

پیش‌نگری تغییرات دما و بارش با استفاده از سناریوهای واداشت تابشی مولد آب و هوایی LARS-WG در زاگرس جنوبی

حسن محمدی^{۱*}، رضا خلیلی^۱، سجاد محمدی^۲

^{۱*} کارشناس ارشد مهندسی عمران، مهندسی مدیریت منابع آب، دانشگاه یاسوج، کهگیلویه و بویر احمد، ایران
^۲ کارشناس مهندسی عمران، عمران، چهارمحال و بختیاری، ایران،

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۲، بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۱۹، پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۲، انتشار آنلاین: ۱۴۰۰/۱۲/۲۲)

چکیده

پیش‌نگری تغییرات متغیرهای هواشناسی در دراز مدت، از اهمیت زیادی در مطالعات تغییرات اقلیمی برخوردار است. این مطالعه با هدف ارائه چشم‌اندازی از تغییرات دما و بارش در منطقه جنوب غرب ایران با استفاده از سناریوهای واداشت تابشی مولد آب و هوایی LARS-WG و نمایش نتایج در محیط GIS می‌باشد تا در دهه‌های آینده برنامه‌ریزی‌های کلانی به منظور اتخاذ روش‌های سازگار و کاهش پیامدهای گرمایش جهانی انجام شود. بدین منظور مقادیر روزانه بارش، بیشینه دما، کمینه دما و ساعات آفتابی ۳۴ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی قرار گرفت. اقلیم این ایستگاه‌ها بر اساس روش طبقه‌بندی دومارتن تعیین و از معیارهای اندازه‌گیری خطای پیش‌بینی همانند میانگین قدر مطلق انحرافات (MAD (Mean Absolute Deviation)، میانگین مجذور خطا (MSE (Mean Square Error)، جذر میانگین مجذور خطا (RMSE (Root Mean Square Error) و درصد میانگین قدر مطلق خطا (MAPE (Mean Absolute Percentage Error) استفاده شد. مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG برای تحلیل داده‌های تاریخی روزانه بارش، تابش خورشیدی و درجه حرارت‌های بیشینه و کمینه روزانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه و شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی آینده در نظر گرفتن سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که مدل با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی می‌باشد. دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۸۰ میلادی با دوره آماری ۲۰۳۸-۲۰۱۸ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 مورد مقایسه قرار گرفت؛ نتایج بدست آمده برای ایستگاه‌های مورد مطالعه، بطور کلی روند افزایش دما و کاهش میزان بارش را نشان داد.

کلمات کلیدی: بارش، تغییر اقلیم، زاگرس جنوبی، دما، RCP، LARS-WG.

۱ مقدمه

طور کلی، تغییر اقلیم اشاره به دگرگونی‌های غیر منتظره در خصوصیات آب و هوایی زمین دارد که در دراز مدت رخ می‌دهد (Goyal, 2004). این تغییرات بطور کلی به دلیل گسترش فعالیت‌های صنعتی بشر در دهه‌های اخیر و افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو زمین رخ داده است (Solomon, 2007). در نتیجه این تغییرات، پارامترهای هواشناسی نیز دچار دگرگونی شده‌اند. افزایش دمای کره زمین مشخص‌ترین علامت این تغییرات است. دمای کره زمین در طول ۱۰۰ سال گذشته ۰/۷۴ درجه سلسیوس افزایش یافته و تا سال ۲۱۰۰، این افزایش به ۳ درجه سلسیوس خواهد رسید

رشد فزاینده صنایع و کارخانه‌ها از یک طرف و جنگل زدایی و تخریب محیط زیست از طرف دیگر طی دهه‌های اخیر افزایش روزافزون گازهای گلخانه‌ای در سطح کره زمین را به دنبال داشته است (Johnson, Hanson, Hardegree, & E.B., 1996). در واقع اقلیم کره زمین دستخوش تغییرات مهمی شده، به نحوی که جا به جایی فراگیری در رژیم بارندگی الگوهای فشار و دمای سطح آب دریاها صورت گرفته است؛ این امر بر بخش‌های مختلف حیات در این کره تأثیرات مستقیم و غیرمستقیمی داشته است (Harpham & Wilby, 2005). به

این گازها کاهش نیابد، میانگین دمای سطحی کره زمین تا سال ۲۱۰۰ به میزان ۱ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. به نظر می‌رسد این گرمایش جهانی سبب افزایش مقادیر حدی و شرایط بد آب‌وهوایی در دوره‌های نه چندان دور می‌شود (M. Semenov & Stratonovit, 2010). مدل LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های آماری تولیدکننده داده‌های تصادفی وضع هواست که می‌تواند برای تحلیل داده‌های اقلیمی گذشته و شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی روزانه (بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه) برای آینده در یک ایستگاه استفاده شود (M. Semenov & Barrow, 2002; M. A. Semenov & Brooks, 1998). سایر پارامترهای آب و هوایی همانند سرعت باد و نقطه شبنم را نیز می‌توان توسط این مدل شبیه‌سازی نمود (Parlange & Katz, 2000). در تعدادی از پژوهش‌ها برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر بارش‌های بیشینه روزانه از مدل LARS-WG استفاده شده است (Hejazizadeh, Z, et al., 2001). در این پژوهش با بررسی نتایج داده‌های روزانه سعی بر پیش‌نگری تغییرات دما و بارش با استفاده از سناریوهای واداشت تابشی مولد آب و هوایی LARS-WG در زاگرس جنوبی شد. در پژوهشی (Khzaei, M. R; And Bayazidi, M., 2016) اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی و جریان سالانه حوضه سیروان با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی بررسی شد و متغیرهای بارش، بیشینه دما و کمینه دما شبیه‌سازی شد. (Nodeh Farahani, M. A., et al., 2018) ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر دما، بارش و خشکسالی‌های آینده در حوضه شادگان با نرم افزار ریز مقیاس‌نمایی LARS-WG مورد بررسی قرار گرفت؛ نتایج بدست آمده برای دوره آینده (۲۰۲۰-۲۰۳۹) در مقایسه با دوره گذشته (۱۹۸۶-۲۰۰۵) نشانگر افزایش دمای بیشینه و کمینه در تمام ماه‌های سال در دوره آینده نسبت به دوره پایه در حوضه شادگان بود؛ بدین صورت که وضعیت خشکسالی در دوره آتی تحت سناریوی RCP4.5 و در مقیاس‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه به ترتیب ۱۷/۱۶، ۱۴/۷۰ و ۱۸/۷۴ درصد از کل ماه‌ها و تحت سناریوی RCP8.5 در مقیاس‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه به

(Levinson & Fettig, 2013). تغییر اقلیم، موضوعی مهمی است که توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود معطوف کرده و در زمینه‌های مختلفی همچون کشاورزی، آبیاری، اقتصاد، مخاطرات، حمل و نقل، آلودگی هوا و منابع نظامی نمود پیدا کرده است. بحث تغییر اقلیم، برای اولین بار در سال ۱۹۸۰ به دنبال افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای جو، در محافل علمی مطرح گردید. افزایش دمای کره زمین، ویژگی‌های بارش، رطوبت، سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها، الگوهای گردش هوا و سایر عوامل مرتبط با کشاورزی و منابع آب را به شدت تغییر داده و موجب وقوع خشکسالی‌ها، سیل‌های مکرر، گردبادها، طوفان‌ها، سونامی‌ها، از بین رفتن یخچال‌ها، کاهش میزان بارش برف، جاری شدن روان‌آب‌های شور به سمت خشکی‌ها و شور شدن خاک‌ها و منابع آب شیرین گشته و مناطق ساحلی را در معرض تهدید قرار می‌دهد (Ganji, M.H 2001). اثر تغییر اقلیم بر منابع آب به عنوان موضوعی چالش برانگیز در بسیاری از مناطق خشک دنیا مطرح بوده و توجه بسیاری از پژوهشگران را در دهه‌های اخیر به خود معطوف کرده است. انتظار می‌رود که تغییر در میانگین فراسنج‌های اقلیمی، بویژه دما و بارندگی، تأثیر قابل توجهی بر منابع آب در دسترس آینده بگذارد؛ به گونه‌ای که طبق مطالعات صورت گرفته پیش از این، تغییرات ۱۰ درصدی میزان نزولات جوی می‌تواند منجر به تغییرات ۱۵ تا ۲۵ درصدی در منابع آب شود و همچنین افزایش دما به میزان دو درجه سانتی‌گراد می‌تواند به کاهش ۵ تا ۱۲ درصدی جریان‌ها بیانجامد (Lorena, Leonardo, Enrique, & Goffredi, 2010; Zhang, J.Y, 2009). گزارش‌های ارزیابی چهارم (The Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC) حاکی از آن است که به دلیل افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های گذشته در جو زمین، خروج امواج حرارتی از جو زمین با موانع بیشتری روبرو شده است که افزایش دمای هوا را به دنبال داشته است. این افزایش به میزان ۰/۳ تا ۰/۶ درجه سانتی‌گراد در طول قرن بیستم میلادی بوده و در دهه‌های اخیر شتاب بیشتری یافته است. این در حالی است که اگر انتشار

کممک ریزمقیاس نمایی مدل LARS-WG انجام شد. نتایج بررسی اثرات تغییر اقلیم نشان از افزایش کمینه دما به مقدار ۰/۷ تا ۱/۸ درجه و افزایش بیشینه دما به میزان ۰/۷ تا ۱/۷ در دوره آینده داشت. برای بارش نیز هر چند میزان افزایش بسیار کم بوده است ولی نتایج افزایش ۲ تا ۱۲ درصدی میزان بارش را نشان داد.

(Salahi, B., et al., 2017) به پیش‌نگری تغییرات دما و بارش با استفاده از مدل LARS-WG در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج نشان داد که این مدل توانایی لازم جهت شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش در حوضه مورد مطالعه را دارد و بر اساس نتایج در دهه ۲۰۵۰ بارش به میزان ۱۲/۱ درصد کاهش و دما به میزان ۱/۳ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت.

