



Technical Note

Effect of Climate Change on Meteorological Parameters and Drought in Golestan Province

K. Kaboosi^{1*} and M. Kordjazi²

Abstract

This research was conducted to evaluate changes in minimum and maximum temperatures, precipitation, and drought severity (SPI index) in Golestan province at the period of 2016-2045 compared to the period of 1986-2015. For this purpose, the output of HadCM3 and ECHO-G models were downscaled under A2 scenario by LARS-WG model in 15 meteorological stations. The ability of the models for prediction of parameters using different statistics was appropriate. Based on the forecasts of HadCM3 and ECHO-G model, the annual average of minimum temperature would be increased by 0.4 and 1.6 °C, respectively. The maximum temperature was also forecasted to increase by 0.2 and 0.7 °C, respectively. Also, these models predicted respectively increase (30.9 mm) and decrease (11.8 mm) in the annual precipitation. Both models predicted a decrease in occurrence percents of dry and wet periods and increase of normal period in monthly scale. However, in annual scale, increase of occurrence percents of dry and wet periods and decrease of normal period was predicted. Also, variation of occurrence percents of different drought classes in the future period was higher in ECHO-G model compared to the HadCM3 model. The results showed that highest frequency (area) of annual precipitation in basic period ranged from 350 to 550 mm for the ECHO-G model while in HadCM3 model the value ranged from 450 to 650 mm. Maximum of precipitation changes were predicted in the cities of Bandar Gaz and Maravetappe by HadCM3 and ECHO-G models, respectively.

Keywords: ECHO-G, HadCM3, LARS-WG, Precipitation, SPI, Temperature.

Received: November 16, 2016

Accepted: February 7, 2017

یادداشت فنی

بررسی اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی و خشکسالی در استان گلستان

کامی کابوسی^{۱*} و محمد کردجازی^۲

چکیده

به منظور بررسی تغییرات دمای کمینه و بیشینه، بارش و شدت خشکسالی (شاخص SPI) استان گلستان طی دوره ۲۰۱۶-۲۰۴۵ نسبت به دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶، خروجی مدل‌های HadCM3 و ECHO-G تحت سناریو A2 توسط مدل LARS-WG در ۱۵ ایستگاه هواشناسی ریزمقیاس شد. توانایی هر دو مدل در پیش‌بینی پارامترهای مورد نظر با استفاده از آماره‌های مختلف مناسب ارزیابی شد. مطابق پیش‌بینی مدل‌های HadCM3 و ECHO-G، میانگین سالانه دمای کمینه به ترتیب ۰/۵ و ۱/۶ و دمای بیشینه به ترتیب ۰/۲ و ۰/۷ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. همچنین این مدل‌ها به ترتیب افزایش (۳۰/۹ میلی‌متر) و کاهش (۱۱/۸ میلی‌متر) بارش سالانه را پیش‌بینی کردند. هر دو مدل کاهش درصد وقوع دوره‌های خشک و مرطوب و افزایش وقوع دوره نرمال را در مقیاس ماهانه و افزایش درصد وقوع دوره‌های خشک و مرطوب و کاهش دوره نرمال را در دوره آتی پیش‌بینی کردند. همچنین تغییر درصد وقوع طبقات مختلف خشکسالی در دوره آتی در مدل ECHO-G بیشتر از مدل HadCM3 بود. نتایج نشان داد که بیشترین فراوانی طبقات بارش سالانه در دوره آماری پایه و مدل ECHO-G در محدوده ۳۵۰ تا ۵۵۰ میلی‌متر است؛ در حالی که در مدل HadCM3 در محدوده ۴۵۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر است. بیشترین میزان تغییر بارش تحت پیش‌بینی مدل‌های HadCM3 و ECHO-G به ترتیب در شهرستان‌های مراوه‌تپه و بندرگز مشاهده گردید.

کلمات کلیدی: ECHO-G، HadCM3، LARS-WG، SPI، بارش، دما.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۸/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۱/۱۹

1- Associate Professor, Department of Water Engineering, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran. Email: kkaboosi@yahoo.com

2- Head of Applied Meteorological Research Group, Golestan Meteorological Governorate

*- Corresponding Author

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

۲- رئیس گروه تحقیقات هواشناسی کاربردی، اداره کل هواشناسی استان گلستان

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان اسفند ۱۳۹۶ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

(Ashofteh and Massah, 2010) بر مبنای ماتریس همبستگی انجام شد. همگنی و نرمال بودن داده‌ها به ترتیب بر اساس آزمون‌های دنباله‌ها و کلموگروف-اسمیرنوف با استفاده از SPSS نسخه ۲۱ در سطح احتمال ۹۵ درصد بررسی و تأیید گردید.

