

شبیه‌سازی طولانی‌ترین طول دوره‌های خشک با رویکرد تغییر اقلیم در گستره‌ی ایران زمین

سید کرامت هاشمی‌عنا، دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی - دانشگاه سیستان و بلوچستان

محمود خسروی*، دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکده‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی - دانشگاه سیستان و بلوچستان

تقی طاوسی، استاد اقلیم‌شناسی، دانشکده‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی - دانشگاه سیستان و بلوچستان

چکیده

طولانی‌ترین دوره‌های خشک، معیار مناسبی برای ارزیابی روزهای خشک و بدون بارش در یک مکان است، بنابراین این ویژگی تباین اقلیمی بین شمال و جنوب را به خوبی نشان می‌دهد. در این پژوهش، دوره‌های خشک طولانی مدت تحت آستانه‌های مختلف (۱، ۵ و ۱۰ میلیمتر)، و دو سناریوی خوش‌بینانه (B1) و بدبینانه (A2)، برای اقلیم میانی (دهه ۲۰۵۰) و با استناد به نتایج مدل Hadcm3 در پهنه‌ی ایران بررسی شد. مدل‌سازی دوره‌های خشک نشان داد که بر اساس هر دو سناریو (A2, B1) در دهه‌ی ۲۰۵۰ نواحی جنوب شرق و مرکز، دارای طولانی‌ترین طول دوره‌های خشک هستند، به طوری که در خوش‌بینانه‌ترین حالت (سناریوی B1) دوره‌های خشک به طور متوسط ۳ روز نسبت به وضعیت مشابه گذشته طولانی‌تر می‌شوند، اما حداکثر طول دوره‌های خشک پیش‌بینی شده در نوار شمالی و سواحل خزر نسبت به وضعیت دوره‌های خشک مشاهداتی تغییراتی چندانی نداشته است (فقط میانگین ۲ روز افزایش داشته است). در پهنه‌ی شمال غرب نیز طول دوره‌های خشک نسبت به وضعیت گذشته ۵ روز طولانی‌تر می‌شود که خود نشان از افزایش آهنگ خشکی در این نواحی دارد. نکته‌ی قابل توجه این‌که اگرچه طولانی‌ترین طول دوره‌های خشک منطبق بر نواحی خشک و نیمه‌خشک کشور است، اما آهنگ افزایش طول دوره‌های خشک در نواحی مرطوب کشور مانند شمال غرب چشم‌گیرتر است؛ به عبارتی دوره‌های خشک بدون بارش بر اساس پیش‌بینی مدل، روند شمالی‌تری به خود می‌گیرد، یعنی مرز مناطق خشک به سمت نوار شمالی جابه‌جا و اساساً خط جبهه خشک شمالی‌تر می‌شود. در دهه‌ی ۲۰۵۰ با استناد به نتایج هر دو سناریو می‌توان گفت که بیش از ۸۵ درصد مساحت ایران، دوره‌های خشکی با طول بیش از ۸ ماه را تجربه می‌کنند.

واژگان کلیدی: دوره‌های خشک، شبیه‌سازی، سناریوهای اقلیمی، تغییر اقلیم، ایران.

* Email: Khosravi@Gep.usb.ac.ir

نویسنده‌ی مسئول: ۰۹۱۵۱۴۱۲۲۸۱

این مقاله برگرفته از رساله‌ی دکتری می‌باشد.

۱- مقدمه

بارش، حیاتی‌ترین عنصر اقلیمی است که نقش عمده‌ای را در حیات بشر ایفا می‌کند. قرار گرفتن بیش از ۹۰ درصد مساحت کشور در مناطق خشک و کم‌آب جهان و وجود دوره‌های خشک متعدد و غلبه‌ی آن‌ها بر دوره‌های تر در اکثر مناطق کشور توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است (قویدل رحیمی، ۱۳۸۳: ۵۵). تأثیر میزان بارندگی در وقوع یا عدم وقوع خشک‌سالی و دوره‌های خشک بسیار مؤثر بوده و افزایش دما نیز بر اثر تغییر اقلیم روی وقوع خشک‌سالی و شدت آن تأثیر مستقیم خواهد داشت. بر اساس جدیدترین طبقه‌بندی‌های اقلیمی که تاکنون انجام شده حدود ۹۰ درصد مساحت ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است و بیش از ۴۰ درصد مساحت ایران با بحران کم‌آبی شدید مواجه است (مسعودیان، ۱۳۹۰: ۱۷۴)، بنابراین در کشور در حال توسعه و وسیعی مانند ایران که در آن کمبود منابع آب یکی از دغدغه‌های فعالیت‌های اقتصادی و تولیدی است، تغییر در توزیع بارش دارای آثار اقتصادی و اجتماعی زیان‌باری است. از طرفی در ایران، بارش یکی از متغیرهای اساسی برای ارزیابی مهبایی بالقوه‌ی منابع آب است، اما توزیع زمانی و مکانی آن بسیار نایک‌نواخت است، به همین دلیل توزیع منابع آب کشور هم یکنواخت نیست. هرچه تغییرپذیری مکانی و زمانی بارش کم‌تر باشد همگنی و یک‌دستی منابع آب از ثبات بیشتر برخوردار است و عرضه‌ی دائمی منابع آب امکان‌پذیر می‌شود (مسعودیان، ۱۳۹۰: ۱۲۱). با شناخت ماهیت تغییر اقلیم و اثرات آن و استفاده از ابزارهایی مانند مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی و انتشار و مهم‌تر از همه با آگاهی از رفتار اقلیم یک مکان می‌توان اثرات و کنش‌های تغییرات اقلیمی بر طول دوره‌های خشک نمایان کرد (تورلی و فورد، ۲۰۰۹: ۱۹۸۳-۱۹۶۸؛ بابائیان و همکاران، ۲۰۰۴: ۷۳-۵۵). همواره رفتارشناسی دوره‌های خشک در بین محققین در دو قالب اساسی قابل بررسی است؛ یک دسته از پژوهش‌ها به بررسی رفتار طول دوره‌های تر و خشک در اقلیم گذشته و حال می‌پردازند که اعم مطالعات آن‌ها در زمینه‌ی توزیع فضایی دوره‌های تر و خشک، مشخص نمودن آستانه‌های دوره‌های خشک، تشدید شرایط خشک‌سالی‌ها با افزایش رخداد و طولانی شدن دوره‌های خشک است. تمامی این پژوهش‌ها با استفاده از شاخص‌ها و مدل‌های آماری مانند SPI^۱ و زنجیره مارکوف برای نقاط مختلف ایران توسط پژوهشگرانی مانند (محمودی و همکاران، ۱۳۹۲؛ مفیدی و همکاران، ۱۳۹۲؛ فولادمند، ۱۳۸۵؛ سلطانی و مدرس، ۱۳۸۵؛ عساکره و مازینی، ۱۳۸۹؛ طاوسی و همکاران، ۱۳۸۹؛ علیجانی و همکاران، ۱۳۹۰)، انجام شد. تعیین دامنه‌ی گسترش طول دوره‌های خشک و آنالیز رفتاری آن به شناخت چرخه‌های خشک‌سالی کمک شایانی می‌کند (عبدالمالک و قاسم، ۲۰۱۳، ۳۱۴-۳۲۷). طولانی شدن این دوره‌ها و تأثیرات آن سبب بروز و تشدید خشک‌سالی‌هایی مانند هواشناسی و کشاورزی می‌شود (فیشر و همکاران، ۲۰۱۳: ۲۱۷۰-۲۱۶۱؛ آی کانمو و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۵۱-۱۳۷).

بنابراین شناخت مکانیسم رفتاری دوره‌های خشک از اهمیت زیادی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند کشور ایران برخوردار است. به خصوص با مطرح شدن و ظهور پدیده‌ی تغییر اقلیم که خود سبب تشدید و وخامت خشکی و بیابانی شدن یک منطقه می‌شود. دسته‌ی دوم پژوهش‌های با رویکرد تغییر اقلیم و استفاده از خروجی مدل‌های AOGCM در برآورد و شبیه‌سازی طول دوره‌های خشک اشاره دارد. از این دسته تحقیقات در ایران چندان زیاد نیست، اما در تازه‌ترین پژوهشی که توسط نویسندگان انجام شده است، طول دوره‌های خشک در پهنه جنوب غرب مورد بررسی و مدل‌سازی قرار گرفت و افزایش ۲۰ درصدی طول دوره‌های خشک به‌ویژه در فصل زمستان برای دهه‌ی ۲۰۵۰ پیش‌بینی شد (هاشمی‌عنا و همکاران، ۲۰۱۵: ۸۲-۷۶). میانگین طول دوره‌های خشک تا حدود زیادی در ارتباط با الگوهای بزرگ مقیاس جوی است (هات، ۲۰۰۴: ۶۵۲-۶۴۰). اما بسیاری از شرایط خاص محلی و منطقه‌ای در میانگین طول دوره‌های خشک اثرگذار است (بلیکنسپ و فولر^۲،