۲. مواد و روش‌ها

۱-۲ منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر، به منظور پیش‌بینی تغییرات آب و هوایی به منظور آماده‌سازی و کنترل کیفی داده‌ها، داده‌های روزانه وارد مدل LARS-WG شدند. داده‌های مربوط به تعداد ۳۴ شهر در ۶ استان چهارمحال و بختیاری، خوزستان، لرستان، فارس، اصفهان و کهگیلویه و بویراحمد مورد استفاده قرار گرفت. محدوده مورد مطالعه، واقع در منطقه زاگرس جنوبی کشور دارای اهمیت زیادی از نظر میزان بارش، حجم رواناب و تولید انرژی برق آبی است. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه آورده شده است.

۲-۲ طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن

به منظور طبقه‌بندی اقلیمی مناطق مورد مطالعه از طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن (De Martonne) بهره گرفته شد؛ این طبقه‌بندی بر مبنای شاخص خشکی (Index Aridity) بنا نهاده شده است و در آن مطابق رابطه (۱) از دما و بارندگی برای تعیین نوع اقلیم استفاده می‌شود.

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (1)$$

ترتیب ۱۶/۴۵، ۱۷/۰۳ و ۱۵/۲۱ درصد از ماه‌ها پیش‌بینی شد. در تحقیق دیگری (Karimi, S., Yavari, A. R., & Niksookhan, M. H., 2015) به منظور برنامه‌ریزی منابع آب در آینده، تجزیه، تحلیل و پیش‌بینی پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش روزانه در حوضه دماوند به منظور پیش‌بینی تغییرات آینده پارامترهای یادشده با استفاده از مدل LARS-WG برای دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ انجام شد؛ مدل LARS-WG عملکرد عالی در ریزمقیاس نمایی بیشینه دما و کمینه دما در منطقه مورد مطالعه داشته، اما در مقایسه با درجه حرارت، مدل خطای بیشتری در کاهش مقیاس بارش روزانه را نشان داد. این مسئله با بررسی شاخص‌های عملکرد از جمله ضریب تعیین، میانگین خطای مطلق و خطای جذر میانگین مربعات تأیید شد. همچنین نتایج نشان داد که بارش در آینده تحت این سناریو کاهش، اما دما افزایش خواهد یافت.

(Ahmadi, M. ; et al, A., 2017) بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی تقویم زراعی کشت جو دیم در استان لرستان به عنوان یک منطقه و قطب مؤثر در کشت غلات مورد بررسی قرار گرفت. پیش‌بینی تغییر اقلیم با استفاده از مدل LARS-WG جهت ریزمقیاس نمایی انجام شد. داده‌های روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۰) برای شش ایستگاه به عنوان داده‌های مبنای استفاده با استفاده از مدل LARS-WG وضعیت آینده تا افق ۲۰۳۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تاریخ کشت در تمام ایستگاه‌ها زودتر اتفاق خواهد افتاد و طول دوره رشد در تمام ایستگاه‌ها کاهش می‌یابد، بیشترین کاهش طول دوره رشد در ایستگاه الیگودرز با ۶۲ روز تخمین زده شد. (M. Semenov & Stratonovit, 2010) نتایج بررسی دما و بارش در ۲۰ ایستگاه واقع در اقلیم‌های مختلف انگلستان، با استفاده از مدل LARS-WG نشان داد که مدل یادشده دارای توانایی و دقت بالایی است. (Ajamzadeh, Ali, et al., 2016) ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه فیروزآباد واقع در استان فارس، با

خشک، ۸ ایستگاه دارای اقلیم مدیترانه‌ای و ۱ ایستگاه دارای اقلیم بسیار مرطوب هستند.

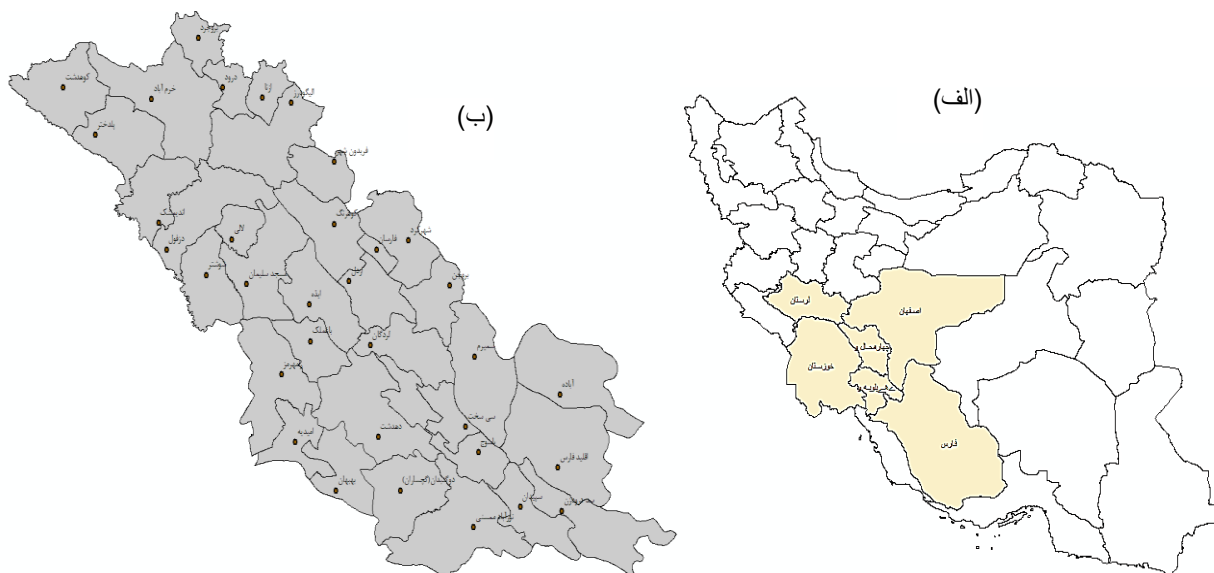
۳-۲- ایستگاه‌های مورد بررسی

خصوصیات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۲) دیده می‌شود. بر اساس این جدول، ارتفاع ایستگاه‌های مورد مطالعه نسبت به سطح دریا از ۲۷ متر تا ۲۴۵۹.۹ متر، میانگین بارش سالانه از ۱۹۹.۵ تا ۱۱۶۷.۷ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه از ۱۲.۶ تا ۲۰.۸۵ متغیر است.

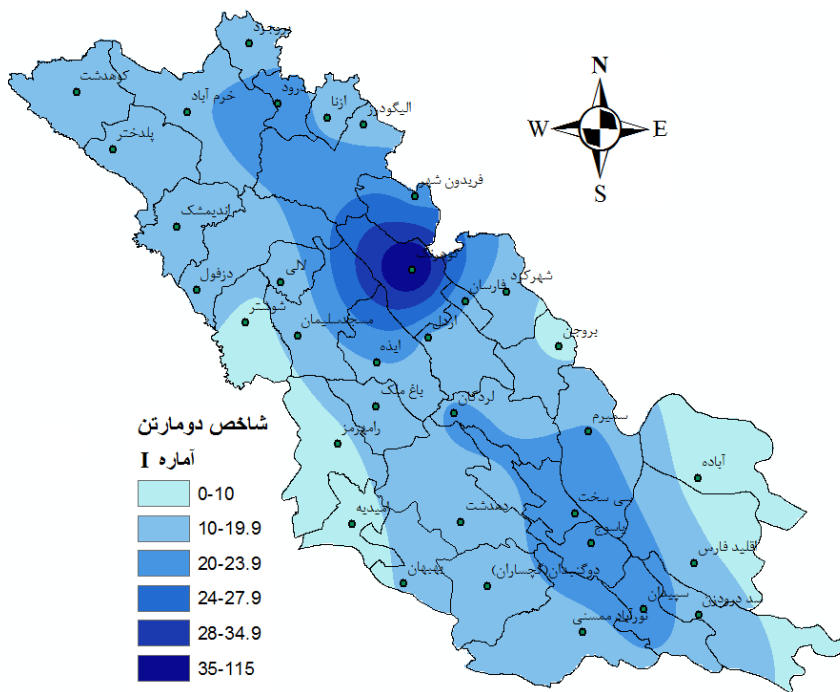
در رابطه اخیر، I: شاخص خشکی دومارتن، P: میانگین بارش سالانه بر حسب میلی‌متر و T میانگین دمای سالانه بر حسب درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. جدول (۱) شش نوع اقلیم مشخص شده در طبقه بندی اقلیمی دومارتن را بر حسب مقدار شاخص خشکی I نشان می‌دهد. شکل (۲) طبقه بندی اقلیمی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همانطور که این شکل نشان می‌دهد، اقلیم نیمه‌خشک دارای بیشترین درصد سطح پوشش در منطقه مورد مطالعه است. در مجموع، ۵ تا از ایستگاه‌ها دارای اقلیم خشک، ۲۰ ایستگاه دارای اقلیم نیمه

جدول ۱: طبقه بندی اقلیمی دومارتن

نوع اقلیم	خشک	نیمه خشک	مدیترانه ای	نیمه مرطوب	مرطوب	بسیار مرطوب
ضریب	$10 > I$	$10 < I < 19.9$	$20 < I < 23.9$	$24 < I < 27.9$	$28 < I < 34.9$	$I > 35$



شکل ۱. الف) استان‌های مورد مطالعه و ب) ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه



شکل ۲. نقشه طبقه بندی ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص اقلیمی دومارتن