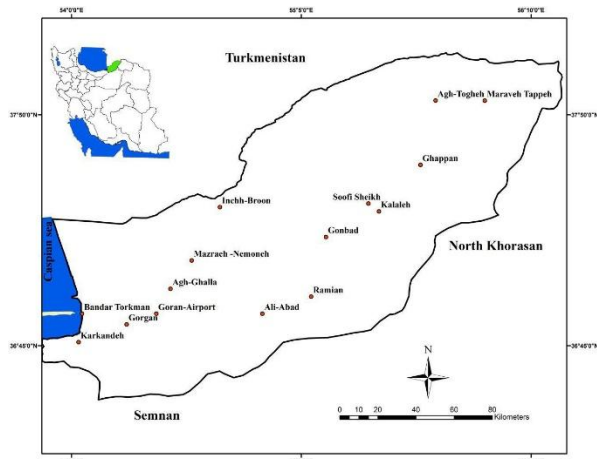


Fig. 1- Locations of studied weather stations in Golestan Province

شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در استان گلستان

مدل‌ها و سناریوهای تغییر اقلیم؛ در پژوهش حاضر از خروجی دو مدل HadCM3 و ECHO-G تحت سناریوی انتشار A2 بر طبق گزارش چهارم (2007) IPCC استفاده شد. علت انتخاب این دو مدل کاربرد وسیع آنها در مطالعات تغییر اقلیم، نتایج رضایت‌بخش آن در کشور بر اساس مطالعات پیشین، دقت و قدرت تفکیک مکانی بالاتر و سهولت دسترسی به اطلاعات آنها می‌باشد (Amani et al., 2016; Sheidaei et al., 2015). از آنجایی که ویژگی سناریوی A2 بر صنعتی شدن و رشد سریع کشورها بدون توجه به محیط زیست و انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای تأکید دارد، وقوع آن برای قرن جاری محتمل‌تر است و از طرفی در سطح دنیا برای بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر کشاورزی، منابع آب و محیط زیست بیشتر استفاده می‌گردد (Golmohammadi and Massah, 2011; Ashofteh and Massah, 2009, 2010).

تولید داده: جهت تولید داده و شبیه‌سازی دوره آبی، مقادیر دمای کمینه و بیشینه و بارش دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶) و آبی (۲۰۴۵-۲۰۱۶) تحت سناریوی A2 از سایت IPCC استخراج شد. برای این منظور در هر ایستگاه از داده‌های مرکز شبکه‌ای که ایستگاه مورد نظر در آن واقع شده بود، استفاده گردید. در این خصوص ایستگاه‌های هاشم‌آباد گرگان، کارکنده و بندر ترکمن در شبکه غرب، ایستگاه‌های رامیان،

متداول‌ترین ابزار جهت بررسی تغییر اقلیم مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) است که از جمله آنها می‌توان به مدل‌های HadCM3 در مرکز تحقیقات و پیش‌بینی Hadly انگلستان و ECHO-G در دانشگاه هامبورگ آلمان و مرکز تحقیقات هواشناسی کره جنوبی اشاره کرد. با توجه به تفکیک پایین فضایی این مدل‌ها، استفاده از داده‌های خروجی آنها نیاز به ریزمقیاس‌سازی دارد (Ghermezcheshmeh et al., 2015; Semenov et al., 1998). مولد آب و هوایی ایستگاه تحقیقاتی لانگ استن (LARS-WG) یک مدل مولد داده‌ها می‌باشد که برای تولید مقادیر بارش، تابش و درجه حرارت روزانه در یک ایستگاه بر اساس سری زمانی موجود و بسط آن به آینده به کار می‌رود (Vallam and Qin, 2016; Hassan et al., 2014). این مدل علاوه بر پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی (Naderi and Raeisi, 2016; Goodarzi et al., 2015; Babaeian et al., 2010)، به طور گسترده‌ای در زمینه مطالعه تغییر اقلیم بر خشکسالی (Kazemi Rad et al., 2015; Fattahi et al., 2015); سیلاب (Chun et al., 2013; Kirono et al., 2009)، پهنه‌بندی (Vallam and Qin, 2016; Ekstrom et al., 2005)، اقلیمی (Ghorbani et al., 2016)، نیاز آبی گیاه (Sheidaei et al., 2015)، عملکرد محصولات (Amani et al., 2016; Sheidaei et al., 2015) و مصرف انرژی در ساختمان‌ها (Roshan and Orosa, 2015) مورد استفاده قرار می‌گیرد. بررسی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) نشان دهنده افزایش بارندگی و کاهش خشکسالی در حوضه قره‌سو (Golmohammadi and Massah, 2011) افزایش بارش و فراوانی وقوع خشکسالی در حوضه کشف‌رود (Sayari et al., 2012)، افزایش شدت، مدت و فراوانی خشکسالی‌ها در شمال غربی ایران (Salehpour Jam et al., 2015) و کاهش خشکسالی استان لرستان (Parvaneh et al., 2015) در دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه بود. پژوهش حاضر ضمن پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش استان گلستان در سی سال آینده (۲۰۴۵-۲۰۱۶) توسط دو مدل گردش عمومی جو ECHO-G و HadCM3، به ارزیابی وضعیت خشکسالی با استفاده از شاخص SPI خواهد پرداخت.

۲- مواد و روش‌ها

داده‌های اولیه: پارامترهای دمای کمینه و بیشینه و بارش روزانه ۱۵ ایستگاه هواشناسی (شکل ۱) در دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۶ اخذ گردید. تکمیل و تطویل داده‌ها با استفاده از روش نسبت‌ها و تفاضل‌ها

علی‌آباد، فرودگاه گرگان و آق‌قلا در شبکه مرکزی و سایر ایستگاه‌ها در شبکه شرق قرار گرفتند. تدوین سناریوی تغییر اقلیم با استفاده از روش Semenov et al. (1998) انجام شد. سپس ریزمقیاس‌سازی و تولید داده دوره آتی با استفاده از مدل LARS-WG نسخه ۵ صورت گرفت (Semenov et al., 1998).