1- Standard Precipitation Index

2- Blenkinsop and Fowler

۲۰۰۷: ۱۶۱۰-۱۵۹۵). برای بیش از پنج حوزه‌ی اروپا با استفاده از خروجی، RCM_sها، اشمیدی و فری (۲۰۰۵: ۷۷۱-۷۵۳) برای قسمت‌های وسیعی از سوئیس و دنی و همکاران (۲۰۰۸: ۱۷۰-۱۶۳) برای شبه جزیره‌ی مالزی و عربشاهی (۲۰۱۱: ۳۳-۲۵) برای بخش‌های وسیعی از زاگرس، مطالعاتی را در زمینه‌ی بررسی طول دوره‌های تر و خشک و خشک‌سالی‌ها با استفاده از خروجی مدل‌های منطقه‌ای انجام دادند. در زمینه‌ی افزایش حداکثر طول دوره‌های خشک با استفاده از خروجی مدل‌های منطقه‌ای (RCM_s) تحت تأثیر تغییر اقلیم در سرتاسر مدیترانه و نواحی وسیعی از شمال و مرکز اروپا توسط (ژائو و گئورگی، ۲۰۰۸: ۵۵-۴۴؛ بنستون و همکاران، ۲۰۰۷: ۹۵-۷۱؛ ژائو و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۰۵-۱۹۵) مطالعاتی انجام شد که حاکی از افزایش طول دوره‌های خشک کوتاه مدت در فصول سرد سال و افزایش فراوانی رخدادهای خشک در فصول گرم سال دارد. در تحقیقاتی مشابه، که توسط (دستیدار و همکاران، ۲۰۱۰: ۴۴-۳۹؛ اسچوف و پرایر، ۲۰۰۸: ۲۴۸۸-۲۴۷۷؛ راسکو و همکاران، ۱۹۹۱: ۴۱-۲۷؛ سمینوف و بروک، ۱۹۹۹: ۱۴۸-۱۳۷) شبیه‌سازی طول دوره‌های تر و خشک با استفاده از مدل تصادفی تولید آب و هوا (LARS-WG³) بر اساس توابع نیمه‌تجربی انجام شد که در این تحقیقات بر ویژگی‌های دوره‌های خشک مانند (فراوانی رخداد، میانگین طول دوره‌های تر و خشک و حداکثر طول دوره‌های تر و خشک) تأکید شده است.

کلیت‌همه‌ی این پژوهش‌ها استفاده از مدل‌های آماری برای شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر حوزه‌های مختلف است، اما در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دوره‌های خشک بررسی‌ها به‌ویژه در گستره‌ی ایران نادر هستند، بنابراین اهمیت این پژوهش با هدف بررسی طول دوره‌های خشک بلند مدت با رویکرد تغییر اقلیم در ایران از جایگاه بالایی برخوردار است. لذا این پژوهش در راستای این هدف مهم انجام می‌شود.

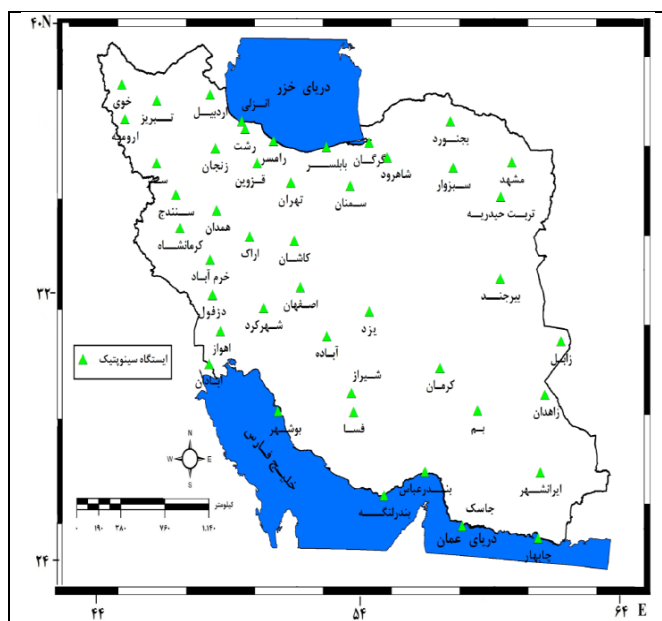
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- داده‌ها

با استناد به هدف این پژوهش که بررسی و استخراج طولانی‌ترین طول دوره‌های خشک با رویکرد تغییر اقلیم و مدل‌سازی اقلیمی است. بانک اطلاعاتی مورد استفاده در این پژوهش در قالب دو پایگاه داده بررسی می‌شود. پایگاه اول شامل جمع‌آوری و آنالیز اطلاعات تمامی داده‌های دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعت آفتابی در مقیاس روزانه در ۲۳۴ ایستگاه هم‌دید کشور (با طول دوره‌های آماری مختلف) است، اما به جهت این‌که داده‌ها با فرمت ایستگاهی و نقطه‌ای و با طول دوره‌ی آماری بیش از ۳۰ سال برای مدل‌سازی مورد نیاز بود، ایستگاه‌هایی که دارای نقص آماری زیادی بودند، حذف شدند و در نهایت ۴۵ ایستگاه هم‌دید که دارای شرایط مطلوب (حداکثر پوشش مکانی و داده‌های پیوسته و قابل اعتماد) بودند، برای پردازش نهایی به عنوان پایگاه اول داده‌ها انتخاب شدند. با توجه به یکسان نبودن طول دوره‌ی آماری ایستگاه‌های مذکور، دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۱ به عنوان دوره‌ی پایه در نظر گرفته شد. نام و موقعیت این ایستگاه‌ها در شکل ۱ آورده شده است. پایگاه دوم شامل داده‌هایی است که توسط نسخه‌ی ۵ مدل (LARS-WG) و بر اساس سناریوهای انتشار (B1, A1B, A2) مدل‌های AOGCM برای دهه‌ی ۲۰۵۰ ریزمقیاس می‌شوند. در واقع این داده‌ها همان داده‌های پایگاه اول (دمای حداقل، حداکثر، بارش و ساعت آفتابی) است که بر اساس فرمت مدل تهیه و بعد از ریزمقیاس نمودن برای تحلیل و پیش‌بینی تغییر اقلیم از آن استفاده می‌شود. روش پردازش این داده‌ها در بخش روش‌شناسی به تفصیل شرح داده خواهد شد.

۲-۲- روش‌شناسی

چون اساس این پژوهش بر بررسی و استخراج طول دوره‌های خشک بلند مدت با رویکرد تغییر اقلیم در گستره‌ی ایران استوار است، لذا روش‌شناسی آن در مبتنی بر چند مرحله است. در ابتدا به راستی‌آزمایی (اعتبارسنجی) مدل LARS-WG جهت اطمینان از کارایی مدل در فرایند شبیه‌سازی پرداخته خواهد شد. سپس عملکرد و توانایی ۱۵ مدل AOGCM در نسخه‌ی جدید لارس، برای برآزش بهترین مدل جهت شبیه‌سازی طول دوره‌های خشک ارزیابی می‌شود. در پایان به تعیین آستانه‌های بارشی به منظور استخراج طولانی‌ترین دوره‌های خشک و مقایسه‌ی آن با حداکثر طول دوره‌های خشک شبیه‌سازی شده پرداخته خواهد شد.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در گستره‌ی ایران زمین

۲-۳- راستی‌آزمایی (اعتبارسنجی) مدل بر روی گستره‌ی ایران

نکته‌ی مهمی که قبل از مدل کردن داده‌ها باید مد نظر قرار داد اجرای آزمون آماری کلموگروف-اسمیرونوف (K-S) است که نرمال بودن توزیع داده‌ها را تأیید می‌نماید. در این پژوهش نیز این آزمون بر روی تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه اجرا و تأیید شد. هدف از این بخش، ارزیابی مولد اقلیمی تصادفی لارسبر روی ایستگاه‌های هم‌دید کشور می‌باشد. در واقع باید تعیین شود که این مدل برای تولید داده‌های تصادفی در ایستگاه‌های ایران مناسب است یا نه؟ زیرا توانمندی مدل مولد داده‌های آب و هوایی اثرات مستقیمی بر برآورد و ارزیابی تغییر اقلیم در منطقه‌ی مورد مطالعه دارد. بنابراین توانمندی این مدل با استفاده از ۳۰ سال داده‌های دیدبانی شده (۲۰۱۰-۱۹۸۱)، ۴۵ ایستگاه هم‌دید کشور انجام شد. در این مدل از ۴ پارامتر دمایی کمینه و بیشینه روزانه، بارش روزانه و تابش (ساعات آفتابی) استفاده شده است.