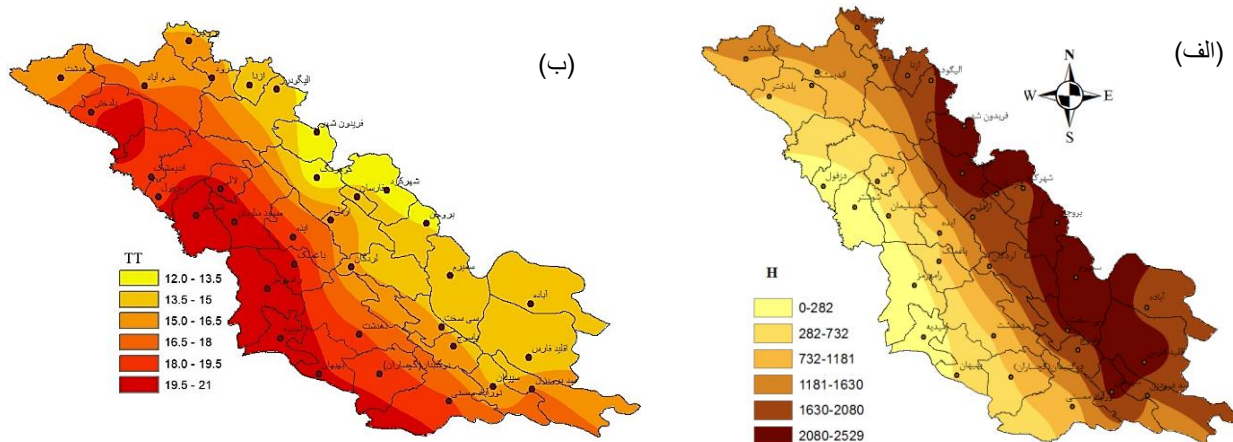
جدول ۲. خصوصیات ایستگاه‌های مورد بررسی واقع در منطقه زاگرس جنوبی ایران

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)	طبقه بندی اقلیمی دومارتن	بارش ماهانه (mm)	حداکثر دمای مطلق (C)	حداقل دمای مطلق (C)	متوسط دما (C)	متوسط حداکثر دمای (C)	متوسط حداقل دمای (C)
مسجد سلیمان	49° 24'	31° 98'	320.5	مرطوب	313.13	52	-4.4	20.37	25.74	15.01
باغملک	49° 88'	31° 53'	710	بسیار	542.65	50	-4.3	19.72	25.63	13.81
اندیمشک	48° 25'	32° 66'	354	مرطوب	373.90	44.76	-3.8	19.72	25.63	13.81
دزفول	48° 43'	32° 25'	82.9	مرطوب	234.05	53.6	-9	19.26	25.86	12.66
شوستر	48° 83'	32° 05'	67	نیمه	248.97	52.6	-0.3	20.84	26.58	15.10
لالی	49° 09'	32° 33'	365	مرطوب	341.57	50.8	-3	20.05	25.94	14.17
رامهرمز	49° 59'	31° 27'	150.5	نیمه	253.72	52	-1.8	20.85	26.71	14.99
ایذه	49° 85'	31° 84'	767	بسیار	538.28	48	-6.8	18.60	24.56	12.64
امیدیه	49° 39'	30° 46'	27	مدیترانه	190.49	52.06	-2.4	20.74	26.83	13.71
بهبهان	50° 14'	30° 36'	313	نیمه	223.12	50.6	-3.2	19.76	26.07	13.45
کوهرنگ	50° 12'	32° 45'	2365	بسیار	1167.72	35.8	-30.6	12.60	18.27	6.94
شهرکرد	50° 51'	32° 29'	2048.9	بسیار	294.66	42	-32.4	13.06	20.01	6.12
اردل	50° 65'	32° 00'	1873	بسیار	383.47	39.8	-12	16.11	21.55	10.67
فارسان	50° 55'	32° 25'	2065	بسیار	405.11	38.6	-21	14.21	20.48	7.95
لردگان	50° 49'	31° 50'	1611	بسیار	473.81	41.6	-17	15.36	21.82	8.91
بروجن	51° 29'	31° 59'	2260	مدیترانه	240.29	39.6	-26.8	19.42	19.42	6.49
سمیرم	51° 54'	31° 41'	2459.9	بسیار	428.17	35.2	-17.4	13.87	18.83	8.92
فریدون شهر	50° 12'	32° 56'	2490	بسیار	460.01	36.6	-25	12.77	17.97	7.57
آباده	52° 40'	31° 11'	1980	نیمه	97.14	39.6	-21.4	14.51	20.80	8.23

7.80	19.63	13.71	-20.8	36.6	247.09	مرطوب	2300	30°54'	52° 38'	اقلید فارس
11.58	21.52	16.55	-11.2	41.6	388.25	بسیار	1642	30° 20'	52° 42'	سد درودزن
10.23	19.88	15.05	-15.5	36.4	550.79	بسیار	2201	30°23'	52° 00'	سپیدان
11.5	24.94	18.22	-6	46.4	362.92	مرطوب	972	30°07'	51° 53'	نورآباد ممسنی
8.04	19.71	13.87	-31	41	326.82	بسیار	2022.1	33° 40'	49° 70'	الیگودرز
13.56	24.63	19.09	-4.4	48.4	303.35	مرطوب	713.5	33° 15'	47° 71'	پلدختر
10.41	21.51	15.96	-24.4	42.6	548.96	بسیار	1522.3	33° 52'	49° 00'	درود
9.29	21.11	15.25	-21.4	41.4	377.88	بسیار	1629	33° 91'	48° 75'	بروجرد
7.37	20.43	13.90	-30.4	40.3	379.71	بسیار	1871.8	33° 44'	49° 40'	ازنا
9.42	22.32	15.87	-14.16	47	398.27	بسیار	1147.8	33°43'	48° 28'	خرم آباد
8.65	22.75	15.70	-20.6	44.6	309.59	بسیار	1197.8	33°52'	47° 39'	کوهدهشت
9.35	21.24	15.29	-19	40.4	627.14	بسیار	1816.3	30°41'	51° 55'	یاسوج
9.40	20.64	15.02	-13.2	41.8	506.65	بسیار	2133.4	30°51'	51° 46'	سی سخت
12.94	24.90	18.92	-4	48.8	351.88	مرطوب	726	30°34'	50° 49'	دوگنبدان (گچساران)
11.63	24.87	18.25	-6	47.4	314.28	مرطوب	793.3	30°47'	50° 58'	دهدشت

بارندگی را می توان مهمترین عاملی دانست که بطور مستقیم در چرخه هیدرولوژی دخالت دارد. منظور از بارندگی کلیه نزولات جوی است که به سطح زمین وارد می شود. از زمانی که یک قطره باران در هوا تشکیل می شود تا موقعی که به زمین می رسد پدیده هایی رخ می دهد که بیشتر در قلمرو علم هواشناسی است. اما هنگامی که به سطح زمین می رسد به عنوان اساسی ترین عنصر چرخه هیدرولوژی به حساب می آید

بارندگی در (Alizadeh, Amin 2007). بارندگی در سطح کره زمین دچار تغییرات زیادی از جمله تغییرات زمانی و مکانی می شود که این تغییرات نسبت به مناطق مختلف و نسبت به شرایط اقلیمی آن منطقه متفاوت است منطقه زاگرس جنوبی ایران تغییرات ارتفاعی و دمایی متنوعی دارد که جزئیات این تغییرات در شکل ۳، آمده است.



شکل ۳: الف) تغییرات ارتفاعی ایستگاه های مورد مطالعه، ب) نقشه هم دمای منطقه مورد مطالعه بر اساس میانگین دمای سالانه

۲-۴- مدل ریز مقیاس نمایی آماری LARS WG

LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هواست که برای تولید مقادیر بارش، دماهای کمینه و بیشینه و تابش روزانه در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود (Babaeian et al., 2008). مبنای این مدل برای مدل‌سازی بارش روزانه و احتمال وقوع آن، روش توزیع نیمه تجربی و زنجیره مارکف (Markov Approach Modeling) بوده، مدل‌سازی تابش براساس توزیع نیمه تجربی و مدل‌سازی دما با استفاده از سری فوریه انجام می‌پذیرد (M. Semenov & Barrow, 2002). پس از تخمین درجه حرارت توسط سری‌های فوریه، دمای بیشینه و کمینه به صورت فرایندهای تصادفی با میانگین و انحراف معیار روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند. سری فوریه مرتبه سوم، برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار فصلی به کار می‌رود و مقادیر باقیمانده‌ها که از تفریق مقادیر میانگین مقدار دیده‌بانی شده به دست می‌آیند، در تحلیل خود همبستگی زمانی داده‌های بیشینه و کمینه مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل در سه مرحله شامل واسنجی (Calibration)، ارزیابی و ایجاد داده‌های هواشناسی (Generation)، داده را تولید می‌کند (2010 Abbasi, F, et al., در مطالعه حاضر، ابتدا داده‌های هواشناسی بارش، کمینه و بیشینه دما و ساعات آفتابی ۳۴ ایستگاه سینوپتیک به صورت روزانه تهیه شدند. سپس این داده‌ها به قالب مناسب مدل LARS-WG تبدیل شدند. دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۱۸ به عنوان دوره پایه برای شبیه‌سازی اقلیم آینده در مدل LARS-WG مورد استفاده قرار گرفت. پیش‌بینی آینده برای دوره ۲۰۱۸-۲۰۳۸ صورت گرفت. خروجی مدل LARS-WG شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش یا ساعات آفتابی بر اساس دو سناریوی خط انتشار RCP4.5 و RCP8.5 می‌باشد. در مرحله ارزیابی مدل، تحلیل نتایج خروجی مدل انجام شد.