بررسی خشکسالی: جهت بررسی خشکسالی در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه از شاخص بارش استاندارد شده (McKee et al., 1993) توسط بسته نرم‌افزاری DIP (Morid et al., 2007) استفاده شد. این شاخص به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه و قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی نتایج، به عنوان مناسب‌ترین شاخص خشکسالی به ویژه تحلیل‌های مکانی شناخته می‌شود (Deihimfard et al., 2015) و در حال حاضر نیز توسط سازمان‌های بین‌المللی هواشناسی و اقلیم‌شناسی معتبر برای پایش جهانی خشکسالی توصیه شده است (Salehpour Jam et al., 2015; WMO and GWP, 2016). همچنین شاخص SPI به طور گسترده‌ای در بررسی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی (Salehpour Jam et al., 2016; Deihimfard et al., 2016; Parvaneh et al., 2015; Nikbakht Shahbazi, 2015; Moafi Madani et al., 2012; Zare Abyaneh et al., 2015; Moafi Madani et al., 2012; Golmohammadi and Massah Bavani, 2011) استفاده شده است.

۵۴، ۹۶-۸۳ و ۹۱-۷۷ درصد به دست آمد که نشان دهنده توانایی مدل در پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش می‌باشد. میانگین ماهانه آماره‌های ضریب تبیین، میانگین خطا، میانگین خطای مطلق و ریشه میانگین مربعات خطا بر حسب داده‌های ماهانه (جدول ۱) نشان می‌دهد که بجز متغیر بارش در ایستگاه‌های قپان، گنبد و مراوه‌تپه، مقدار ضریب تبیین هر سه پارامتر در همه ایستگاه‌ها بیشتر از ۰/۹ است که نشان از توانایی مدل دارد. مقدار بیشینه میانگین خطا و میانگین خطای مطلق بارش به ترتیب به میزان ۸/۵۰ و ۱۰/۵۰ میلی-متر در ماه در ایستگاه رامیان مشاهده گردید. آماره‌های میانگین خطا و میانگین خطای مطلق در مورد دمای کمینه و بیشینه در همه ایستگاه‌ها بجز دمای کمینه در آق‌قلا، در محدوده $\pm 0/4$ درجه سلسیوس بود که نشانگر دقت مناسب مدل است. در عین حال میزان این آماره‌ها در خصوص دمای کمینه بسیار کمتر از دمای بیشینه بود که حاکی از دقت بیشتر مدل در پیش‌بینی دمای کمینه است. آماره ریشه میانگین مربعات خطا در مورد دمای کمینه و بیشینه بین ۰/۱ تا ۰/۵ و در مورد بارش بین ۲/۷ تا ۱۳/۷ بود که قابل قبول ارزیابی می‌گردد. کارایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش توسط (Ghorbani et al., 2016)، (Amani et al., 2016)، (Khosrovanian et al., 2015)، (Parvaneh et al., 2015)، (Fattahi et al., 2015)، (Moafi Madani et al., 2012) و (Babaeian et al., 2010) گزارش گردیده بود که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

تغییرات بارش و دما: میانگین ماهانه بارش و دمای کمینه و بیشینه در دوره پایه و آتی در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که در دوره آتی دمای هوا در همه ماه‌ها در هر دو مدل، بجز ژانویه در مدل HadCM3، نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد ولی مقدار و جهت تغییرات بارش در دو مدل در ماه‌های مختلف متفاوت است به طوری که مدل HadCM3 افزایش و مدل ECHO-G کاهش بارش را نشان داد. افزایش دما و بارش تحت سناریو A2 در مدل HadCM3 توسط (Goodarzi et al., 2015) برای حوضه هرات اعظم یزد، (Khosrovanian et al., 2015) برای حوضه قره‌سو استان گلستان، (Ghorbani et al., 2016) برای استان گلستان و (Sayari et al., 2012) برای حوضه کشف‌رود مشهد پیش‌بینی گردید که با نتایج این پژوهش همخوانی نزدیکی دارد. تفاوت مدل‌های مختلف در پیش‌بینی میزان و جهت بارش در دوره آتی توسط (Ashofteh and Massah, 2012) نیز گزارش شد؛ به طوری که نتایج برخی مدل‌ها حاکی از افزایش و برخی دیگر نشان دهنده کاهش بارش بود.

بررسی کارایی مدل: توانایی مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی با استفاده از آماره‌های ضریب تبیین (R^2)، میانگین انحراف خطا (MBE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) بررسی شد. بدیهی است هرچه مقدار ضریب تبیین به یک نزدیک‌تر و مقدار سه آماره میانگین انحراف خطا، میانگین خطای مطلق و ریشه میانگین مربعات خطا کوچک‌تر باشد، دقت مدل بیشتر خواهد بود (Khalili et al., 2016).

۳- نتایج و بحث

کارایی مدل: میزان ضریب همبستگی پیرسون پارامترهای بارش و دمای کمینه و بیشینه روزانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه‌های مختلف به ترتیب بین ۰/۶۷-۰/۹۳، ۰/۸۷-۰/۹۸ و ۰/۸۴-۰/۹۵ بود که در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد. همچنین سطح معنی‌داری برابری دو جامعه برای این پارامترها در ایستگاه‌های مختلف بر اساس آزمون t-student به ترتیب بین ۹۲-

Table 1- Statistics of LARS-WG model in simulation of different climate parameters

جدول ۱- آماره‌های مدل LARS-WG در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی مختلف

