تا سال ۲۱۰۰ بررسی شد. تحلیل آماری نتایج بدست آمده از مدل LARS-WG قابلیت کاربرد این مدل در تولید داده‌های اقلیمی در تمام ایستگاه‌های منتخب را به اثبات رساند. نتایج شبیه‌سازی بارش تا سال ۲۱۰۰ حاکی از تغییر غیریکنواخت بارش در دو مقیاس مکانی و زمانی در سطح کشور ایران می‌باشد. علی‌رغم افزایش میانگین بارش در تمام دوره‌های زمانی، میانگین بارش در دوره‌های زمانی ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و

منابع

- آذرخشی، م.، ج. فرزاد مهر، م. اصلاح و ح. صحابی. ۱۳۹۲. بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش و پارامترهای دما در مناطق مختلف آب و هوایی ایران. نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۱، شماره ۱، ص ۱-۱۶.
- بابائیان، ا.، ز. نجفی‌نیک، ف. زابل عباسی، م. حبیبی‌نوخندان، ح. ادب و ش. ملیبوسی. ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، ص ۱۵۲-۱۳۵.
- دوستی، م.، م. حبیب‌نژادروشن، ک. شاهدی و م. ح. میر یعقوب‌زاده. ۱۳۹۲. بررسی شاخص‌های اقلیمی حوضه آبخیز تمر، استان گلستان در شرایط تغییر اقلیم با کاربرد مدل LARS-WG. مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹، شماره ۴، ص ۱۷۷-۱۸۹.

رضائی، م.، م. نهتانی، ع. ر. مقدم‌نیا، ع. ج. آبکار و م. رضائی. ۱۳۹۳. بررسی کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری در پیش‌بینی بارش در دو اقلیم خشک و فراخشک. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، دوره ۲۸، شماره ۴، ص ۸۴۵-۸۳۶.

روشن، غ.، ع. قانقرمه و ا. شاهکویی. ۱۳۹۲. اثر تغییر اقلیم منطقه‌ای بر نیاز آبی غلات دیم ایران. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۲۴، شماره ۴، ۱۹۴-۱۷۹.

سهرابی ملایوسف، س.، ا. فاخری‌فرد و ا. بزرگ‌حداد. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر نوبتی بارش‌های پاییز و زمستان بر عملکرد سالانه دیم با استفاده از شاخص زمان-بارش (RTI). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، دوره ۲۶، شماره ۱، ص ۸۴-۷۵.

عباسی، ف.، ش. ملبوسی، ا. بابائیان، م. اثمیری و ر. برهانی. ۱۳۸۹. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، دوره ۲۴، شماره ۲، ۲۳۳-۲۱۸.

علیزاده، ا. ۱۳۹۱. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ سی و چهارم. انتشارات دانشگاه امام رضا. مشهد.
علیزاده، ا.، ن. صالح‌نیا، ن. سیاری، م. نصیری فیلاورگانی و ک. داوری. ۱۳۹۲. پیش‌بینی تغییرات احتمالی بارش مؤثر در پهنه‌های اقلیمی ایران برای زراعت گندم (طی دوره ۹۰ ساله آینده). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، سال چهارم، شماره ۷، ص ۵۸۴-۵۷۵.

عیوضی، م.، ا. مساعدی، م. مفتاح‌هلقی و م. حسام. ۱۳۸۹. بررسی روند تغییرات بارش در مناطق شمالی استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. دوره ۱۷، شماره ۲، ۱۶۸-۱۵۵.
قمقامی، م.، ن. قهرمان و س. حجابی. ۱۳۹۳. آشکارسازی تأثیر تغییر اقلیم بر خشک‌سالی‌های هواشناسی در شمال غرب ایران. مجله‌ی فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۰، شماره ۱، ۱۸۴-۱۶۷.

مظفری، غ.، ع.، ش. شفیعی و ب. رکن‌الدینی. ۱۳۹۳. تحلیل آماری- فضایی بارش پیش‌بینی شده ایران توسط مدل جفت شده گردش عمومی جو- اقیانوسی HadCM3. نشریه هواشناسی کشاورزی. سال دوم، شماره ۲، ص ۴۶-۳۷.

نادی، م.، و ع. خلیلی. ۱۳۹۲. طبقه‌بندی اقلیم بارش ایران با روش تحلیل عاملی- خوشه‌ای. تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۴، شماره ۳، ص ۲۴۴-۲۳۷.