۲-۵- اندازه‌گیری خطای پیش‌بینی

در این پژوهش، به منظور مقایسه قدرت پیش‌بینی و انتخاب بهترین روش پیش‌بینی، از معیارهای مختلفی از جمله میانگین قدر مطلق انحرافات MAD، میانگین مجذور خطا MSE، جذر میانگین مجذور خطا RMSE و درصد میانگین قدر مطلق خطا MAPE (Mean Absolute Percentage Error) استفاده شد. پیش‌بینی وقایع آینده در فرآیند تصمیم‌گیری نقش عمده‌ای را ایفا می‌کند، بنابراین درست پیش‌بینی کردن حائز اهمیت است و می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری آگاهانه قرار گیرد. برای بررسی یک مدل پیش‌بینی و یا انتخاب بهترین مدل از بین مدل‌های مختلف برای سری زمانی به شاخصی نیاز داریم که به کمک آن تصمیم لازم در خصوص قبول یا رد مدل پیش‌بینی اتخاذ شود. به دلیل وجود عدم اطمینان در پیش‌بینی‌ها، لازم است خطای کلیه روش‌های پیش‌بینی محاسبه و ارزیابی شود. منظور از ارزیابی مدل، بدست آوردن میزان خطای مدل با توجه به داده‌های ورودی مدل جهت آموزش و بر اساس معیارهای خطای مورد استفاده است. برای به دست آوردن خطا در n بازه زمانی از میانگین قدر مطلق انحرافات، مطابق رابطه زیر استفاده می‌شود (Malekshahi, A, et al., 2020):

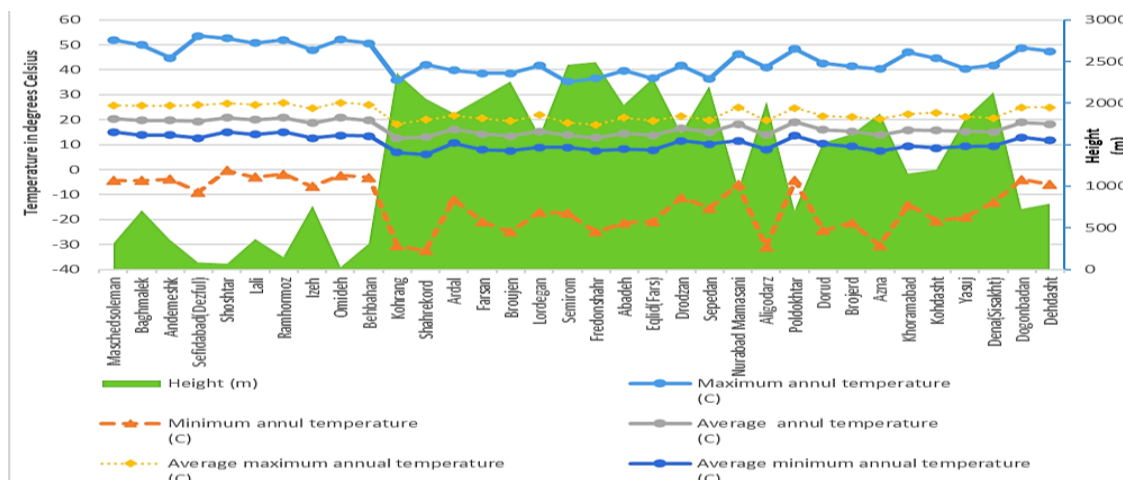
$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad (2)$$

که در آن، A و F به ترتیب داده‌های مشاهداتی و داده‌های پیش‌بینی شده در زمان t، همچنین n تعداد کل مشاهدات برای دوره پیش‌بینی می‌باشد. این خطا را به گونه‌ای دیگر نیز می‌توان محاسبه نمود و آن استفاده از میانگین مجذور خطا می‌باشد که به صورت ذیل محاسبه می‌شود (Khademi, et al., 2018):

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad (3)$$

در میانگین مجذور خطا میزان خطا به دلیل به توان ۲ رسیدن آن بسیار بزرگ نشان داده می‌شود برای رفع این مشکل، از جذر میانگین مجذور خطا مطابق رابطه زیر استفاده می‌شود (Malekshahi, A, et al., 2020):

در شکل (۴) مقادیر رژیم حرارتی از جمله کمینه (مطلق) دمای سالیانه، بیشینه (مطلق) دمای سالیانه، میانگین دمای سالیانه، میانگین کمینه دمای سالیانه و میانگین بیشینه دمای سالیانه نشان داده شده است. مطابق این شکل، میزان تغییرات در پارامتر کمینه دمای سالیانه بیش از سایر پارامترهای مورد بررسی بوده است. همچنین، بر اساس شکل ۳، بطور کلی ایستگاه‌های مرتفع‌تر دارای میانگین دمای سالانه کمتری بوده‌اند. مطابق شکل (۴)، کمترین دمای میانگین سالانه در منطقه مورد مطالعه مربوط به ایستگاه‌های کوه‌رنگ، شهرکرد، فریدون‌شهر و اقلید و بیشترین دمای میانگین سالانه در ایستگاه‌های امیدیه، شوشتر و مسجد سلیمان می‌باشد.



شکل ۴. رژیم حرارتی منطقه مورد مطالعه

۳-۳- بررسی تغییرات بارش

شکل ۵، توزیع مکانی بارش آینده را برای منطقه مورد مطالعه بر اساس دو سناریوی اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 در مقایسه با وضعیت گذشته نشان می‌دهد. بارش میانگین سالانه مناطق مورد مطالعه در این پژوهش به خوبی در شکل (۵) نمایان است به طوری که بارش در طول دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۰ (بارش گذشته) نسبت به بارش پیش بینی شده ۲۰۳۸-۲۰۱۸ با دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 کاملاً دچار تغییرات شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (4)$$

گاهی اوقات خطاهای پیش‌بینی بر حسب درصد، سودمندتر از مقادیر آنها خواهد بود. لذا درصد میانگین قدر مطلق خطا معیاری مهم برای یافتن درصد خطاهای پیش‌بینی خواهد بود، این معیار به شکل زیر محاسبه می‌شود (Khademi, et al., 2018).

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t}}{n} \times 100 \quad (5)$$

۳ نتایج و بحث

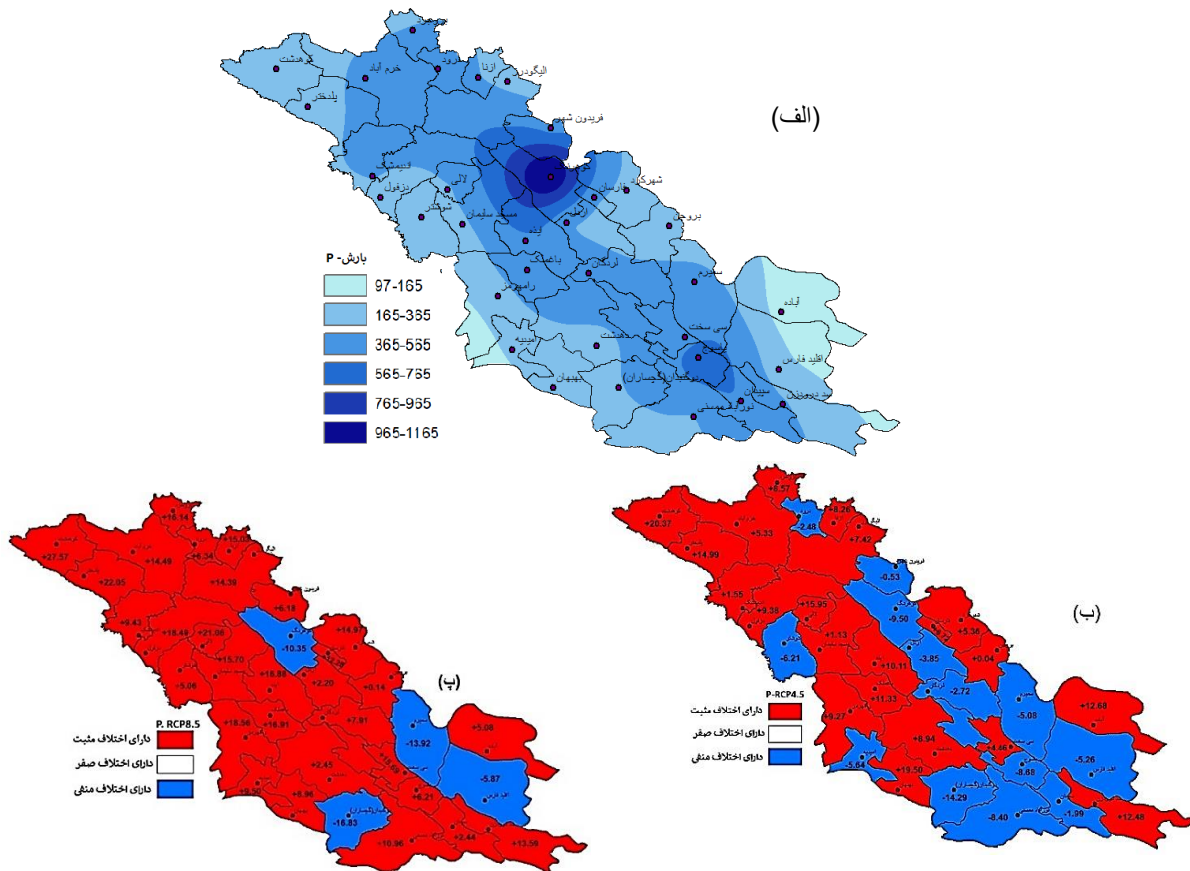
۳-۱- تغییرات دما و ارتفاع در منطقه مورد مطالعه

۳-۲- نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف (K-S)

آزمون نیکویی برازش کلموگروف-اسمیرنوف یکی از مهمترین آزمون‌های آماری محسوب می‌شود این آزمون تابع توزیع تجمعی یک متغیر را با توزیع مشخصی (مثلاً توزیع نرمال) مقایسه می‌کند. در آزمون نرمال بودن داده‌ها، فرض صفر چنین است که توزیع داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کند و فرض مقابل بر خلاف این امر دلالت دارد. با توجه به جدول ۴، سطح معنی داری تمامی داده‌ها بیشتر از ۰/۰۵ بوده است، از این رو می‌توان گفت که توزیع داده‌های بدست آمده از داده‌های هواشناسی نرمال است.