Parameter	Statistic	Agh-Ghalla	Agh-Togheh	Goran-Airport	Ali-Abad	Ghappan	Gonbad	Gorgan	Inch-Broon	Kalaleh	Karkandeh	Maraveh Tappeh	Mazraeh Kattol	Ramian	Soofi Sheikh	Bandar Torkman
Precipitation (mm)	R ²	0.911	0.910	0.910	0.919	0.866	0.794	0.920	0.910	0.939	0.915	0.766	0.980	0.920	0.946	0.948
	MBE	-2.27	-1.11	0.72	-2.29	1.48	5.69	2.46	0.14	-0.89	1.75	-0.41	-0.47	8.50	-0.67	-1.75
	MAE	3.85	2.70	4.98	5.30	4.91	7.60	4.50	2.42	3.67	4.66	4.28	2.34	10.50	4.00	3.32
	RMSE	5.2	3.7	5.8	6.7	6.4	9.2	5.4	3.4	5.3	6.2	5.2	2.7	13.7	5.2	4.0
T _{min} (°C)	R ²	0.998	0.996	0.995	0.999	0.997	0.998	0.998	0.991	0.996	0.993	0.994	0.998	0.990	0.995	0.991
	MBE	3.18	0.13	0.05	0.01	0.05	0.07	0.05	-0.04	0.05	0.11	-0.14	-0.06	-0.01	-0.04	-0.01
	MAE	3.18	0.24	0.21	0.08	0.13	0.13	0.10	0.13	0.15	0.15	0.17	0.13	0.13	0.12	0.12
	RMSE	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
T _{max} (°C)	R ²	0.997	0.997	0.994	0.993	0.998	0.995	0.992	0.998	0.993	0.990	0.989	0.999	0.996	0.991	0.995
	MBE	-0.13	-0.09	-0.09	-0.20	0.02	-0.19	-0.23	-0.14	-0.27	-0.11	-0.29	-0.15	-0.35	-0.22	0.21
	MAE	0.40	0.32	0.22	0.30	0.25	0.22	0.30	0.335	0.33	0.26	0.32	0.24	0.37	0.35	0.25
	RMSE	0.4	0.5	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.5	0.4	0.3

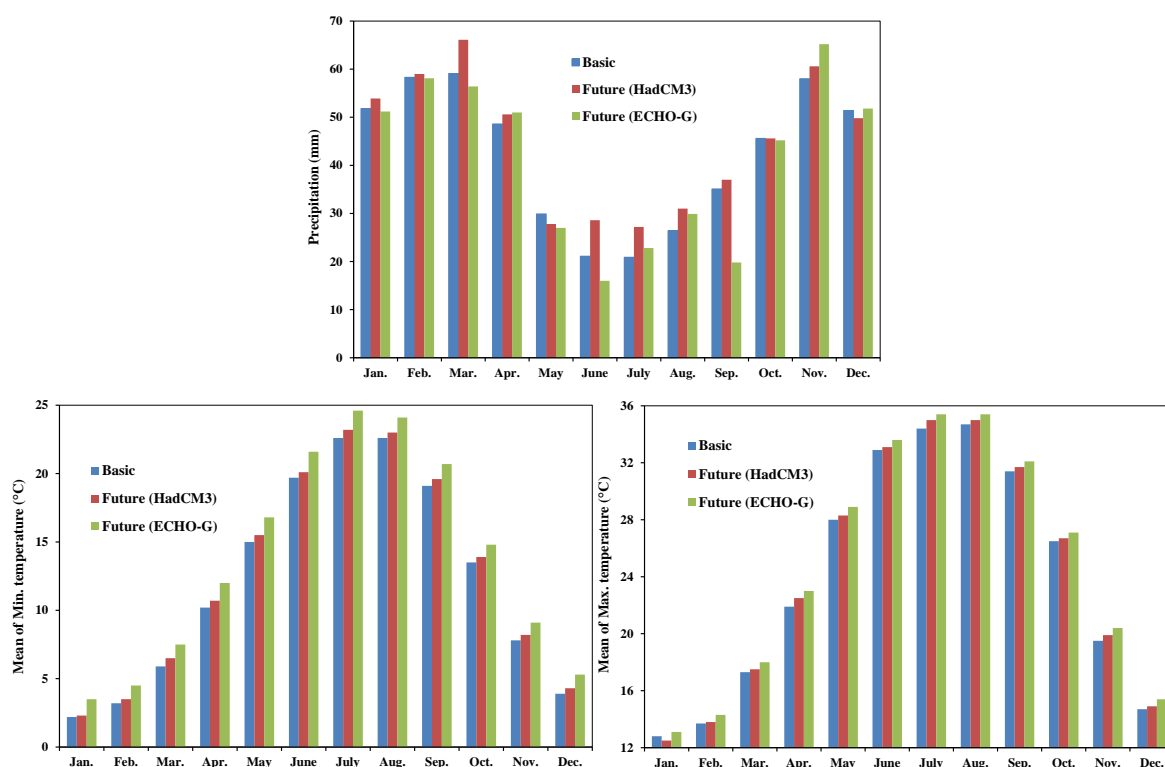


Fig. 2- Mean Monthly precipitation (up), Minimum Temperature (down-left), and Maximum Temperatures (down-right) in basic and future periods

شکل ۲- میانگین ماهانه بارش (بالا) و دماهای کمینه (پایین- چپ) و بیشینه (پایین- راست) در دوره‌های پایه و آینده