برای صحت‌سنجی مدل از مقایسه‌ی آزمون‌های F ، T و P value (معیار تصمیم) استفاده شد که همه‌ی این شاخص‌ها در خروجی فایل TST^* (حاوی خصوصیات آماری داده‌های دیدبانی و شبیه‌سازی شده) قابل مشاهده‌اند. برای مشخصه‌های آماری

اگر Pvalue ۰.۵ / باشد بدین معناست که مقادیر در سطح معناداری ۹۵ درصد قابل قبول است. برای مقادیری که سطح معناداری بالای ۰.۵ / دارند نشان از تصادفی بودن مقادیر میانگین و انحراف معیار و پذیرش فرض صفر دارد (در فرض H_0 مقادیر ۰.۵ / و بالاتر قابل قبول و نشان از تصادفی بودن داده ها دارد) اگر این فرض در خروجی داده ها برقرار باشد، همواره صحت داده های پیش بینی شده توسط مدل مورد تأیید است. به عبارتی در آزمون T استودنت اگر اختلاف معناداری بین مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده در سطح معناداری ۰.۵ / وجود نداشت و بازه ی اطمینان داده ها مشتمل بر مقدار صفر بود صحت مدل مورد تأیید است. در بین ایستگاه های مورد مطالعه در این پژوهش، تمامی ایستگاه ها مقادیر قابل قبولی از این فرض را دارا بودند.

برای فهم بیشتر مطالب نتایج اجرای این آزمون ها، به عنوان نمونه برای ایستگاه آبادان در شکل ۲ قابل مشاهده است.

D	12	0.200	0.6967																	
[RAIN monthly mean & sd: obs mean & sd, gen mean & sd, t- and f- statistics with p-values]																				
56.65	48.70	30.98	30.35	17.76	2.06	0.14	0.00	0.10	0.31	37.83	43.61									
41.231	37.852	25.195	27.172	18.680	4.064	0.451	0.000	0.548	1.168	174.578	45.303									
53.78	49.33	26.38	39.23	13.10	1.62	0.15	0.00	0.52	2.07	18.03	43.52									
46.004	33.621	25.270	33.658	11.723	3.971	0.448	0.000	1.154	4.956	25.484	37.288									
0.270	-0.074	0.756	-1.185	1.278	0.453	-0.120	0.000	-1.863	-1.872	0.709	0.009									
0.788	0.941	0.452	0.240	0.205	0.652	0.905	1.000	0.067	0.066	0.481	0.993									
1.245	1.268	1.006	1.534	2.539	1.047	1.013	1.000	4.435	18.004	46.929	1.476									
0.544	0.485	1.000	0.233	0.007	0.881	0.956	1.000	0.000	0.000	0.000	0.255									
[RAIN paired t-test for monthly means to detect bias: bias, t-statistic and p-value]																				
1.729	0.937	0.367																		
[RAIN daily maxima: obs and gen median, 95 percentile and maximum]																				
24.00	19.00	11.00	14.00	6.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	16.00								

شکل ۲: فایل محتوایی TST برای تحلیل مشخصه های آماری و اعتبارسنجی مدل در ایستگاه آبادان

۲-۴- برآزش مدل های AOGCM بر مبنای شاخص های آماری

از آن جایی که در پیش فرض مدل (LARS-WG) ۱۵ مدل با سناریوهای انتشار از خانواده A و B وجود دارد، لازم است در ابتدا عملکرد و کارایی این مدل ها را بر مبنای سناریوهای انتشار برای شبیه سازی داده های آینده مورد ارزیابی و تأیید قرار داد. برای این کار مدل لارس (۴۶۸۰) بار اجرا و خروجی آن با استفاده از شاخص های آماری مورد واسنجی قرار گرفت و نهایتاً مدل Hadcm3 که بیشترین کارایی (همبستگی) و کمترین خطای شبیه سازی را در برآورد پارامترهای دما و بارش داشت مورد استفاده ی نهایی در این پژوهش قرار گرفت. لذا از دخالت دادن نتایج دیگر مدل ها، در محاسبات آتی چشم پوشی شد. کمترین میزان هم بستگی و عدم کارایی لازم مربوط به مدل (NCPCM) است (جدول ۱).

برای ارزیابی عملکرد و کارایی مدل ها از شاخص های آماری مانند انتخاب دوره با بالاترین ضریب تعیین (R^2) و پایین ترین شاخص های خطا شامل: خطای جذر میانگین مربعات $(RMSE)^2$ و شاخص آماری توافق ویلموت (d) که مقداری بین صفر تا یک دارد، مقدار یک بیانگر بهترین برآزش است انجام شد (روابط ۱ تا ۳). این روابط توسط سولر، (۲۰۰۷: ۱۷۷-۱۶۷)، به کار گرفته شد.

$$R^2 = \frac{\frac{1}{2}[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad \text{رابطه ی ۱}$$

در این رابطه مقدار R^2 بیانگر ارتباط خطی بین داده های شبیه سازی شده و مشاهداتی بوده که مقدار آن بین صفر تا ۱ می باشد. هرچه این مقدار به یک نزدیک تر باشد، نشان دهنده ی رابطه ی قوی تر بین دو مقدار می باشد. X_i و Y_i بیانگر i امین داده واقعی (مشاهده شده) و شبیه سازی شده توسط مدل، \bar{X} و \bar{Y} میانگین کل داده ها است. معیار ضریب تعیین به تنهایی نمی تواند

بیانگر عملکرد یک مدل در شبیه‌سازی داده‌ها باشد. زیرا حالات زیادی وجود دارد که داده‌های شبیه‌سازی شده به خوبی می‌تواند الگوی رفتاری داده‌های مشاهداتی را برآورد کند و اختلاف زیادی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی وجود دارد. بنابراین معمولاً از معیارهای دیگر که بیانگر وضعیت اختلاف بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است، استفاده می‌شود. بدین منظور از خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و شاخص آماری توافق ویلموت (d) به عنوان دو معیار معتبر در کنار R^2 مورد استفاده قرار گرفت.

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Sim, i - obs, i)^2} \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

$$d = 1 - \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (|sim, i - obs, i|)^2}{\sum_{i=1}^n (|sim, i - \overline{obs}| + |obs, i - \overline{obs}|)^2} \right\} \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

در این روابطه Sim, i مقادیر شبیه‌سازی شده، obs, i مقادیر مشاهداتی و \overline{obs} میانگین مقادیر مشاهداتی است. بیش‌ترین درصد خطای قابل قبول برای شاخص خطای جذر میانگین مربعات ۱۰ درصد است (سولر، ۲۰۰۷: ۱۷۷-۱۶۷). بالاتر از این درصد عدم کارایی مدل در برآورد مقادیر را نشان می‌دهد. در شاخص آماری توافق ویلموت (d) هم مقادیر بین صفر تا یک است که مقدار یک بیانگر بهترین برازش است.

۲-۵- تعریف و طبقه‌بندی آستانه‌های بارشی

برای استخراج حداکثر طول دوره‌های خشک با آستانه‌های مختلف، بعد از اخذ داده‌ها و تشکیل بانک اطلاعاتی (ماتریسی به ابعاد $۴۸ * ۱۰۹۵$ از روزهای بارشی تشکیل شد که سطرها بیانگر روزهای سال و ستون‌ها ایستگاه‌های مورد مطالعه است. (سپس با کدنویسی در نرم‌افزار مت‌لب حداکثر طول دوره‌های خشک با آستانه‌های مختلف استخراج و در نهایت تبدیل به پهنه شدند). تعیین آستانه‌ها برای مشخص نمودن روزهای بارانی از غیر بارانی و استخراج طول دوره‌های خشک بر اساس این آستانه‌ها مرحله‌ی اول کار را تشکیل می‌داد. در مورد تعیین این آستانه بین آب و هواشناسان اختلاف نظر زیادی وجود دارد به طوری که آن‌ها معیارهای گوناگونی را برای این منظور پیشنهاد داده‌اند؛ معیارهای مختلفی هم چون $۰/۱$ ، $۰/۱۵$ ، $۰/۲$ ، $۰/۳$ ، ۱ ، ۵ و ۱۰ میلی‌متر (دومورس و رانا، ۱۹۹۳: ۴۳-۵۵). هاشمی (۱۳۴۷: ۷۶-۸۲)، آستانه‌ی $۰/۲$ میلی‌متر، را برای روز بارانی و مرز خشک و تری انتخاب کردند. معیار و دلیل انتخاب آستانه‌های بارشی در هر مکان، همواره مورد پرسش بسیاری از محققین است. شاید جواب آن در شناخت الگوی رفتاری بارش که اساساً رفتاری آشوب‌مند است، نهفته باشد. لذا در این پژوهش بعد از واکاوی رفتار بارش در طی دوره‌ی مورد مطالعه با توجه به شرایط اقلیمی ایران، قرار گرفتن در کمربند خشک کره‌ی زمین، کم بودن تعداد روزهای بارش در اغلب ایستگاه‌ها در طول سال و در جهت رسیدن به اهداف پژوهش سه آستانه‌ی $۰/۱$ ، ۵ و ۱۰ میلی‌متر بارش در روز به عنوان آستانه‌های روز بارانی تعیین گردیدند. آستانه‌ی $۰/۱$ میلی‌متر به جهت این‌که این آستانه فراوانی رخدادهای بارشی با مقادیر کم را به خوبی پوشش می‌دهد و در واقع این آستانه، معیار خوبی برای جدا کردن روزهای تر نسبت به روزهای خشک است. از طرفی در این آستانه، وقوع یک روز خشک بعد از یک روز خشک دیگر از احتمال بیش‌تری برخوردار است. آستانه‌ی ۵ میلی‌متر هم از حیث رخداد بارش وزن، بیش‌تری در بین اغلب ایستگاه‌ها نسبت به آستانه‌های دیگر دارد و در بیش از ۶۰ درصد ایستگاه‌ها رخداد این دامنه دارای وزن بالایی بود. اما استفاده از آستانه‌هایی هم‌چون ۱۰ میلی‌متر، این خاصیت را دارند که وزن اضافه‌هایی که برخی روزهای بارشی پرت با فراوانی بسیار کم در اتمام یک دوره خشک بلندمدت دارند، بدون این‌که واقعاً به خشک‌سالی پایان داده باشند، حذف کنند (مارتین و گومز، ۱۹۹۹: ۵۵۵-۵۵۵).