جدول ۴: نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف (K-S)

ماکزیم دما		مینیم دما		بارش		تعداد	ایستگاه
Kolmogorov-Smirnov Z	سطح معنی داری (sig)	Kolmogorov-Smirnov Z	سطح معنی داری (sig)	Kolmogorov-Smirnov Z	سطح معنی داری (sig)		
0.531	0.94	0.581	0.889	0.867	0.44	12	آباده
0.563	0.909	0.547	0.926	0.863	0.445	12	اقلید
0.789	0.562	0.57	0.901	0.552	0.921	12	بروجن
0.547	0.926	0.409	0.996	0.606	0.856	12	بروجرد
0.557	0.916	0.511	0.956	0.683	0.739	12	خرم آباد
0.506	0.96	0.47	0.98	0.829	0.497	12	رامهرمز
0.506	0.96	0.485	0.973	0.96	0.315	12	دوگنبدان
0.513	0.955	0.491	0.969	0.964	0.311	12	سپیدان
0.527	0.944	0.499	0.965	0.881	0.419	12	سمیرم
0.554	0.919	0.549	0.923	0.793	0.556	12	سی سخت
0.526	0.944	0.402	0.997	0.772	0.59	12	شهرکرد
0.544	0.929	0.509	0.958	0.815	0.519	12	فریدونشهر
0.562	0.91	0.412	0.996	0.832	0.494	12	کوهدهشت
0.639	0.809	0.442	0.99	0.72	0.678	12	دهدشت
0.528	0.943	0.503	0.962	0.954	0.323	12	لردگان
0.549	0.923	0.499	0.964	0.949	0.328	12	مسجدسلیمان
0.541	0.931	0.43	0.993	0.829	0.498	12	کوهرنگ
0.544	0.929	0.504	0.961	0.928	0.355	12	یاسوج
0.552	0.921	0.432	0.992	0.655	0.784	12	الیگودرز
0.569	0.903	0.446	0.989	0.83	0.496	12	نورآباد
0.549	0.924	0.463	0.983	0.784	0.57	12	اردل
0.557	0.916	0.894	0.402	0.674	0.754	12	درود
0.49	0.97	0.486	0.972	1.007	0.263	12	درودزن
0.517	0.952	0.549	0.924	0.888	0.41	12	لالی
0.549	0.923	0.393	0.998	0.494	0.968	12	پلدختر
0.564	0.908	0.476	0.977	0.784	0.57	12	فارسان
0.518	0.952	0.517	0.952	0.95	0.327	12	شوشتر
0.544	0.928	0.465	0.982	0.888	0.409	12	باغملک
0.529	0.942	0.493	0.968	0.829	0.498	12	دزفول
0.547	0.926	0.477	0.977	0.665	0.768	12	ازنا
0.492	0.969	0.525	0.946	0.63	0.823	12	امیدیه
0.569	0.903	0.606	0.856	0.624	0.83	12	بهمهان
0.549	0.924	0.608	0.853	0.847	0.47	12	ایذه
0.498	0.966	0.568	0.903	0.472	0.979	12	اندیمشک



شکل ۵: الف) نقشه هم‌بارش منطقه مورد مطالعه بر اساس میانگین بارش سالانه در دوره تاریخی ب) تغییرات بارش سالانه در سناریوی RCP4.5 نسبت به دوره تاریخی، پ) تغییرات بارش سالانه در سناریوی RCP8.5 نسبت به دوره تاریخی

هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 با کاهش بارش مواجه خواهد شد و ایستگاه یاسوج تنها در سناریوی RCP4.5 دارای کاهش بارش خواهد بود.

۳-۴- بررسی تغییرات دما

دما به دلیل تغییرات گسترده‌ای که بر روی سطح زمین دارد یکی از عوامل مؤثر در تغییرات آب و هوا می‌باشد. با توجه به دریافت نامنظم انرژی خورشیدی توسط زمین، دمای هوا در سطح زمین دارای تغییرات زیادی است که به نوبه خود سبب تغییرات دیگری در سایر عناصر هواشناسی می‌شود. در این مطالعه به منظور بهتر نشان دادن جزئیات دما، تغییرات بیشینه دما

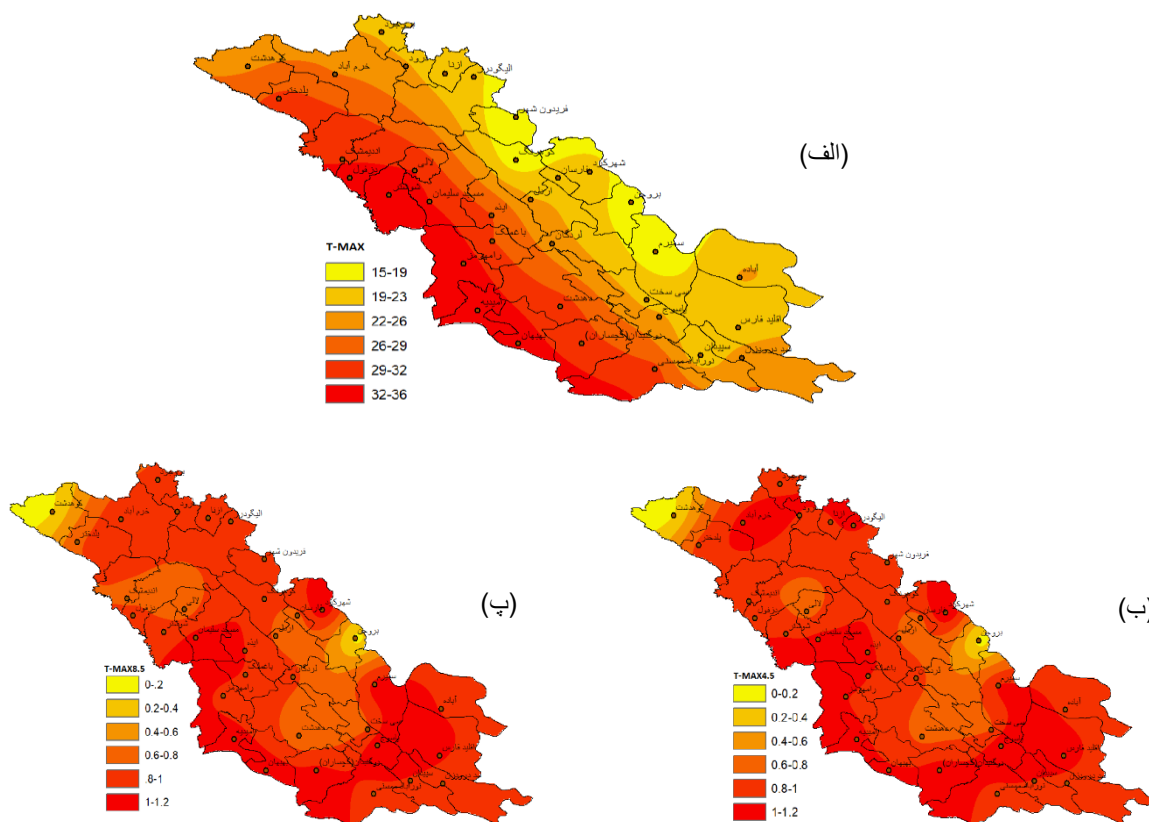
نتایج بارش آینده بر اساس سناریوی اقلیمی RCP4.5 نشان می‌دهد که در شهرهای درود، شوشتر، کوهرنگ، اردل، لردگان، یاسوج، سپیدان، اقلید، نورآباد ممسنی، دوگنبدان (گچساران)، سمیرم، فریدون‌شهر و امیدیه بارش نسبت به دوره تاریخی کاهش داشته است و در ۲۱ شهر دیگر اختلاف مثبت بوده است. همین‌طور نتایج بارش آینده بر اساس سناریوی اقلیمی RCP8.5 در شهرهای کوهرنگ، اقلید، سمیرم و دوگنبدان (گچساران) نسبت به دوره تاریخی کاهش داشته و در ۳۰ شهر دیگر اختلاف بدست آمده، مثبت بوده است. بدین ترتیب، سناریوی اقلیمی RCP8.5 افزایش بارش نسبت به دوره تاریخی را برای اغلب ایستگاه‌ها پیش‌بینی می‌کند. بررسی وضعیت آینده ایستگاه‌های پربارش کوهرنگ و یاسوج نشان می‌دهد ایستگاه کوهرنگ در

کوهدشت و بروجن کمتر از بقیه شهرهای مورد مطالعه می‌باشد. میزان اختلاف RCP8.5 نسبت به دوره تاریخی هم افزایش دما از مقدار ۰ تا ۱/۲ درجه سانتی گراد را نشان داده است. در شهرهای کوهدشت، بروجن، لالی، اندیمشک، دزفول، اردل، لردگان و دهدشت افزایش دمای کمتری پیش‌بینی شده است. بررسی چهار ایستگاه خنک با میانگین دمای بیشینه سالانه کمتر از ۱۹ درجه سانتی گراد نشان می‌دهد سه ایستگاه سمیرم، کوه‌رنگ و فریدون شهر در هر دو سناریوی واداشت تابشی با افزایش دمای دست کم ۰.۸ درجه سانتی گراد روبرو خواهند بود.

و کمینه دمای آینده نسبت به گذشته بر اساس دو سناریوی واداشت تابشی RCP4.5 و RCP8.5 بررسی شد.

۴-۳-۱- میانگین دمای بیشینه سالانه

همانطور که شکل ۶ ب و پ، نشان می‌دهد، در بیشتر مناطق مورد مطالعه، پیش‌بینی میانگین دمای بیشینه سالانه در دوره ۲۰ ساله آینده تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نشان دهنده افزایش دما می‌باشد. شکل ۶-ب میزان تغییرات دما در سناریوی RCP4.5 نسبت به دوره تاریخی را از ۰ تا ۱/۲ درجه سانتی گراد نشان می‌دهد. در این سناریو، افزایش بیشینه دما در شهرهای



شکل ۶: الف) نقشه هم‌دمای منطقه مورد مطالعه بر اساس میانگین دمای بیشینه سالانه در دوره تاریخی (ب) تغییرات میانگین دمای بیشینه سالانه در سناریوی RCP4.5 نسبت به دوره تاریخی، (پ) تغییرات میانگین دمای بیشینه سالانه در سناریوی RCP8.5 نسبت به دوره تاریخی

