

تحلیل وضعیت خشکسالی در سطح کشور ایران با استفاده از محصول

بارشی مرکز ECMWF

علیرضا پیل‌پایه^۱؛ گروه مهندسی عمران، واحد پارس آباد مغان، دانشگاه آزاد اسلامی، پارس آباد، ایران.
داوود نجفیان قوجه‌بیگلو؛ دانشجوی مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
توفیق سعدی؛ دکترای اقلیم‌شناسی در برنامه ریزی محیطی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
اکبر رحمتی؛ کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۲/۱۵

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۰۹

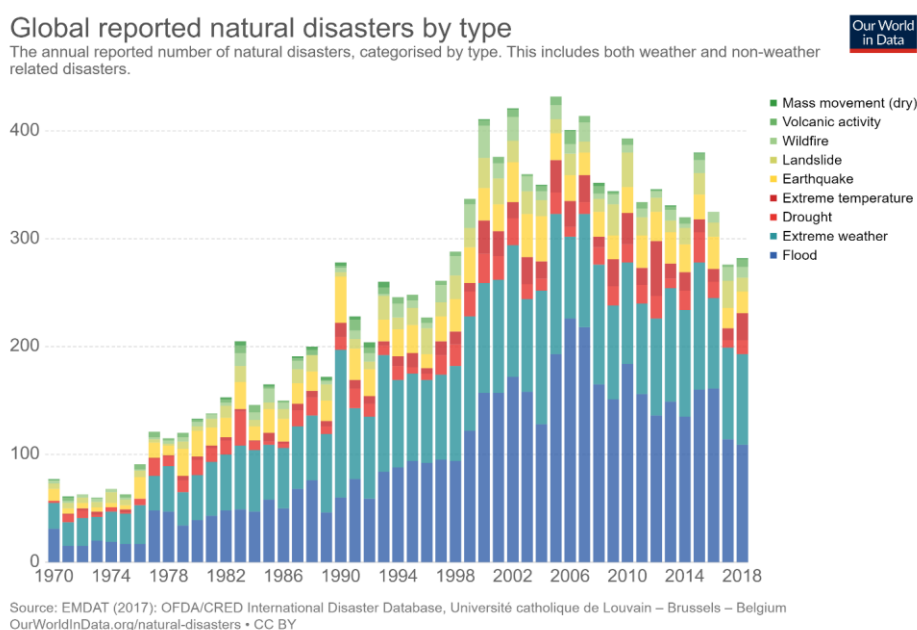
چکیده

خشکسالی از جمله بلاای طبیعی است که نسبت به سایر پدیده‌های طبیعی در یک بازه زمانی طولانی اتفاق می‌افتد که به صورت متناوب جوامع بشری را از طریق اثرات منفی بر روی منابع آب و کشاورزی و به دنبال آن اقتصاد را دچار مشکل می‌سازد. یکی از روش‌های بررسی وضعیت خشکسالی استفاده از شاخص‌های خشکسالی همچون SPI می‌باشد. در این پژوهش از شاخص SPI جهت بررسی خشکسالی و ترسالی طی دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ استفاده شده است. ایستگاه‌های سینوپتیک به دلیل عدم پراکنش مناسب و همچنین وجود خلاهای آماری زیاد نمی‌توانند به عنوان منبع بارش مناسب در این نوع پژوهش‌ها نقطه قابل اتکایی باشند به همین جهت منابع بارش شبکه‌بندی شده که دارای قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالایی هستند می‌توانند به عنوان یک جایگزین مناسب برای ایستگاه‌های زمینی استفاده شوند، در این پژوهش از منبع بارش Era-interim که محصول مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی اروپایی است استفاده شده است. نتایج ارزیابی‌های اولیه حاکی از این بود که میزان همبستگی برای منبع بارش Era-interim و داده‌های مشاهداتی در محدوده ۰.۴۵ تا ۰.۹ برای ماه‌های مختلف بوده و همچنین میزان NRMSE برای این منبع بارش در اکثر ماه‌های مورد بررسی زیر ۰.۲ بود که با توجه به این دو شاخص می‌توان اذعان کرد منبع بارش ERA-interim در مقیاس زمانی ماهانه از دقت مناسبی در سطح کشور برخوردار است به همین جهت از این منبع بارش جهت بررسی وضعیت خشکسالی در سطح کشور استفاده شد. بررسی وضعیت خشکسالی با توجه به شاخص SPI بود حاکی از این مساله بود که با افزایش مقیاس زمانی شاخص SPI خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها شدیدتر شده به نحوی که خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ملایم در اکثر ماه‌ها و سال‌های مورد بررسی تبدیل به خشکسالی‌های شدید و ترسالی‌های شدید شدند.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، شاخص SPI، منبع بارش شبکه‌بندی شده، قدرت تفکیک مکانی و زمانی، مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی اروپایی.