شده است. در مقیاس ماهانه، کاهش درصد وقوع دوره‌های خشک و مرطوب و افزایش وقوع دوره نرمال در دوره آتی نسبت به دوره پایه در هر دو مدل پیش‌بینی گردید. در عین حال، در مقیاس سالانه هر دو مدل افزایش درصد وقوع دوره‌های خشک و مرطوب و کاهش دوره نرمال را پیش‌بینی کردند ولی این تغییرات در مدل ECHO-G بیشتر بود. بر اساس خروجی مدل ECHO-G، در مقیاس ماهانه کاهش درصد وقوع دوره‌های خشکسالی متوسط و ترسالی متوسط و در مقیاس سالانه کاهش درصد وقوع دوره‌های خشکسالی خیلی شدید و افزایش دوره ترسالی خیلی شدید نسبت به دوره آماری پایه قابل توجه است. در مجموع می‌توان دریافت که تغییرات درصد وقوع طبقات نه گانه خشکسالی در دوره آتی نسبت به دوره پایه در هر دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه در مدل ECHO-G بیشتر از HadCM3 می‌باشد. در دوره‌های آماری پایه و آتی در هر دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه بیشترین درصد وقوع مربوط به طبقه نرمال است. در دوره‌های آماری پایه و آتی در مقیاس ماهانه بین طبقات مختلف خشکسالی (متوسط، شدید و خیلی شدید) و طبقات مختلف ترسالی (متوسط، شدید و خیلی شدید) اختلاف قابل توجهی مشاهده گردید؛ ولی در مقیاس سالانه اختلاف بین درصد وقوع خشکسالی شدید و خیلی شدید معنی‌دار نبود. در مقیاس ماهانه در دوره‌های آماری پایه و آتی درصد وقوع طبقه مرطوب نسبت به خشک از برتری برخوردار بود؛ ولی در مقیاس سالانه این امر برعکس است. مقایسه سایر طبقات متناظر خشکسالی با ترسالی (خشکسالی متوسط با ترسالی متوسط، خشکسالی شدید با ترسالی شدید و خشکسالی خیلی شدید با ترسالی خیلی شدید) نشان داد که در مقیاس ماهانه در دوره پایه و آتی بر اساس مدل ECHO-G اختلاف معنی‌داری بین طبقات متناظر وجود ندارد ولی بر اساس مدل HadCM3 درصد وقوع ترسالی متوسط از برتری نسبت به خشکسالی متوسط برخوردار است. در عین حال در مقیاس سالانه در دوره آماری پایه و دوره آتی بر اساس مدل HadCM3 اختلاف زیادی بین طبقات متناظر وجود نداشت ولی بر اساس مدل ECHO-G درصد وقوع خشکسالی متوسط نسبت به ترسالی متوسط از برتری برخوردار بود.

پهنه‌بندی بارش استان در دوره آماری پایه و آتی: نقشه پهنه‌بندی بارش سالانه استان در دوره پایه و آتی در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که در دوره آتی میانگین بارش سالانه استان از مقدار ۵۰۵/۱ با حدود ۶/۸ درصد افزایش به ۵۳۹/۷ میلی‌متر تحت پیش‌بینی مدل HadCM3 و با حدود ۱/۹ درصد کاهش به ۴۹۵/۸ میلی‌متر تحت پیش‌بینی مدل ECHO-G خواهد رسید. همچنین بیشترین مساحت طبقات بارش سالانه در دوره آماری پایه و مدل ECHO-G در محدوده ۳۵۰ تا ۵۵۰ میلی‌متر است در حالی که در مدل HadCM3

(2010) Babaeian et al. گزارش کردند که بارش سالانه در اغلب ماه‌ها در کل سال در کشور و از جمله استان گلستان و ایستگاه هاشم‌آباد گرگان در دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰) تحت پیش‌بینی مدل ECHO-G کاهش می‌یابد که با نتایج این پژوهش کاملاً مطابقت دارد. همچنین (2016) Khazaei and Byzedi افزایش دمای کمینه و بیشینه و کاهش بارش دوره آتی را پیش‌بینی کردند. مدل HadCM3 افزایش بارش در تمام ماه‌ها بجز می و دسامبر را پیش‌بینی کرد؛ به طوری که میانگین بارش سالانه استان در دوره آتی نسبت به پایه به مقدار ۳۰/۹ میلی‌متر (معادل ۶/۱ درصد) افزایش خواهد یافت. این در حالی است که برآورد مدل ECHO-G نشان از کاهش میانگین بارش ماهانه ایستگاه‌های استان در تمام ماه‌ها، بجز آوریل، ژوئیه، اوت، نوامبر و دسامبر، دارد. این کاهش در مقیاس سالانه به میزان ۱۱/۸ میلی‌متر (معادل ۲/۳ درصد) بدست آمد. بیشترین افزایش و کاهش میانگین بارش توسط مدل HadCM3 به ترتیب در ماه‌های ژوئن و می به میزان ۷/۵ و ۲/۱ میلی‌متر و توسط مدل ECHO-G به ترتیب در ماه‌های نوامبر و سپتامبر به میزان ۷/۲ و ۱۵/۳ میلی‌متر رخ خواهد داد. همچنین میانگین دمای کمینه ایستگاه‌های استان بر اساس برآورد مدل‌های ECHO-G و HadCM3 در تمام ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت؛ اما این افزایش در همه ماه‌ها در مدل ECHO-G بیشتر از مدل HadCM3 می‌باشد. نتایج نشان داد که میانگین سالانه دمای کمینه توسط مدل‌های HadCM3 و ECHO-G به ترتیب ۰/۵ و ۱/۶ (به طور متوسط یک درجه سلسیوس به ترتیب معادل ۱/۴ و ۱۳/۲ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین بیشترین افزایش در هر دو مدل مربوط به ماه ژوئیه بود. هر دو مدل افزایش میانگین دمای بیشینه را در تمام ماه‌ها، بجز ماه ژانویه در مدل HadCM3، پیش‌بینی کردند. برآورد مدل‌های HadCM3 و ECHO-G نشان داد که میانگین سالانه دمای بیشینه ایستگاه‌ها به ترتیب به میزان ۰/۲ و ۰/۷ (به طور متوسط ۰/۴۵) درجه سلسیوس به ترتیب معادل ۰/۸ و ۲/۹ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین بیشترین افزایش این پارامتر در هر دو مدل در ماه آوریل بود. این نتایج با پژوهش (2015) Sheidaei et al. که افزایش دمای بیشینه و کمینه حوضه تجن استان مازندران را به ترتیب ۱ و ۰/۶ درجه سلسیوس پیش‌بینی کردند همخوانی دارد. همچنین Ashofteh and Massah (2012) افزایش دمای ماه‌های مختلف حوضه قرقو آذربایجان شرقی با مدل HadCM3 و (2010) Babaeian et al. افزایش دمای اغلب ماه‌های کشور و استان گلستان با مدل ECHO-G را گزارش کردند.