۵۳۷). بنابراین سه آستانه‌ی مذکور مبنای مدل‌سازی بارش هم قرار خواهد گرفت. بعد از مشخص شدن این آستانه‌ها، طولانی‌ترین دوره‌های خشک بر اساس هر کدام از این آستانه‌ها برای دوره گذشته و آینده استخراج و به پهنه تبدیل می‌شود.

۳- بحث و نتایج

۳-۱- راستی آزمایی مدل بر روی ایستگاه‌ها

بعد از کالیبره کردن مدل مشخصات آماری، مقایسه‌ی آزمون‌های F, T و P value (معیار تصمیم) تمامی ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت تا میزان اعتبار مدل مورد تأیید قرار گیرد. نتایج حاصل از این واسنجی نشان می‌دهد که در بیش از ۹۶ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه برای دمای حداقل، حداکثر و ساعت آفتابی مدل از دقت بالایی برخوردار است (در ایستگاه‌های دزفول و گرگان نتایج از خطای بیشتری برخوردار بود). اما توانایی همانند سازی مدل در داده‌های بارشی به اندازه‌ی دیگر پارامترها قوی نیست، اما از نتایج قابل قبولی برخوردار است و در بیش از ۹۲ درصد ایستگاه‌ها این نتایج تأیید شد (در ایستگاه‌های بندرعباس، شاهرود، اراک و خوی آزمون‌های آماری از خطای بیشتری برخوردار بود). شاید علت اساسی در بروز خطای پیش‌بینی در چند ایستگاه مذکور، به دلیل وجود مقادیر صفر در دوره‌ی آماری به خصوص در دوره‌های گرم سال است که توانایی مدل را در بازتولید این مقادیر با خطا همراه می‌سازد. از نتایج آماری محاسبه شده در مرحله‌ی واسنجی به عنوان نمونه برای ایستگاه آبادان در جدول (۱) آورده شده است. در تمامی این ایستگاه‌های مورد مطالعه مانند ایستگاه آبادان معناداری متغیرها (P -value) در سطح ۰/۰۵ قابل قبول است که نشان از تصادفی بودن داده‌های تولید شده است. بین دمای کمینه و بیشینه تطابق خوبی بین داده‌های مشاهداتی و مدل وجود دارد (به غیر از ایستگاه دزفول و شاهرود). در مورد تابش، نتایج مدل‌سازی فقط در ایستگاه‌های شیراز و اراک در سطح اعتماد ۰/۰۵ قابل قبول نیست. ارزیابی و آشکارسازی تفاوت داده‌های مشاهداتی و مدل، در گستره‌ی ایران به صورت پهنه‌ای در شکل (۳) قابل مشاهده است. با لحاظ نمودن خطای بایاس بیش از ۹۵ درصد مساحت ایستگاه‌های مورد مطالعه تطابق بسیار خوبی بین داده‌های مشاهداتی (هر ۴ متغیر) و مدل وجود دارد. توانایی مدل در ارزیابی ایستگاه‌های گرگان، دزفول، شیراز، آباءه، جاسک و بندرعباس از کارایی کم‌تری برخوردار است (شکل ۳).

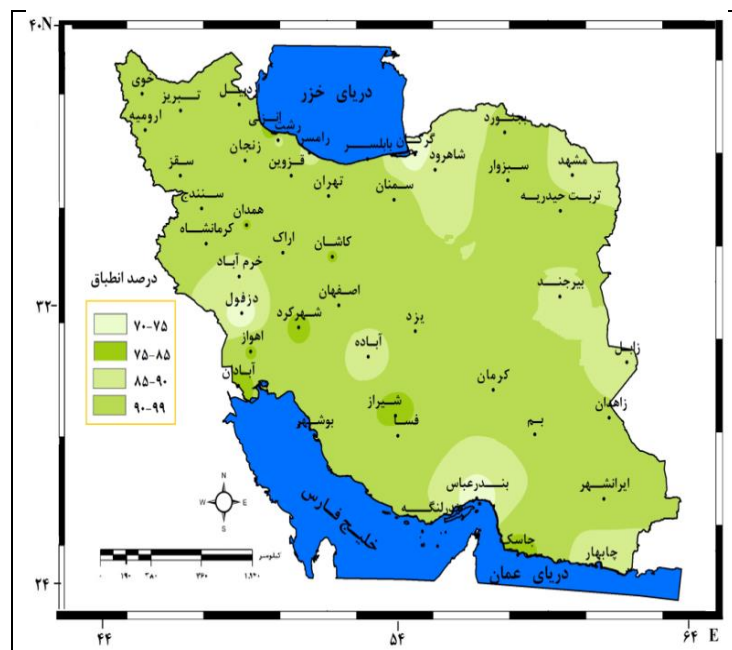
جدول ۱: مقادیر آماره‌های واسنجی بارش، جهت ارزیابی مدل LARS-WG در ایستگاه نمونه (آبادان)

مشخصه آماری	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
مشاهداتی	۵۶	۴۸٫۷	۳۱	۳۰٫۴	۱۷٫۸	۲٫۱	۱٫۲	۰	۰٫۹	۴	۳۷٫۸	۴۳٫۶
انحراف معیار	۴۱٫۲	۳۷٫۹	۲۵٫۲	۲۷٫۲	۱۸٫۷	۴٫۱	۲	۰	۰٫۴	۳٫۲	۱۹٫۲	۴۱٫۲
مدل	۵۳٫۸	۴۰٫۳	۲۶٫۴	۲۹٫۲	۱۳٫۱	۱٫۶	۰٫۷	۰	۱	۳٫۳	۲۲	۴۲٫۱
انحراف معیار	۴۶	۳۳٫۶	۲۵٫۳	۳۳٫۷	۱۱٫۷	۴	۲	۰	۲٫۱	۲٫۸	۱۷٫۳	۳۷٫۹
T-test	۰٫۳	۰٫۱	۰٫۸	۱٫۲	۱٫۳	۰٫۵	۰٫۲	۰	-۰٫۱	۰٫۸	۰٫۷	۰٫۱
P-value	۰٫۸	۰٫۹	۰٫۵	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۷	۰٫۳	۱	۰٫۸	۰٫۴	۰٫۵	۱
F-test	۱٫۲	۱٫۳	۱	۱٫۵	۲٫۵	۱	۱٫۸	۱	۱٫۱	۱٫۰۵	۳٫۲	۱٫۵
P-value	۰٫۵	۰٫۵	۱	۰٫۲	۰	۰٫۹	۰٫۴	۱	۰٫۶	۰٫۵	۱٫۱	۰٫۳

به‌طور کلی مدل LARS-WG توانمندی مدل‌سازی اقلیم دوره‌ی گذشته، ایستگاه‌های تحت مطالعه‌ی کشور را بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم پایه که میانگین‌ها و انحراف معیارهای این سناریو دقیقاً مشابه میانگین‌ها و انحراف معیارهای دوره‌ی آماری ۲۰۱۰ تا ۱۹۸۱ می‌باشد، داراست.