Fu, G., S. P. Charles, F. H. Chiew, J. Teng, H. Zheng, A. J. Frost, W. Liu and S. Kirshner. 2013. Modelling runoff with statistically downscaled daily site, gridded and catchment rainfall series. *J. Hydrol.*, 492: 254-265.

IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Synthesis report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge.

Reddy, K. S., M. Kumar, V. Maruthi, B. Umsha and C. V. K. Nageswar. . 2014. Climate change analysis in southern Telangana region, Andhra Pradesh using LARS-WG model. *Curr. Sci.*, 107: 54-62.

Reidsma, P., A. O. Lansink and F. Ewert. 2009. Economic impacts of climatic variability and subsidies on European agriculture and observed adaptation strategies. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change.*, 14: 35-59.

Ribalaygua, J., M. R. Pino, J. Portoles, E. Roldan, E. Gaitan, D. Chinarro and L. Torres. 2013. Climate change scenarios for temperature and precipitation in Aragón (Spain). *Sci. Total Environ.*, 463-464: 1015-1030.

سال هفتم • شماره بیست و پنجم • پاییز ۱۳۹۵

Semenov, M. A. and E. M. Barrow. 2002. A stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version 3.0.

Semenov, M. A., R. J. Brooks, E. M. Barrow and C. W. Richardson. 1998. Comparison of the WGEN and LARSWG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Res.*, 10: 95-107.

Steele-Dunne, S., P. Lynch, R. McGrath, T. Semmler, S. H. Wang, J. Hanafin and P. Nolan. 2008. The impacts of climate change on hydrology in Ireland. *J. Hydrol.*, 356: 28-45.

Tabari, H., M. T. Taye and P. Willems. 2015. Water availability change in central Belgium for the late 21st century. *Global and Planetary Change*, 131: 115-123.

Zarghami, M., A. Abdi, I. Babaeian, Y. Hassanzadeh and R. Kanani. 2011. Impacts climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. *Global and Planetary Change.*, 78: 137-146.

Harmsen, E. W., N. L. Miller, N. J. Schlegel and J. E. Gonzalez. 2009. Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico. *Agric. Water Manage.*, 96: 1085-1095.

Lhomme, J. P., R. Mougou and M. Mansour. 2009. Potential impact of climate change on durum wheat cropping in Tunisia. *Climatic Change*, 96: 549-564.

Terink, W., W. W. Immerzeel and P. Droogers. 2013. Climate change projections of precipitation and reference evapotranspiration for the Middle East and Northern Africa until 2050. *Int. J. Climatol.*, 33: 3055-3072.

Nkomozepe, T. and S. O. Chung. 2014. The effect of climate change on the water resources of the Geumho River Basin, Republic of Korea. *J. Hydro-environ. Res.*, 8: 358-366.

Temporal and spatial variation of rainfall in Iran under climate change until 2100

Seyed Saeed Mousavi¹, Fatemeh Karandish², Hossein Tabari³

Abstract

In this research, the long-term effect of climate change on the spatial and temporal distribution of precipitation in Iran was investigated under A1B, A2 and B1 scenarios up to 2100. The LARS-WG model calibrated by daily precipitation data from 52 synoptic stations for the reference period (1980-2100) was used for downscaling the HADCM3 atmospheric general circulation model data under the mentioned scenarios up to 2100. The spatial distribution maps of precipitation changes were prepared in GIS environment. Low root mean square error (RMSE) and high efficiency factor (EF) values for comparing the observed and simulated precipitation, demonstrates the ability of LARS-WG for precipitation simulation. Simulation results showed that climate change causes a non-uniform precipitation increase for both spatial and temporal scales in a major part of the country. The precipitation increase over the Caspian Sea, Oman Sea and Persian Gulf coasts, western hillsides of the Zagros Mountains and northern hillsides of the Alborz Mountains was higher than that in the central, eastern and north-eastern parts. Despite a positive significant increasing trend in rainfall during 1980-2100, a decreasing trend was observed in rainfall during 2010-2100 so average rainfall during 2041-2070 and 2071-2100 was lower than one for 2011-2040. These results emphasize on the need for planning to optimally use of green water in the country.

Key Word: Climate Change Scenarios, HADCM3 Model, LARS-WG Model, Statistical Downscaling,

¹ . MSc student, Water Engineering Department, University of Zabol, Zabol, Iran. Email: saeedmoosavi8@yahoo.com

² . (Corresponding author), Assistant Professor, Water Engineering Department, University of Zabol, Zabol, Iran. Email: Karandish_h@yahoo.com & F.Karandish@uoz.ac.ir

³ . Department of Civil Engineering, KU, Leuven, Belgium. . Email: tabari.ho@gmail.com