بررسی خشکسالی: وضعیت خشکسالی‌های ماهانه و سالانه ایستگاه‌های مختلف استان در دوره‌های پایه و آتی در جدول ۲ ارائه

بارش سالانه آن در دوره آتی نسبت به دوره پایه حدود شش درصد (۳۰/۹ میلی‌متر) افزایش یافت. این در حالی است که برآورد مدل ECHO-G نشان داد که میانگین بارش ماهانه ایستگاه‌های استان در نیمی از ماه‌های سال نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت و این کاهش در مقیاس سالانه حدود دو درصد (۱۱/۸ میلی‌متر) خواهد بود. در مقیاس ماهانه، کاهش درصد وقوع دوره‌های خشک و مرطوب و افزایش وقوع دوره نرمال در دوره آتی نسبت به دوره پایه در هر دو مدل پیش‌بینی گردید. در عین حال، در مقیاس سالانه هر دو مدل افزایش درصد وقوع دوره‌های خشک و مرطوب و کاهش دوره نرمال را پیش‌بینی کردند ولی این تغییرات در مدل ECHO-G بیشتر بود. در مجموع می‌توان دریافت که تغییرات درصد وقوع طبقات نه گانه خشکسالی در دوره آتی نسبت به دوره پایه در هر دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه در مدل ECHO-G بیشتر از HadCM3 می‌باشد. نتایج نشان داد که بیشترین فراوانی (مساحت) طبقات بارش سالانه در دوره پایه و آتی در مدل ECHO-G مربوط به طبقه بارش ۳۵۰ تا ۵۵۰ و در مدل HadCM3 مربوط به طبقه ۴۵۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر است. بیشترین میزان تغییر بارش سالانه در دوره آتی تحت پیش‌بینی مدل HadCM3 در شهرستان‌های مراوه‌تپه، کردکوی و کلاله و تحت پیش‌بینی مدل ECHO-G در شهرستان‌های بندرگز، رامیان و مراوه‌تپه مشاهده گردید.

در محدوده ۴۵۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر مشاهده شد. این نتایج با یافته‌های Ghorbani et al. (2016) همخوانی دارد. بیشترین میزان افزایش بارش در دوره آتی نسبت به دوره آماری تحت پیش‌بینی مدل HadCM3 در شهرستان‌های مراوه‌تپه، کردکوی و کلاله رخ داد؛ در حالی که بیشترین تغییر تحت پیش‌بینی مدل ECHO-G در شهرستان‌های بندرگز، رامیان و مراوه‌تپه مشاهده شد که بجز مورد اخیر، که افزایش بارش سالانه پیش‌بینی شد، کاهش بارش در سایر شهرستان‌های استان پیش‌بینی شد.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

بررسی توانایی مدل LARS-WG با استفاده از آماره‌های ضریب تبیین، میانگین خطا، میانگین خطای مطلق و ریشه میانگین مربعات خطا نشان داد که دقت مدل در پیش‌بینی پارامترهای بارش و دمای کمینه و بیشینه مناسب است. در دوره آتی میانگین ماهانه دمای کمینه و بیشینه ایستگاه‌های استان بر اساس برآورد مدل‌های HadCM3 و ECHO-G در تمام ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت و این افزایش در مدل ECHO-G بیشتر از مدل HadCM3 خواهد بود. در مقیاس میانگین سالانه افزایش دمای کمینه توسط این مدل‌ها به ترتیب ۰/۵ و ۱/۶ درجه سلسیوس و افزایش دمای بیشینه به ترتیب ۰/۲ و ۰/۷ درجه سلسیوس پیش‌بینی گردید. همچنین در اغلب ماه‌ها مدل HadCM3 افزایش بارش را پیش‌بینی نمود به طوری که میانگین

Table 2- The effect of climate change on occurrence percentage of different levels of drought in monthly and annual scales

جدول ۲- اثر تغییر اقلیم بر درصد وقوع طبقات مختلف خشکسالی در مقیاس ماهانه و سالانه

Time scale	Treatment	Extreme D.	Severe D.	Moderate D.	Drought (D.)	Normal	Wet (W.)	Extreme W.	Severe W.	Moderate W.
Monthly	Basic	1.83	3.93	9.99	15.75	67.13	17.14	10.89	4.91	1.31
	Future (HadCM3)	1.65	4.35	8.82	14.82	68.52	16.67	10.22	4.69	1.71
	Future (ECHO-G)	1.78	3.99	8.63	14.43	69.66	15.91	9.73	4.54	1.61
Annual	Basic	3.55	2.67	8.66	14.89	72.22	12.90	8.00	3.77	1.11
	Future (HadCM3)	2.11	4.43	9.11	15.79	69.10	15.12	7.99	5.56	1.55
	Future (ECHO-G)	1.33	4.22	11.55	17.11	67.35	15.56	7.55	4.66	3.33