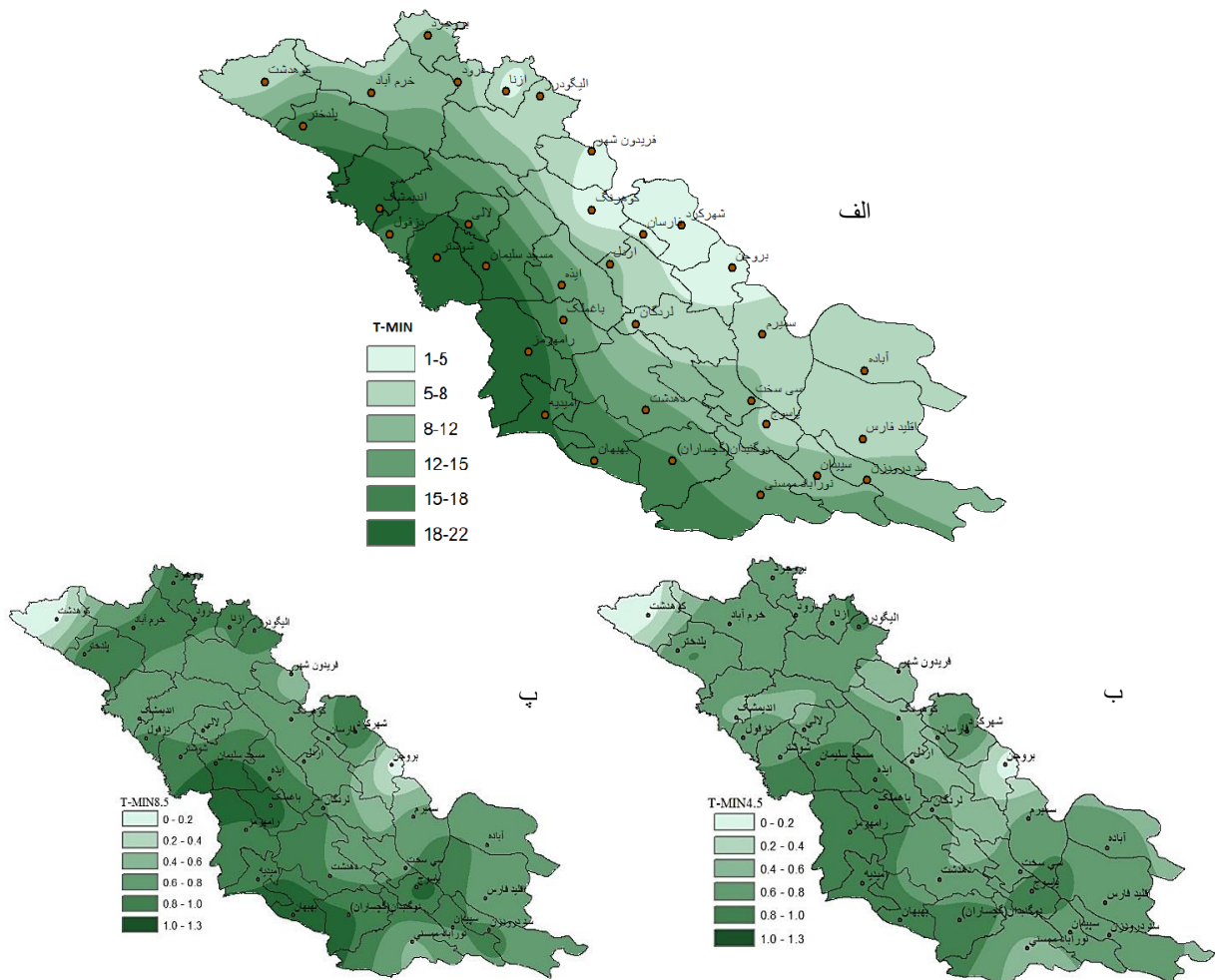
برای RCP4.5 نسبت به دوره تاریخی کمینه دمای منطقه مورد مطالعه از ۰ تا ۱ درجه سانتی گراد در تمامی مناطق افزایش پیدا کرده است؛ این افزایش در ایستگاه‌های کوهدشت و بروجن کمترین و در ایستگاه‌های مسجدسلیمان، ایذه، باغ‌ملک، رامهرمز، امیدیه، بهبهان، گچساران، یاسوج، شهرکرد و

۴-۳-۲- میانگین دمای کمینه سالانه

تغییرات کمینه دما در منطقه مورد مطالعه با توجه به دو سناریوی اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 در شکل ۷ ب و پ، آورده شده است. بر اساس این شکل، تقریباً همه ایستگاه‌ها در آینده دارای افزایش میانگین دمای کمینه سالانه هستند. مطابق شکل ۷-ب) (ب)

این الگو در آینده است؛ برای مثال، ایستگاه‌هایی مانند یاسوج، پیش از این در شکل ۵ ب و پ، برای شهر سی سخت در هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 افزایش بارش نشان داده شده بود. شهر کرد، الیگودرز و خرم‌آباد که در دوره تاریخی دارای میانگین دمای کمینه سالانه پایینی بوده‌اند با روند سریع‌تری تمایل به افزایش میانگین دمای کمینه سالانه خواهند داشت. این موضوع می‌تواند بر دوام برف در چنین مناطقی اثر منفی داشته باشد که به نوبه خود می‌تواند به کاهش ذخیره طولانی مدت آب به شکل برف و افزایش رواناب و سیلاب بیانجامد.

الیگودرز بیشترین مقدار را نشان داده است. همین‌طور مطابق شکل ۷ پ، نتایج RCP8.5 نشان می‌دهد تمام شهرهای مورد مطالعه نسبت به دوره تاریخی دارای افزایش دما هستند؛ مقدار این افزایش دما از ۰ تا ۱/۳ درجه سانتی‌گراد بوده است؛ کمترین افزایش در ایستگاه‌های کوه‌دشت و بروجن و بیشترین افزایش در ایستگاه‌های مسجد سلیمان، باغ‌ملک، بهبهان، گچساران، یاسوج، شهر کرد، الیگودرز، درود، ازنا، بروجرد، خرم‌آباد و پلدختر پیش‌بینی شده است. دقت در شکل ۷ الف، نشان می‌دهد در دوره تاریخی مناطق مرتفع‌تر دارای کمینه دمای سالانه پایین‌تری بوده‌اند؛ شکل ۷ ب و پ، نشان دهنده تمایل به تغییر

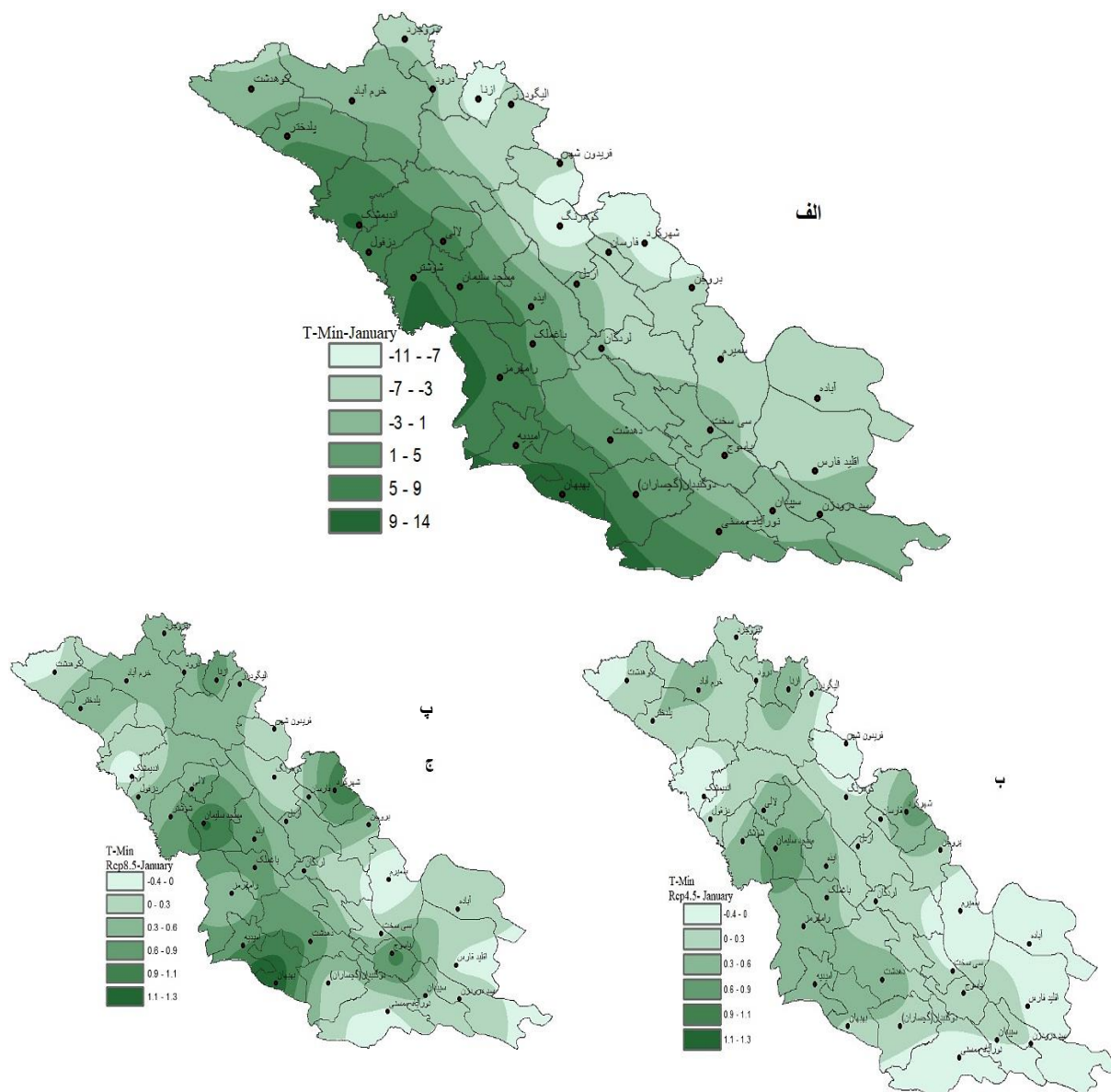


شکل ۷: الف) نقشه هم‌دمای منطقه مورد مطالعه بر اساس میانگین دمای کمینه سالانه در دوره تاریخی (ب) تغییرات میانگین دمای کمینه سالانه در سناریوی RCP4.5 نسبت به دوره تاریخی، (پ) تغییرات میانگین دمای کمینه سالانه در سناریوی RCP8.5 نسبت به دوره تاریخی

۳-۳-۴- میانگین دمای کمینه ماه ژانویه

شکل ۸، میانگین دمای کمینه ماه ژانویه را برای دوره تاریخی به همراه تغییرات آن در دو سناریوی واداشت تابشی نشان می‌دهد. مطابق شکل ۸ ب و پ، بررسی وضعیت آینده ایستگاه‌های دارای میانگین دمای کمینه ماه ژانویه کمتر از یک درجه سانتی-گراد نشان می‌دهد ایستگاه‌های یاسوج، شهرکرد، ازنا و خرم

آباد، افزایش دمای کمینه بیشتری را در ماه ژانویه تجربه خواهند کرد. بر اساس شکل ۸ پ، این تغییر الگوی دمایی در سناریوی واداشت تابشی RCP8.5 واضح‌تر دیده می‌شود. با توجه به اینکه ماه ژانویه اغلب به عنوان سردترین ماه سال شناخته می‌شود، بالا رفتن میانگین دمای کمینه در این ماه، می‌تواند اثر مستقیمی بر کاهش ذخیره برف در مناطق سردسیر داشته باشد.