۳-۲- نتایج عملکرد و کارایی مدل‌های AOGCM در استخراج طول دوره‌های خشک

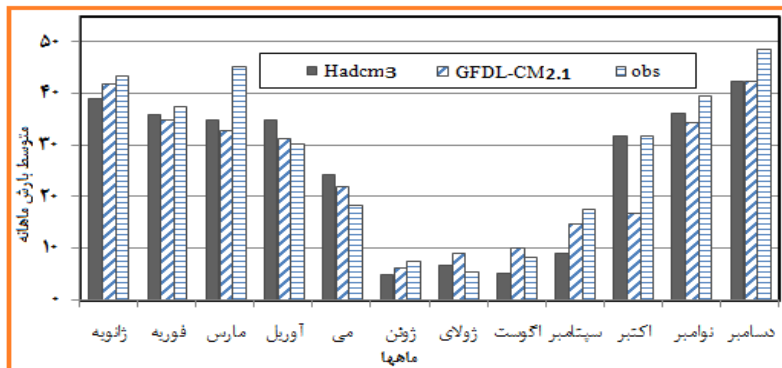
بر اساس اصول و مبانی روابط (۱ تا ۳)، و با استفاده از روش‌ها و شاخص‌های آماری، عملکرد مدل‌های AOGCM قبل از شبیه‌سازی و استخراج طول دوره‌های خشک مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد که دو مدل (Hadcm3 و GFDL-CM2.1) بیش‌ترین کارایی (هم‌بستگی) و کمترین خطای شبیه‌سازی را در برآورد پارامتر بارش داشتند. در مقابل کم‌ترین میزان هم‌بستگی و عدم کارایی لازم مربوط به دو مدل (INM-CM3 و NCCPCM) است جدول (۲). نتایج شاخص‌ها نشان داد که هم‌بستگی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در سطح بالایی است. از طرفی شکل (۴) نشان می‌دهد که هر دو مدل، میانگین بارش ماهانه کم‌تری را نسبت به داده‌های مشاهداتی شبیه‌سازی می‌کند (فقط در ماه آوریل و می میانگین بارش نسبت به داده‌های مشاهداتی افزایش نشان می‌دهد). از نظر مقیاس زمانی نیز، در ماه‌های گرم سال داده‌های مشاهداتی بارش نسبت به مقادیر شبیه‌سازی شده مدل‌ها از اختلاف کم‌تری برخوردار است، در مقابل در ماه‌های سرد سال، این تغییرات شدیدتر است. کاهش محسوس بارش در فصول سرد سال از خصیصه‌ی بارز هر دو مدل در ارزیابی تغییرات بارش در گستره ایران زمین است. برای برآورد حداکثر طول دوره‌های خشک نتایج مدل Hadcm3 تحت سناریوی (A2 و B1) برای دهه‌ی ۲۰۵۰ مبنای تحلیل در این پژوهش قرار گرفت و از به‌کاربردن نتایج دیگر مدل‌ها چشم‌پوشی شد.



شکل ۳: درصد انطباق داده‌های مشاهداتی با مدل شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۲: نتایج عملکرد شاخص‌های مختلف مدل‌های AOGCM نسبت به داده‌های مشاهداتی

دما			بارش			متغیر اقلیمی
عملکرد شاخص			عملکرد شاخص			
D	RMSE	R ² (%)	d	RMSE(mm)	R ² (%)	مدل
.۸۱	۱,۸	۹۰,۳	.۷۶	۱۱,۹	۹۱,۱	BCM2
.۹۷	۱,۲	۹۱,۳	.۷۸	۷,۹۶	۸۹,۱	CGCM3.1 (T47)
.۶۱	۳,۲	۷۰,۶	.۶۵	۲۰,۵۲	۹۰,۸	CNRM-CM3
.۸۳	۴,۲	۶۰,۸	.۷۰	۱۷,۸	۹۱,۱	CSIRO-MK3.0
.۸۰	۱,۹	۹۱,۸	.۷۹	۱۱,۹	۹۱,۷	FGOALS
.۹۸	۱,۲	۹۵,۳	.۸۹	۷,۲	۹۴,۲	GFDL-CM2.1
.۸۵	۳,۶	۷۳,۲	.۸۵	۲۰,۸	۸۶,۱	GISS-AOM
.۹۷	.۹۶	۹۸,۶	.۹۵	۵,۵۶	۹۵,۴	HadCM3
.۵۵	۵,۳	۸۷,۲	.۶۹	۱۴,۲	۸۶,۳	HadGEM1
.۶۹	۶,۷	۵۹,۵	.۵۵	۱۶,۳	۶۴,۸	INM-CM3.0
.۷۸	۲,۶	۸۸,۱	.۸۱	۲۵,۳	۹۰,۹	IPSL-CM4
.۸۳	۶,۸	۸۹,۶	.۶۳	۱۵,۳	۸۶,۰۱	MRI-CGCM2.3.2
.۷۶	۷,۳	۶۶,۶	.۷۹	۱۲,۸	۸۳,۸	ECHAM5-OM
.۶۸	۱,۵	۶۹,۵	.۵۸	۱۶,۹	۸۳,۴	NCCCSM3
.۴۷	۵,۹	۸۳,۱	.۴۷	۲۹,۸	۶۶,۹	NCPCM

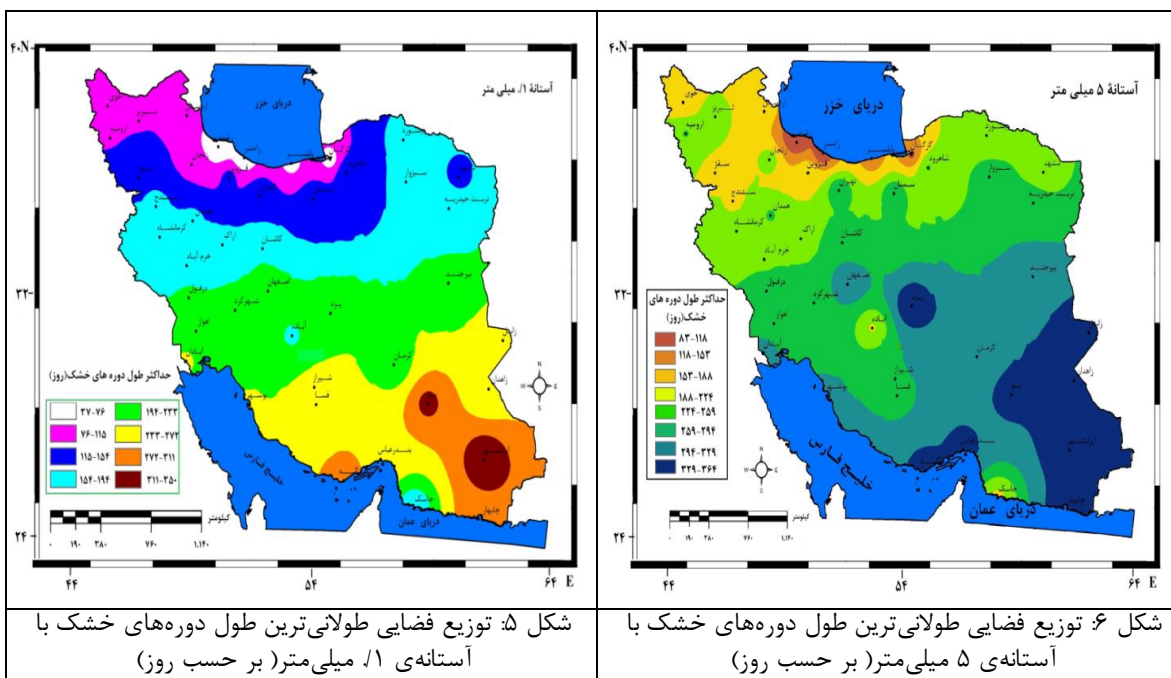


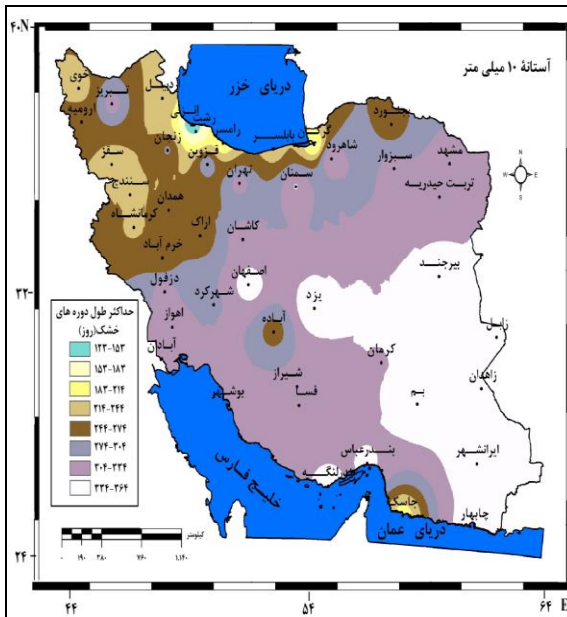
شکل ۴: نتایج عملکرد مدل‌های AOGCM نسبت به داده‌های مشاهداتی بارش

۳-۳- طولانی‌ترین طول دوره‌های خشک (LDS^۱) بر اساس آستانه‌های (۱، ۵ و ۱۰)