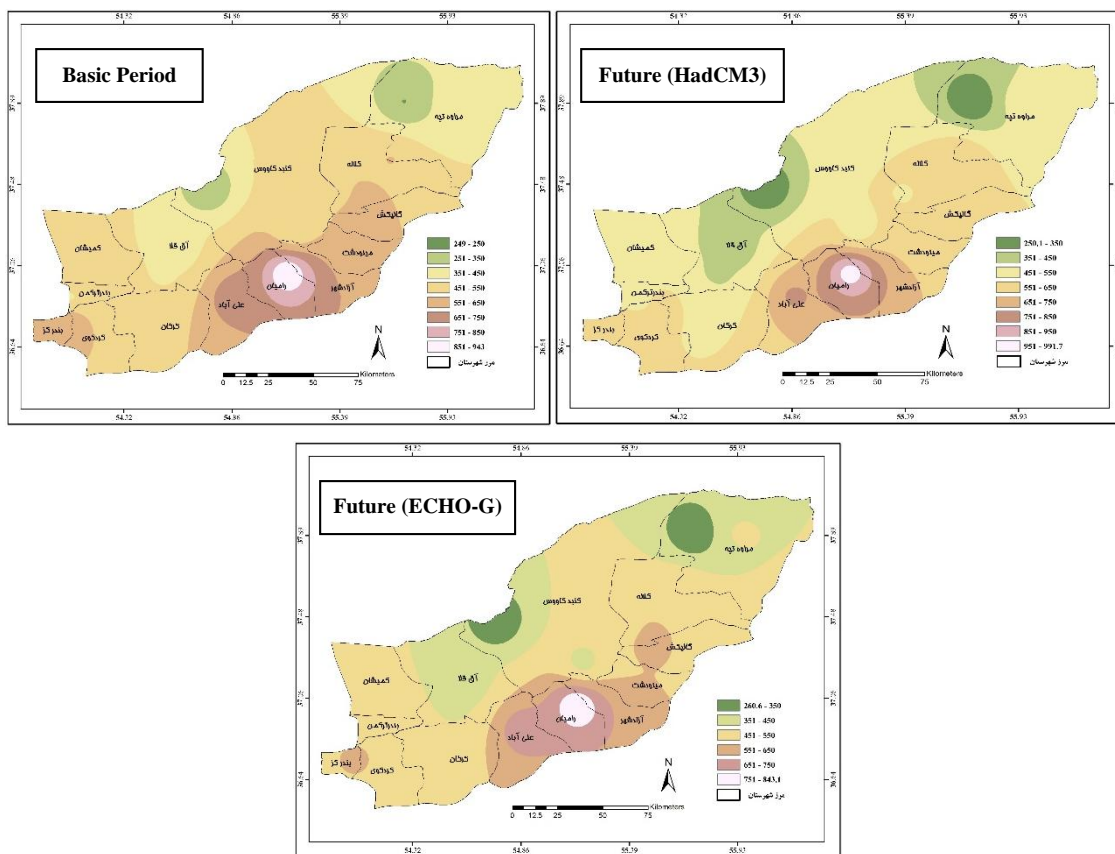


Fig. 3- Zoning map of annual mean of precipitation in Golestan province in basic and future periods
 شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی میانگین بارش سالانه استان گلستان در دوره آماری پایه و آینده

assessment over Iran during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G model. Geography and Development Iranian Journal 7(16):135-152 (In Persian)

Chun KP, Wheater HS, Nazemi A, Khaliq MN (2013) Precipitation downscaling in Canadian Prairie Provinces using the LARS-WG and GLM approaches. Canadian Water Resources Journal 38(4):311-332

Deihimfard R, Eyni Nargeseh H, Haghightat M (2016) Zoning drought in the Fars province under climate change using the Standard Precipitation Index and GIS. Journal of Agroecology 7(4):528-546 (In Persian)

Ekstrom M, Fowler HJ, Kilsby CG, Jones PD (2005) New estimates of future changes in extreme rainfall across UK using regional climate model integrations. 2: Future estimates and use in impact studies. Journal of Hydrology 300: 234-251

Fattahi E, Habibiand M, Kouhi M (2015) Climate change impact on drought intensity and duration in west of Iran. Earth Science and Climatic Change 6(10):1-9

۶- مراجع

Amani Z, Deihimfard R, Mokhtasi Bidgholi A (2016) Evaluation of drought under increasing of temperature due to climate change in rainfed wheat-growing areas of Fars province using Aridity Index. Electronic Journal of Crop Production 9(12):151-174 (In Persian)

Ashofteh PS, Massah AR (2009) Uncertainty of climate change impact on the flood regime; case study: Aidoghmoush Basin, East Azerbaijan, Iran. Iran-Water Resources Research 5(2):27-39 (In Persian)

Ashofteh PS, Massah AR (2010) Impact of climate change uncertainty on temperature and precipitation of Aidoghmoush basin in 2040-2069 period. Soil and Water Science 19.1(20):85-98 (In Persian)

Ashofteh PS, Massah AR (2012) Investigation of AOGCM model uncertainty and emission scenarios of greenhouse gases impact on the basin runoff under climate change, case study: Gharanghu Basin, East Azerbaijan. Iran-Water Resources Research 8(2):36-47 (In Persian)