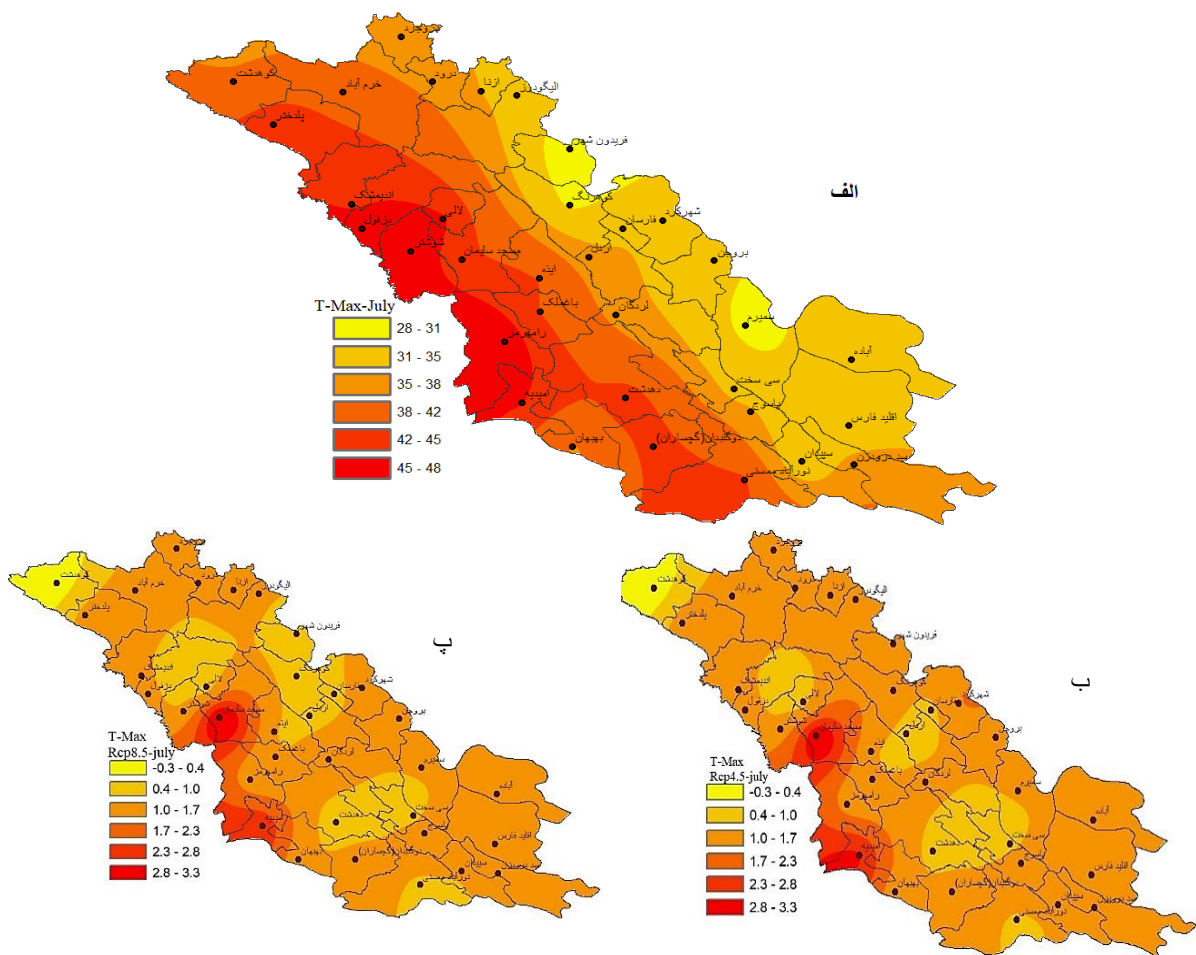
شکل ۸: الف) نقشه هم‌دمای منطقه مورد مطالعه بر اساس میانگین دمای کمینه ژانویه در دوره تاریخی (ب) تغییرات میانگین دمای کمینه ژانویه در سناریوی RCP4.5 نسبت به دوره تاریخی، (پ) تغییرات میانگین دمای کمینه ژانویه در سناریوی RCP8.5 نسبت به دوره تاریخی

۲-۴-۴- میانگین دمای بیشینه ماه ژولای

شکل ۹، میانگین دمای بیشینه ماه ژولای را به عنوان گرم‌ترین ماه سال برای دوره تاریخی به همراه تغییرات آن در دو سناریوی واداشت تابشی نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۹ ب و پ، می‌توان گفت به غیر از ایستگاه کوه‌دشت که میانگین دمای بیشینه آن تغییر چندانی ندارد، بقیه ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای تغییرات افزایشی خواهند بود. بیشترین میزان افزایش میانگین دمای بیشینه ماه ژولای در امیدیه و مسجدسلیمان پیش‌بینی شده است.

۳-۴- تغییرات دما و بارش ماهانه

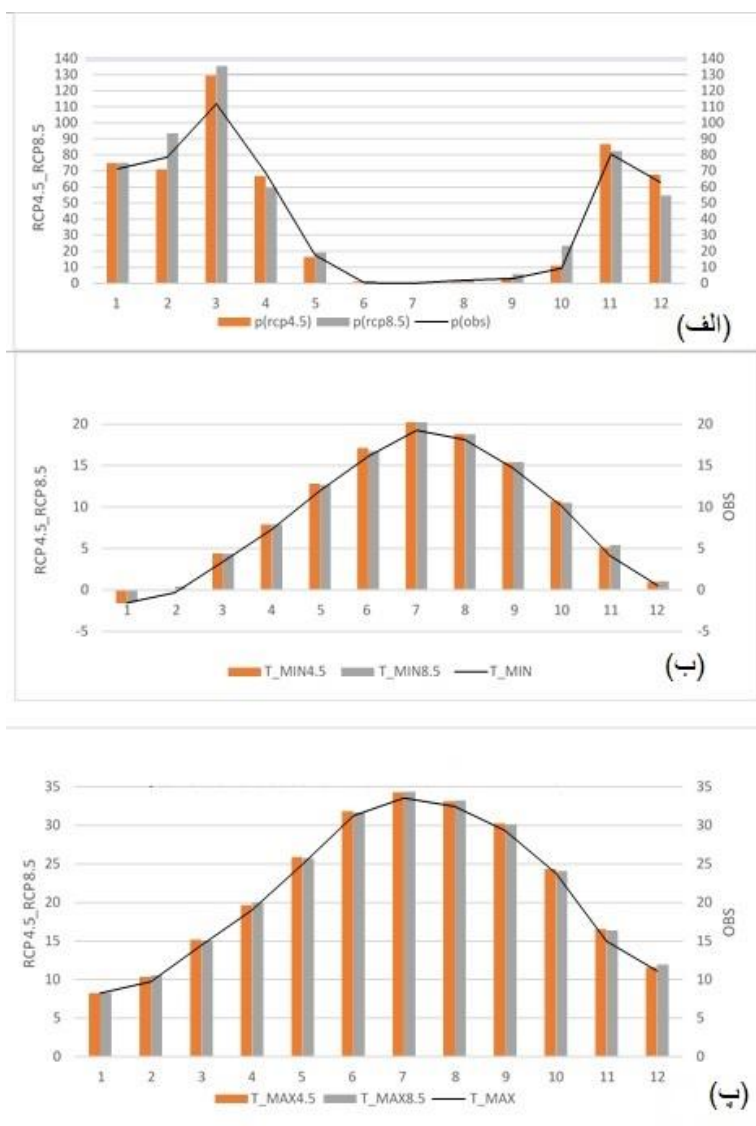
می‌توان تغییرات دما و بارش ماهانه در آینده را برای ماه‌های هر سال بررسی کرد. تغییرات بارش در بسیاری از ایستگاه‌ها دارای کاهش در برخی ماه‌ها و افزایش در برخی ماه‌های دیگر بوده است. برای نمونه، شکل (۱۰) مقایسه داده‌های تاریخی و پیش-بینی آینده را برای شهر سی سخت نشان می‌دهد. این شهر به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی آن که در نزدیکی قله دنا واقع است انتخاب شده است



شکل ۹: الف) نقشه هم‌دمای منطقه مورد مطالعه بر اساس میانگین دمای بیشینه ژولای در دوره تاریخی (ب) تغییرات میانگین دمای بیشینه ژولای در سناریوی RCP4.5 نسبت به دوره تاریخی، (پ) تغییرات میانگین دمای بیشینه ژولای در سناریوی RCP8.5 نسبت به دوره تاریخی

ذخیره برف خواهد بود. همین‌طور بررسی کمینه و بیشینه دما، یک روند افزایشی را برای اغلب ماه‌های سال نشان می‌دهد. این میزان تغییر در یک دوره ۲۰ ساله نشانگر افزایش گرما در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. مطابق شکل ۱۰، می‌توان گفت میزان افزایش دما هم برای میانگین کمینه دما و هم میانگین بیشینه دما در ماه ژولای نسبت به دیگر ماه‌های سال بیشتر است.