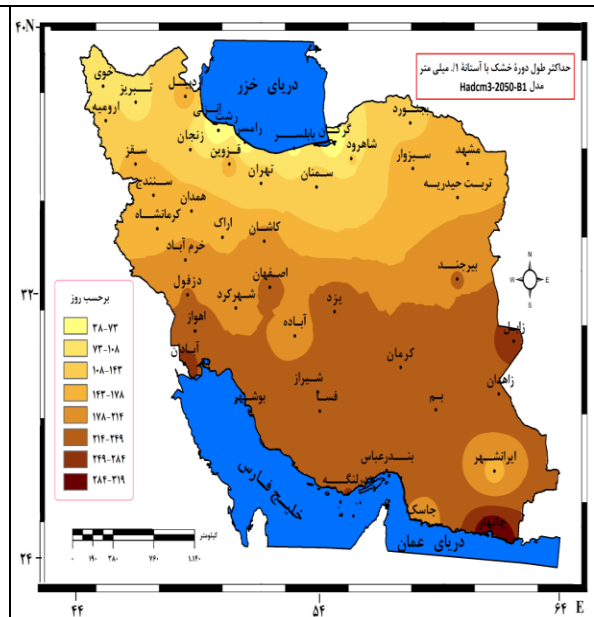
حداکثر طول دوره‌های خشک در گستره‌ی ایران نیز با شرایط بری نواحی مرکزی و شرقی کشور انطباق دارد. به طوری که کشور را می‌توان بر اساس آستانه‌ی ۱/۱ میلی‌متر به ۶ ناحیه‌ی مداری تقسیم نمود که مدار شمالی با طول دوره‌ی ۳۷ روز (در ایستگاه رشت) کم‌ترین و مدار بسته جنوب شرق با دوره‌ی ۳۵۱ روزه در ایستگاه چابهار بیش‌ترین دوره‌ی خشک را شامل

می‌شوند شکل (۵). مقادیر نشان می‌دهد که بر اساس آستانه‌ی ۱/ میلی‌متر در بیش از ۶۵ درصد مساحت ایران دوره‌های خشک بیش از ۷ ماه وجود دارد که هیچ‌گونه بارشی در آن‌ها ثبت نشده است. در ایستگاه‌هایی مانند (ایران‌شهر، بم، چابهار، بندرلنگه، زابل، بندرعباس، زاهدان، یزد، فسا، شیراز، آبادان، بوشهر، کرمان، اهواز و بیرجند) چنین شرایطی حاکم است. بر عکس در ایستگاه رشت طولانی‌ترین دوره‌ی بدون بارش بیش از یک ماه طول نکشیده است. با آستانه‌ی ۵ میلی‌متر نیز حداکثر طول دوره‌ی خشک که حدود یک سال طول کشیده است، در ایستگاه یزد با ۳۶۴ روز است. یعنی تقریباً یک سال بارشی به اندازه‌ی ۵ میلی‌متر در این ایستگاه ثبت نشده است. بر عکس طولانی‌ترین دوره بر اساس این آستانه در ایستگاه رامسر با ۸۳ روز بوده است (شکل ۶). بر اساس مقادیر این آستانه بیش از ۷۵ درصد مساحت ایران حدود ۹ ماه بارش بیش از ۵ میلی‌متر را تجربه نکرده‌اند. بر اساس آستانه‌ی ۱۰ میلی‌متر شرایط دوره‌های خشک تا حدودی نسبت به آستانه‌های قبلی وخیم‌تر است تا جایی که در ۹۰ درصد از مساحت ایران، دوره‌های خشک در بیش از ۸ ماه سیطره داشته است. در این بین ایستگاه‌های یزد و زابل با ۳۶۵ روز طولانی‌ترین و ایستگاه انزلی با ۱۲۳ روز کم‌ترین طول دوره را شامل شده است (شکل ۷). قابل تأمل است که در این آستانه برخلاف آستانه‌های قبلی کمربند ساحلی خزر به غیر از انزلی (رشت، رامسر، بابل‌سر و گرگان) حداقل طول دوره‌های خشک بیش از ۵ ماه را تجربه کرده‌اند. این نکته مؤید آن است که در این کمربند، بارش‌های بیش از ۱۰ میلی‌متر رخداد کم‌تری در طول سال داشته و اغلب از توزیع نایک‌نواخت‌تری نسبت به بارش‌های ۱/ و ۵ میلی‌متری برخوردارند.

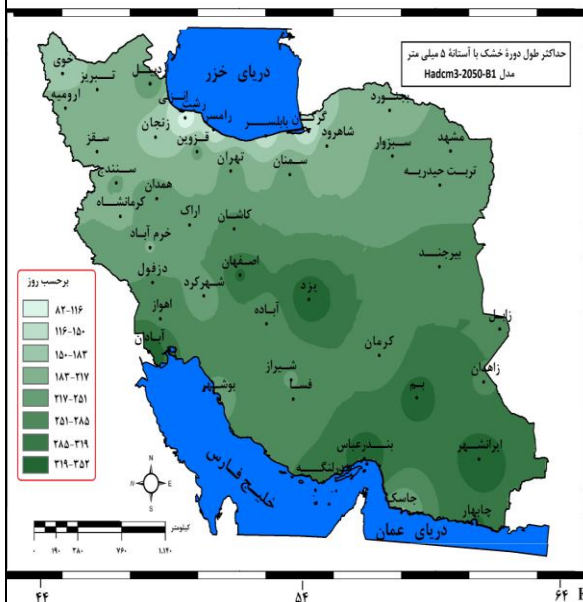




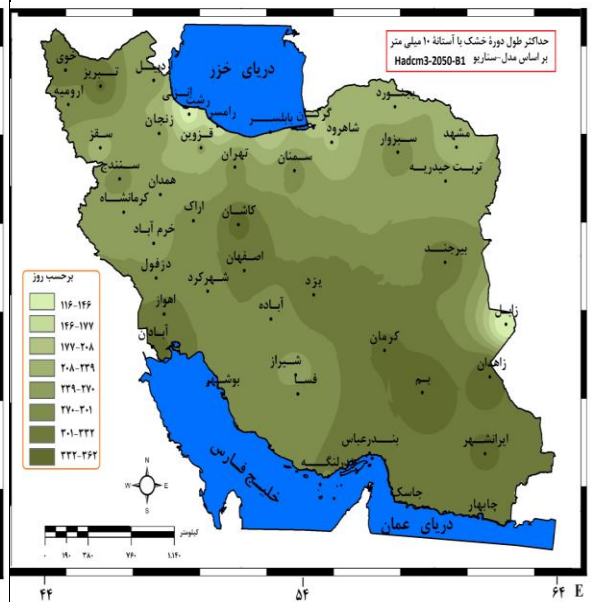
شکل ۷: توزیع فضایی طولانی‌ترین دوره‌های خشک با آستانه‌ی ۱۰ میلی‌متر (برحسب روز)



شکل ۸: پیش‌بینی طولانی‌ترین دوره‌های خشک با آستانه‌ی ۱ میلی‌متر بر پایه‌ی مدل-سناریوی (Hadcm3-2050-B1)



شکل ۹: پیش‌بینی طولانی‌ترین دوره‌های خشک با آستانه‌ی ۵ میلی‌متر بر پایه‌ی مدل-سناریوی (Hadcm3-2050-B1)



شکل ۱۰: پیش‌بینی طولانی‌ترین دوره‌های خشک با آستانه‌ی ۱۰ میلی‌متر بر پایه‌ی مدل-سناریوی (Hadcm3-2050-B1)

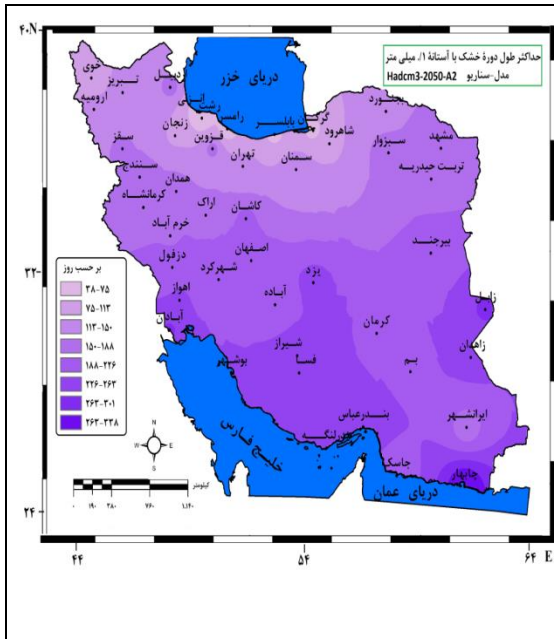
۳-۴- برآورد طولانی‌ترین طول دوره‌های خشک (LDS) بر اساس آستانه‌های (۱/، ۵ و ۱۰) دهه‌ی ۲۰۵۰ ومدل-سناریو (Hadcm3-B1)