Babaeian I, Nagafineik Z, Zabolabasi F, Habeibei M, Adab H, Malbisei Sh (2010) Climate change

- time scales. In: Proceeding of Eighth Conference on Applied Climatology, January 17-22, Anaheim, California, 179-184
- Moafi Madani F, Mousavi Baygi M, Ansari H (2012) Prediction of drought in Khorasan Razavi province during 2011-2030 by using statistical downscaling of HADCM3 model. *Geography and Environmental Hazards* 3(3):21-37 (In Persian)
- Morid S, Moghaddasi M, Ershad S, Omid M (2007) Drought Indices Package (DIP) software package. Iranian Water Resource Management Co., Ministry of Energy
- Naderi M, Raeisi E (2016) Climate change in a region with altitude differences and with precipitation from various sources, South-Central Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 124(3):529-540
- Nikbakht Shahbazi AR (2015) Climate change impact on climatic droughts using LRAS-WG5 model. Proceedings of the 36th IAHR world congress, 28 June–3 July, Hague, Netherlands
- Parvaneh B, Shiravand H, Dargahian F (2015) Predict drought situation in the province of Lorestan during the years of 2013-2030 using downscaling of four general circulation models. *Geographical Journal of Territory* 12(45):1-13 (In Persian)
- Roshan Gh, Orosa JA (2015) Regional climate changes and their effects on monthly energy consumption in buildings in Iran. *Natural Environment Change* 1(1):31-48
- Salehpour Jam A, Mohseni Saravi M, Bazrafshan J, Khalighi Sh (2015) Investigation of climate change effect on drought characteristics in the future period using the HadCM3 model (case study: Northwest of Iran). *Journal of Range and Watershed Management* 67(4):537-548 (In Persian)
- Sayari N, Alizadeh A, Banayan Avval M, Farid Hoseini AR, Hesami Kermani MR (2012) The trend of drought under climate change conditions in the basin Kashafrud (Mashhad station) in future periods using HadCM3 model under A2 and B2 emission scenarios. *Journal of Climate Research* 2(7-8):21-42 (In Persian)
- Semenov MA, Brooks RJ, Barrow EM, Richardson CW (1998) Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research* 10:95-107
- Sheidaei M, Ziatabar Ahmadi MKh, Fazloulou R (2015) Study on climate change effect on net irrigation requirement and yield for rice crop (case study: Tajan plain). *Journal of Water and Soil* 28(6):1284-1297 (In Persian)
- Ghermezcheshmeh B, Rasuli AA, Rezaei Banafsheh M, Massah AR, Khorshiddoost AM (2015) Uncertainty analyzing of Neural Network in downscaling of HadCM3 data with bootstrap confidence interval method. *Watershed Engineering and Management* 7(3):306-316 (In Persian)
- Ghorbani Kh, Bazrafshan Daryasary M, Meftah Halaghi M, Ghahraman N (2016) The effects of climate change on climatic classification in Golestan province. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 47(2):636-646 (In Persian)
- Golmohammadi M, Massah Bavani AR (2011) The perusal of climate change impact on drought intensity and duration. *Journal of Water and Soil* 25(2):315-326 (In Persian)
- Goodarzi E, Dastorani M, Massah Bavani A, Talebi A (2015) Evaluation of the Change-Factor and LARS-WG methods of downscaling for simulation of climatic variables in the future (Case study: Herat Azam watershed, Yazd -Iran). *Ecopersia* 3(1):833-846
- Hassan Z, Shamsudin S, Harun S (2014) Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature. *Theoretical and Applied Climatology* 116(1):243-257
- IPCC (2007) Climate change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Synthesis Report of the Fourth Assessment Report, IPCC
- Kazemi Rad L, Mohammadi H, Teyfoori V (2015) Impacts of climate change on droughts in Gilan province, Iran. *Ecologia Balkanica* 7(1):29-38
- Khalili N, Davary K, Alizadeh A, Ansari H, Rezaei Pazhand H, Kafi M, Ghahraman B (2016) Evaluation of the performance of ClimGen and LARS-WG models in generating rainfall and temperature time series in rainfed research station of Sisab, Northern Khorasan. *Journal of Water and Soil* 30(1):322-333 (In Persian)
- Khazaei MR, Byzedi M (2016) Climate change impact on annual meteorological and hydrological variables of the Sirvan basin. *Iran-Water Resources Research* 12(2):38-48 (In Persian)
- Khosrovanian J, Onagh M, Guderzi M, Hejazi SA (2015) Prediction of climatic parameters using LARS-WG model in Gharesu basin. *Journal of Geography and Planning* 19(53):93-115 (In Persian)
- Kirono DG, Hennessy K, Mpelasoka F, Bathols J, Kent D (2009) The impact of climate change on the drought variability over Australia. *Geophysical Research Abstracts*, 11(EGU):72-80
- McKee TB, Doesken NJ, Kleist J (1993) The relationship of drought frequency and duration to

- drought indicators and indices. Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2, Geneva
- Zare Abyaneh H, Ghabaei Sough M, Mosaedi A (2015) Drought monitoring based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) under effect of climate change. Journal of Water and Soil 29(2):384-392 (In Persian)
- Vallam P, Qin XS (2016) Climate change impact assessment on flow regime by incorporating spatial correlation and scenario uncertainty. Theoretical and Applied Climatology 1-16
- World Meteorological Organization (WMO), Global Water Partnership (GWP) (2016) Handbook of