مطابق شکل ۱۰-الف) در ماه‌های ژانویه، مارس و نوامبر هر دو سناریو برای شهر سی سخت افزایش بارش را در دوره (۲۰۳۸-۲۰۱۸) پیش‌بینی کرده است؛ این افزایش در ماه مارس بیشتر از سایر ماه‌ها پیش‌بینی شده است. شکل ۱۰-ب، نشان می‌دهد میانگین دمای کمینه ماه مارس بالاتر از ۴ درجه سانتی‌گراد خواهد بود؛ بنابراین افزایش بارش در این ماه به معنای کاهش



شکل ۱۰: مقایسه داده‌های تاریخی با نتایج دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 بر اساس خروجی نرم‌افزار LARS-WG به تفکیک ۱۲ ماه سال برای شهر سی سخت؛ الف) بارش ماهانه ب) میانگین دمای کمینه ماهانه پ) میانگین دمای بیشینه ماهانه

۵ نتایج

بررسی توانایی مدل LARS-WG با استفاده از آماره‌های میانگین قدر مطلق خطا، میانگین مجذور خطا، جذر میانگین مجذور خطا و میانگین قدر مطلق خطا نشان داد که دقت مدل در پیش‌بینی پارامترهای بارش، دمای کمینه و بیشینه مناسب است. میزان تغییرات بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه تحت سناریوهای واداشت تابشی RCP4.5 و RCP8.5 نشان داد که پیش‌بینی این پارامترها در دوره (۲۰۱۸-۲۰۳۸) می‌تواند نتایجی مثبت و تعیین کننده داشته باشد. این پیش‌بینی، میزان بارش را در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، اکتبر، نوامبر و دسامبر در مناطقی از استان خوزستان (بهبهان)، کهگیلویه و بویراحمد (یاسوج، گچساران و دهدشت) چهارمحال و بختیاری (کوه‌رنگ) با روندی کاهشی نشان داد که این روند می‌تواند نشانه‌ای از وقوع تغییرات اقلیمی باشد. بررسی میانگین بیشینه دمای سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان دهنده افزایش بود. میانگین بیشینه دمای سالانه در هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره تاریخی از ۰ تا ۱/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش دما نشان می‌دهد؛ این اختلاف در شهرهای کوه‌دشت و بروجن کمتر از بقیه شهرهای مورد مطالعه می‌باشد. برای هر دو سناریوی واداشت تابشی نسبت به دوره تاریخی در شهرهای کوه‌دشت، بروجن، لالی، اندیمشک، دزفول، اردل، لردگان و دهدشت افزایش دمای کمتری پیش‌بینی شده است. میانگین دمای کمینه سالانه در سناریوی RCP4.5 نسبت به دوره تاریخی منطقه مورد مطالعه از ۰ تا ۱ درجه سانتی‌گراد در تمامی مناطق افزایش پیدا کرده است که در شهرهای کوه‌دشت و بروجن کمترین و مسجد سلیمان بیشترین افزایش را نشان داده است. همین‌طور مطابق سناریوی RCP8.5 مقدار افزایش میانگین کمینه دمای سالانه نسبت به دوره تاریخی از ۰ تا ۱/۳ درجه سانتی‌گراد بوده که در شهر بروجن کمترین و در شهر بهبهان بیشترین تغییرات را داشته است.

۶ تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان مقاله از همکاری سازمان هواشناسی کشور که در تهیه داده یاری رساندند، قدردانی می‌کنند.

۷ منابع

1. Ahmadi, M. ; Fallahi Khoshji, M. ; And Mafakheri, A (2017). 22 Predicting changes in the rainfed barley (*Hordeum vulgare* L.) crop calendar in 2030-2011 in Lorestan province using LARS-WG microscale models and HadCM3 public circulation. *Agricultural Ecology*, 9 (2), 475-489 [Persian].
2. Hejazizadeh, Z; Fatahi, A ; Masah Bovani, A. ; And Naserzadeh, M. (2012). Evaluation of the effects of climate change on flood hydrography in future periods Case study: Bakhtiari catchment. *Geography*, 34, 5-24 [Persian].
3. Khazaei, Mohammad Reza; And Bayazidi, Matlab. (2016). The effect of climate change on annual meteorological and hydrological variables of Sirvan Basin. *Iranian Water Resources Research*, 12 (2), 38-48 [Persian].
4. Abbasi, F ; Malboci, Sh ; Babaian, A. ; Asmari ; And Borhani, R. (2010). 20 Climate change forecasts of South Khorasan in the period 2039-2010 using the statistical exponential microscale of ECHO-G model output. *Water and Soil (Agricultural Science and Technology)*, 24 (2), 218-233 [Persian].
5. Ajamzadeh, Ali; And Mullah Nia, Mahmoud Reza. (2016). Evaluation of the effects of climate change on the runoff of Firoozabad river in Fars province, with micro-scale output of atmospheric circulation models by SDSM and LARS-WG software. *Iranian Water Resources Research*, 12 (1), 95-109 [Persian].
6. Alizadeh, Amin (2007). *Principles of Applied Hydrology*. Twenty-first, Mashhad: Imam Reza University Press [Persian].

- simulating daily weather variables. *Applied Meteorology*, 39, 610-622.
18. Salahi, B., Goudarzi, M., Hosseini, S A. (2017). Predicting the temperature and precipitation changes during the 2050s in Urmia Lake Basin, *Watershed engineering And management*, 8(4): 425-438.
 21. Semenov, MA; & Barrow, EM. (2002). A stochastic weather generator for use in climate impact studies. Hertfordshire, UK.
 22. Semenov, M.A.; & Brooks, R.J. (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Resaerch*, (10), 95-107.
 23. Semenov, MA; & Stratonovit, P. (2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research*, (41), 1-14.
 24. Solomon, S. (2007). *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC*. UK: Cambridge University Press.
 25. Zhang, J.Y.; Wang, G.Q.; He, R.M.; & Liu, C.S. (2009). Variation trends of runoffs in the Middle Yellow River Basin and its response to climate change. *Advances in Water Sciences*, 20, 153-158.
 26. Malekshahi, Ashkan, Darzi Naft Chali, & Mohseni (2020). Accuracy analysis of reference evaporation-transpiration estimation equations on a daily, monthly and seasonal scale in a wet area. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 10 (2), 229-246[Persian].
 27. Khademi, Fazleh Oli, Ramin, & Emadi. (2018). Investigating the capability of artificial neural network model in simulating rainfall-runoff process in climate change conditions (Case study: Pashakla Dam area of Babol). *Journal of Watershed Management (Scientific-Research)*, 8 (16), 53-64[Persian]. compared with the 2018-2038 statistical period under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios; the results for the stations under study showed a general process of increasing temperature and decreasing precipitation.
 7. Ganji, M.H. (2001). *Shahid Beheshti University Seminar*. Faculty of Earth Sciences, Tehran [Persian].
 8. Nodeh Farahani, Mohammad Ali; Rasekhi, Anna; Permas, Behnam; And a country, Abdul Rahman. (2018). Investigation of the effects of climate change on temperature, precipitation and future droughts in Shadegan Basin. *Iranian Water Resources Research*, 14 (3), 160-173 [Persian].
 10. Babaeian, I.; Najafinik, Z.; Abbasi, F.Z.; Nokhandan, M.H.; Arab, H.; & Malbousi, S. (2008). Iran Climate change Evaluation using ECHO-G Global Circulation Model data (2010-2039). *Geography and Development*, (16), 135-152 [Persian].
 11. Goyal, R.K. (2004). Sensitivity of evapotranspiration to global warming: A case study of arid zone of Rajasthan India. *Agricultural Water Management*, (69), 1-11.
 12. Harpham, H.; & Wilby, R.L. (2005). Multi-site Downscaling of Heavy Daily Precipitation Occurrence and Amount. *Journal of Hydrology*, (312), 235-255.
 13. Johnson, G.L.; Hanson, C.L.; Hardegree, S.P.; & E.B. Ballard. (1996). *Stochastic weather*. John Wiley and sons.
 14. Karimi, S.; Karimi, S.; Yavari, A.R.; & Nikosokhan, M.H. (n.d.). Prediction of temperature and precipitation in Damavand Catchment in Iran by using LARS-WG in future. *Earth Sciences*, 4(3), 95-100 [Persian].
 15. Levinson, D. H.; & Fettig, C. J. (2013). Climate change: Overview of data sources, observed and predicted temperature changes, and impacts on public and environmental health. In *Global Climate Change and Public Health*.
 16. Lorena, L.; Leonardo, V.; Enrique, R.; & Goffredi, L. (2010). Basin-scale water resources assessment in Oklahoma under systematic climate change scenarios using a fully distributed hydrologic model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15, 107-118.
 17. Parlange, M.B.; & Katz, R.W. (2000). An extended version of the Richardson Model for

Forecasting future temperature and precipitation under the effects of climate change using the LARS-WG climate generator (Case Study: South Zagros Region of Iran)

H. Mohammadi^{1*}, R. Khalili², S. Mohammadi³

1. Assistant Prof. Physical Geography, Islamic Azad University of Shiraz, Shiraz, Iran

2. PhD in Physical Geography - Climatology, University of Yazd, Yazd, Iran

(Received: 13 Dec 2021, Revised: 08 Feb 2022, Accepted: 13 Mar 2022, Published online: 13 Mar 2022)

Abstract

Forecasting long-term changes in meteorological variables is important in climate change studies. The purpose of this study is to predict climate change using LARS-WG and GIS software in the west and southwest areas of Iran. For this purpose, daily precipitation, maximum temperature, minimum temperature and sunny hours of 34 meteorological stations were studied. The climate of these stations was determined based on the Domartan classification method. LARS-WG statistical exponential model for analyzing historical data on daily rainfall, solar radiation, and daily maximum and minimum temperatures at the stations under study and to simulate future meteorological data were utilized with considering RCP4.5 and RCP8 climate scenarios. The results showed that the model can simulate with high accuracy. The 1980-2018 statistical period was compared with the 2018-2038 statistical period under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios; the results for the stations under study showed a general process of increasing temperature and decreasing precipitation.

Keywords: Climate Change, Lars Climate Generator, West and Southwest of Iran.

* Corresponding author:

Email Address:h.mohammadi9033@gmail.com