توجه به این که طولانی‌ترین دوره‌های خشک معیار مناسبی برای ارزیابی روزهای خشک و بدون بارش در یک ایستگاه است، بنابراین این ویژگی تباین اقلیمی بین شمال و جنوب را به خوبی نشان می‌دهد اما در جهت غربی- شرقی (به خصوص در عرض‌های پایین) این تباین آن‌چنان دیده نمی‌شود. شاید دلیل آن استیلا و حاکمیت سامانه‌های هم‌نوع در اغلب فصول سال بر این نواحی باشد. بر اساس آستانه‌ی ۱/ میلی‌متر و سناریوی B1 حداکثر طول دوره‌های خشک مدل شده، مانند دوره‌های مشاهداتی منطبق بر نواحی جنوبی و فلات مرکزی کشور است، با این تفاوت که دوره‌های خشک بدون بارش بر اساس مدل روند شمالی‌تری به خود می‌گیرد یعنی مرز مناطق خشک به سمت نوار شمالی جابه‌جا و اساساً جبهه‌ی خشک و تر شمالی‌تر می‌شود (شکل ۸ و ۹). ایستگاه‌هایی مانند چابهار، بندرلنگه، زابل، بندرعباس، شیراز و فسا، آبادان دوره‌هایی با بیش از ۹ ماه وجود دارد که هیچ‌گونه بارشی در آن ثبت نشده است. در مقابل ایستگاه‌های رامسر، رشت، انزلی و گرگان طولانی‌ترین دوره‌ی بدون بارش کم‌تر از دو ماه طول کشیده است (شکل ۸). نکته‌ی قابل توجه این که در خوش‌بینانه‌ترین حالت (سناریوی B1)، حداکثر طول دوره‌های خشک پیش‌بینی شده در نوار شمالی و سواحل خزر نسبت به وضعیت دوره‌های خشک مشاهداتی تغییرات چندانی نداشته است (فقط میانگین ۲ روز افزایش داشته است). در مورد آستانه‌های ۵ و ۱۰ میلی‌متر شرایط تا حدودی متفاوت‌تر است، به طوری که مرز نواحی که بیش از ۱۰ ماه در سال بارش بیش از ۵ و ۱۰ میلی‌متر را دریافت نموده‌اند تا جنوب البرز هم کشیده شده است. تا جایی که برای ایستگاه‌هایی در جنوب شرق و مرکز ایران هم چون اصفهان، یزد، کرمان، بم، ایرانشهر، زاهدان، چابهار دوره‌هایی با طول یکسال پیش‌بینی شده که بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر در آن‌ها نیارد. برای ایستگاه‌های شمال غرب مانند تبریز، خوی، ارومیه و سنندج دوره‌های خشک با حداکثر طول بیش از ۹ ماه پیش‌بینی می‌شود که نسبت به وضعیت موجود (مشاهداتی)، وضعیت نامطلوبی به حساب می‌آید (در این آستانه‌ها هم حداکثر دوره‌های خشک نسبت به وضعیت گذشته، به طور میانگین ۷ روز افزایش نشان می‌دهد) (شکل ۹ و ۱۰).

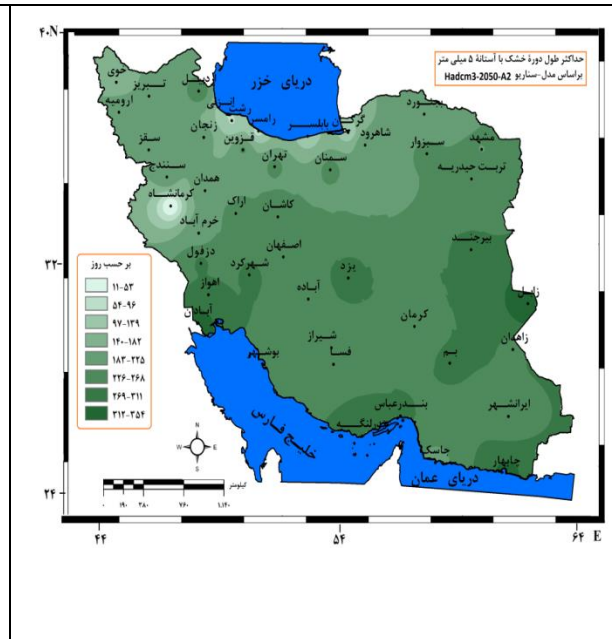
۳-۵- برآورد حداکثر طول دوره‌های خشک (LDS)، بر اساس آستانه‌های (۱/، ۵ و ۱۰) دهه‌ی ۲۰۵۰ ومدل-سناریو (Hadcm3-A2)

بر اساس بدبینانه‌ترین حالت (سناریوی A2)، برای آستانه‌ی ۱/ میلی‌متر آرایش فضایی حداکثر طول دوره‌های خشک شرایطی مانند سناریوی B1 پیش‌بینی می‌شود. با این تفاوت که منحنی‌های هم‌عرض در راستای مداری با دوره‌های خشک طولانی (بیش از ۷ ماه) ارتفاعات زاگرس شمالی و شمال غرب را نیز در برمی‌گیرد. بر اساس این سناریو طولانی‌ترین طول دوره‌های خشک مانند سناریوی B1 منطبق بر نواحی مرکزی، جنوب و جنوب شرق است. به طوری که ایستگاه‌های چابهار، بندرلنگه، زاهدان، بندرعباس و یزد و زابل دوره‌های خشک بیش از ۹ ماه را تجربه می‌کنند (شکل ۱۱). کمترین طول دوره‌های خشک مانند سناریوی B1 منطبق بر نوار ساحلی خزر است، اما با این تفاوت که در این پهنه، دوره‌های خشک بیش از ۲ ماه هم پیش‌بینی می‌شود (از ۳۸ روز در رشت تا ۶۸ روز در بابل در نوسان است). بر اساس آستانه‌ی ۵ و ۱۰ میلی‌متر کشور به سه قطب اقلیمی شامل: پهنه‌ی مرکزی و جنوبی، پهنه‌ی شرقی و پهنه‌ی ساحلی خزر تقسیم می‌شود (شکل ۱۲ و ۱۳). حداقل طول دوره‌های خشک این بار نه تنها بر ایستگاه‌های ساحلی منطبق است، بلکه ایستگاه‌های کرمانشاه، همدان و زابل را شامل می‌شود. شاید علت این امر افزایش رخداد بارش‌های رگباری و سنگین بالای ۱۰ میلی‌متر در این ایستگاه‌ها باشد. به طور کلی می‌توان اذعان نمود که بر اساس آستانه‌ی پایین (۱/ میلی‌متر)، و از حیث طولانی‌ترین دوره‌های خشک تحت هر دو سناریو، پهنه‌ی شمال غرب و غرب بر روی یک خط هم‌ارزش، نوار ساحلی خزر و دامنه‌های جنوبی البرز بر روی یک مدار و نهایتاً مرکز

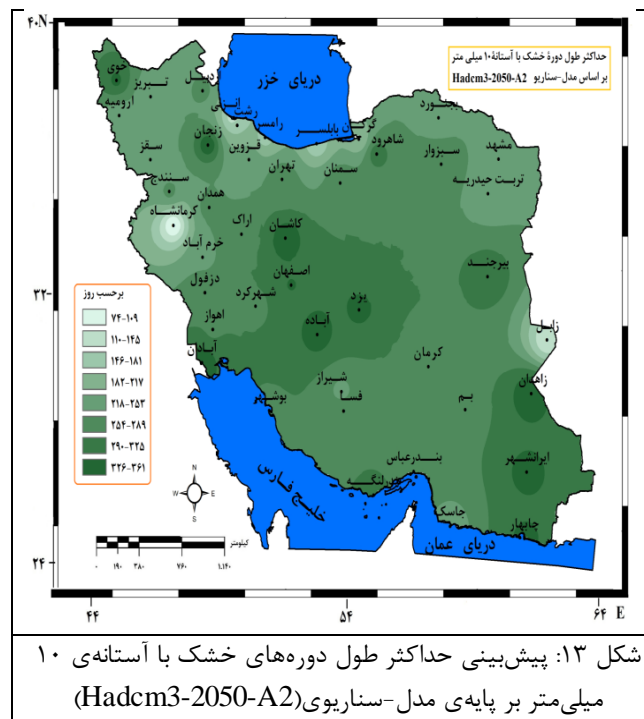
و جنوب شرق در یک طبقه قرار دارند. در مقابل گستره ایران زمین با آستانه‌های ۵ و ۱۰ میلی‌متر شرایط متفاوت‌تری را تجربه می‌کند، به طوری که بیش از ۸۵ درصد مساحت ایران دوره‌های خشکی با طول بیش از ۸ ماه را تجربه می‌کنند.



شکل ۱۱: پیش‌بینی طولانی‌ترین دوره‌های خشک با آستانه‌ی ۱۰ میلی‌متر بر پایه‌ی مدل-سناریوی (Hadcm3-2050-A2)



شکل ۱۲: پیش‌بینی طولانی‌ترین دوره‌های خشک با آستانه‌ی ۵ میلی‌متر بر پایه‌ی مدل-سناریوی (Hadcm3-2050-A2)



شکل ۱۳: پیش‌بینی حداکثر طول دوره‌های خشک با آستانه‌ی ۱۰ میلی‌متر بر پایه‌ی مدل-سناریوی (Hadcm3-2050-A2)

۵- نتیجه‌گیری

طولانی‌ترین دوره‌های خشک، معیار مناسبی برای ارزیابی روزهای خشک و بدون بارش در یک مکان است، بنابراین این ویژگی تباین اقلیمی بین شمال و جنوب ایران را به خوبی نشان می‌دهد، اما در جهت غربی-شرقی (به خصوص در عرض‌های پایین) این تباین آن‌چنان دیده نمی‌شود. حداکثر طول دوره‌های خشک در گستره‌ی ایران نیز با شرایط بری نواحی مرکزی و شرقی کشور انطباق دارد. ایستگاه‌هایی مانند چابهار، بندرلنگه، زابل، بندرعباس، شیراز و فسا، آبادان دوره‌هایی با بیش از ۹ ماه وجود دارد که هیچ‌گونه بارشی در آن ثبت نشده است. در مقابل ایستگاه‌های رامسر، رشت، انزلی و گرگان طولانی‌ترین دوره‌ی بدون بارش کم‌تر از دو ماه طول کشیده است. مدل‌سازی دوره‌های خشک نشان داد که بر اساس هر دو سناریو (A2, B1)، در دهه‌ی ۲۰۵۰ نواحی جنوب شرق و مرکز دارای طولانی‌ترین طول دوره‌های خشک هستند، به طوری که در خوش-بینانه‌ترین حالت (سناریوی B1) دوره‌های خشک به طور متوسط ۳ روز نسبت به وضعیت مشابه گذشته طولانی‌تر می‌شوند، اما حداکثر طول دوره‌های خشک پیش‌بینی شده در نوار شمالی و سواحل خزر نسبت به وضعیت دوره‌های خشک مشاهداتی تغییرات چندانی نداشته است (فقط میانگین ۲ روز افزایش داشته است). در پهنه‌ی شمال غرب نیز طول دوره‌های خشک نسبت به وضعیت گذشته، ۵ روز طولانی‌تر می‌شود که خود نشان از افزایش آهنگ خشکی در این نواحی دارد. نکته‌ی قابل توجه این‌که اگرچه طولانی‌ترین طول دوره‌های خشک منطبق بر نواحی خشک و نیمه‌خشک کشور است، اما آهنگ افزایش طول دوره‌های خشک در نواحی مرطوب کشور مانند شمال غرب و جنوب چشم‌گیرتر است. به عبارتی دوره‌های خشک بدون بارش بر اساس پیش‌بینی مدل، روند شمالی‌تری به خود می‌گیرد یعنی مرز مناطق خشک به سمت نوار شمالی جابه‌جا و اساساً جبهه‌ی خشک، شمالی‌تر می‌شود.

۶- منابع

۱. سلطانی، سعید، مدرس، رضا (۱۳۸۵). تحلیل فراوانی و شدت خشکسالی هواشناسی استان اصفهان، مجله‌ی منابع طبیعی ایران، دوره‌ی ۵۹، شماره‌ی ۱، صص ۲۶-۱۵.
۲. طاوسی، تقی، خسروی، محمود، قادر زهی، خالد (۱۳۸۹). بررسی خشکسالی و تحلیل روند دوره‌های خشک کوتاه مدت ایرانشهر با استفاده از زنجیره مارکف در دوره‌ی آماری ۱۳۸۵-۱۳۵۹، نشریه‌ی علوم محیطی، دوره‌ی ۷، شماره‌ی ۴، صص ۳۱-۴۴.
۳. عساکره، حسین، مازینی، فرشته (۱۳۸۹). بررسی احتمال وقوع روزهای خشک در استان گلستان با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، جغرافیا و توسعه، دوره‌ی ۷، شماره‌ی ۸، صص ۴۴-۲۹.
۴. علیجانی، بهلول، محمودی، پیمان، چوگان، عبدالجبار، بیشه نیاسر، مرتضی (۱۳۹۰). بررسی ساختار تداوم دو وضعیتی بارش‌های سالانه جنوب ایران با استفاده از مدل وضعیت نهان زنجیره مارکوف، جغرافیا و توسعه، دوره‌ی ۸، شماره‌ی ۲۵، صص ۱-۱۶.
۵. فولادمند، حمید رضا (۱۳۸۵). پیش بینی بارندگی روزانه و سالانه و تعداد روزهای بارانی در سال با استفاده از زنجیره مارکوف در یک منطقه نیمه خشک، مجله‌ی علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دوره‌ی ۱۲، شماره‌ی ۱، صص ۱۲۴-۱۱۳.
۶. قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۳). کاربرد نمایه‌ای مبتنی بر بارش در مطالعه خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی، مجله‌ی پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره‌ی ۶۵، صص ۵۶-۴۷.
۷. محمودی، پیمان، پروین، نادر، جباری، رضا (۱۳۹۲). پهنه‌بندی ایران بر اساس طول دوره‌های خشک، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۱۳، صص ۱۰۶-۸۵.
۸. مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۹۰). آب و هوای ایران، مشهد: انتشارات شریعه توس، چاپ اول.
۹. مفیدی، عباس، زرین، آذر، کارخانه، میثم (۱۳۹۳). بررسی الگوی گردش جو در طول دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر، مجله‌ی ژئوفیزیک ایران، دوره‌ی ۸، شماره‌ی ۱، صص ۱۷۶-۱۴۰.
۱۰. هاشمی، فریدون (۱۳۴۷). تجزیه و تحلیل استاتیکی از بارندگی سالانه، ماهانه و روزانه تهران، تحقیقات علمی هواشناسی کل کشور، شماره‌ی ۴، صص ۱-۱۲.
11. Abdulmalek A. AlAsheikh and Qassem Y. Tarawneh. (2013). An Analysis of Dry Spells Patterns Intensity and Duration in Saudi Arabia. Middle-East Journal of Scientific Research, 13 (3): pp 314-327
12. Arabshahi, H. (2011). Climate Change assessment over Zagros during 2010-2039 by Using Statistical Down scaling of ECHO-G model. Environmental Research Journal, 5: pp 25-33.
13. Babaeian, I., Kwon, W.T., and Im, E.S., (2004): Application of weather generator technique for climate change assessment over Korea. Korea.conference 2011, pp 55-73.
14. Beniston M, Stephenson DB, Christensen OB, Ferro CAT, Frei C, Goyette S, Halsnaes K, Holt T, Jylhä K, Koffi B, Palutikof JP, Schöll R, Semmler T, Woth K (2007). Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. Clim Change 81(S1): pp 71– 95.
15. Blenkinsop S, Fowler HJ (2007). Changes in European drought characteristics projected by the PRUDENCE regional climate models. Int J Climatol 27: pp 1595–1610.
16. Dastidar AG, Ghosh D, Dasgupta S, De UK (2010). Higher order Markov chain models for monsoon rainfall over West Bengal, India. Indian J Radio and Space Phys 39: pp 39–44.

17. Deni, S. Mohd.; Jemain, A. A.; Ibrahim, K. (2008). The spatial distribution of wet and dry spells over Peninsular Malaysia. *Theoretical & Applied Climatology*, Vol. 94 Issue 3/4, pp163.
18. Domroes, M and Ranatung, E., (1993). A Statistical approach toward a regionalization of daily rainfall in Sri Lanka. *Int. J. Climatol.*, pp 43-55.
19. Fischer, M. L. Mul, and H. H. G. Savenije. (2013). Determining spatial variability of dry spells: a Markov-based method, applied to the Makanya catchment, Tanzania. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, pp 2161–2170.
20. GAO X, Giorgi F (2008). Increased aridity in the Mediterranean region under greenhouse gas forcing estimated from high resolution simulations with a regional climate model. *Glob Planet Change* 62: pp195–209
21. GAO X, Pal JS, Giorgi F (2006). Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from a high resolution double nested RCM simulation. *Geophys Res Lett* 33 (L03706): pp 44-55.
22. Hashemi-Ana, S. K., Khosravi, M., & Tavousi, T. (2015). Validation of AOGCMs Capabilities for Simulation Length of Dry Spells under the Climate Change in Southwestern Area of Iran. *Open Journal of Air Pollution*, 4(02), pp1-6.
23. Huth, R. (2004). Sensitivity of local daily temperature change estimates to the selection of downscaling models and predictors, *Journal of Climate*, 17, pp 640–652.
24. Martin-Vide, J. and Gomez, L. (1999). Regionalization of Peninsular Spain based on the length of dry spells. *International Journal of Climatology*, Volume 19, Issue 5, pp 537-555.
25. Oikonomou, H. A. Flocas, M. Hatzaki A. Nisantzi, D. N. Asimakopoulos. (2010). Relationship of extreme dry spells in Eastern Mediterranean with large-scale circulation. *Theoretical*, Volume 100, Issue 1-2, pp 137-151.
26. Racsco P, Szeidl L, Semenov M (1991). A serial approach to local stochastic weather models. *Ecol Model* 57 (1–2): pp 27–41.
27. Schmidli J, Frei C (2005). Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century. *Int J Climatol* 25: pp753–771.
28. Schoof JT, Pryor SC (2008). On the proper order of Markov chain model for daily precipitation occurrence in the contiguous United States. *J Appl Meteorol Climatol* 47: pp 2477–2486
29. Semenov MA, Brooks RJ (1999). Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain. *Clim Res* 11(2): pp 137–148.
30. Soler C.M.T. Sentelhas P.C. and Hoogenboom G. (2007). Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in subtropical environment. *European Journal Agronomy*, 27: pp 165-177.
31. Turley, M.C and Ford, E.D. (2009). Definition and calculation of uncertainty in ecological process models. *Ecological Modelling*, 220: pp 1968–1983.