مقدمه

خشکسالی از جمله بلایای طبیعی است که نسبت به سایر پدیده‌های طبیعی در یک بازه زمانی طولانی اتفاق می‌افتد که به صورت متناوب جوامع بشری را از طریق اثرات منفی بر روی منابع آب و کشاورزی و به دنبال آن اقتصاد را دچار مشکل می‌سازد. در بین بلایای طبیعی می‌توان گفت که خشکسالی جز پدیده‌هایی بوده که در زمان‌های متفاوت و در سطح جهان به وفور اتفاق افتاده است. با توجه به شکل ۱ نیز می‌توان به این نکته اشاره کرد که یکی از مهمترین چالش‌های پیش روی بشر خشکسالی‌های متعددی بوده که در سالیان مختلف اتفاق افتاده و در طی سالیان مختلف نیز روند افزایشی داشته است. با توجه به بررسی این پدیده و آگاهی از خطرات و اثرات احتمالی آن در بخش‌های مختلف می‌توان از اثرات منفی این پدیده در زمینه‌های مختلف جلوگیری کرد. به همین جهت پژوهش‌های مختلفی در زمینه بررسی وضعیت خشکسالی انجام پذیرفته است که در ادامه به برخی از این پژوهش‌ها اشاره می‌شود.



شکل ۱: تعداد بلایای طبیعی گزارش شده در سطح جهان بر اساس نوع آن طی زمان‌های مختلف

در پژوهش‌های مختلفی وضعیت خشکسالی مورد بررسی قرار گرفته است در این بخش پژوهش‌هایی که از منابع بارش شبکه‌بندی شده جهانی استفاده شده است مد نظر می‌باشد. همچنین این بخش را می‌توان در دو قسمت جدا به این صورت که ابتدا پژوهش‌های انجام پذیرفته در زمینه ارزیابی مستقیم منابع بارش با استفاده از داده‌های زمینی بارش و بخش مربوط به بررسی کارایی این منابع بارش در زمینه پایش خشکسالی بررسی کرد. از بین پژوهش‌هایی که در زمینه ارزیابی منابع بارش به صورت مستقیم انجام پذیرفته می‌توان به عنوان مثال به پژوهشی اشاره کرد که در آن داده‌های بارش ^۱CMORPH، ^۲PERSIANN، ^۳GPCP، ^۴TRMM و ^۵APHRODITE را در مقیاس‌های روزانه، ماهانه،

^۱ CPC MORPHing technique

^۲ Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks

^۳ Global Precipitation Climatology Project

^۴ Tropical Rainfall Measuring Mission

^۵ Asian Precipitation – Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources

می‌توان به این نکته اشاره کرد که ERA-۵ نسبت به ERA-interim عملکرد بهتری داشته و در نهایت بدترین عملکرد مربوط به JRA-۵۵ می‌باشد (Xu et al., ۲۰۱۹).

در ادامه می‌توان به پژوهش‌هایی که در زمینه کارایی منابع بارش جهانی در برآورد و پایش خشکسالی استفاده شده اشاره کرد. به عنوان مثال در پژوهشی با استفاده از دو منبع بارش ماهواره‌ای PERSIANN-CDR و CHIRPS به بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از یک مدل هیدرولوژیکی پرداخته شد. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش حوضه متوسطی در جنوب چین بود که با استفاده از دو منبع بارش ذکر شده و همچنین مدل بارش رواناب به اسم GXAJ و شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی^۱ SSI در این پژوهش استفاده شد. نتایج حاکی از این بود که دو منبع بارش PERSIANN-CDR و CHIRPS تقریباً دقت مناسبی در برآورد طبقه‌های مختلف خشکسالی داشته و صرفاً در میزان برآورد خشکسالی در سطح حوضه کم‌برآوردی اندکی داشتند در حالت کلی هر دو منبع بارش ذکر شده دارای دقت مناسبی در برآورد خشکسالی در سطح حوضه بوده و صرفاً در برآورد شدت خشکسالی دارای اریب بودند (Lai et al., ۲۰۱۹).

همچنین در پژوهشی دیگر نیز با استفاده از منابع بارش CMORPH و شاخص‌های GSPEI و SPEI^۲ به بررسی خشکسالی در سطح حوضه رودخانه زرد در چین پرداخته شد. نتایج ارزیابی‌ها حاکی از این بود که منبع بارش CMORPH همبستگی مناسبی با داده‌های مشاهداتی داشته به همین منظور در این حوضه برای بررسی وضعیت خشکسالی به عنوان یک منبع بارش مناسب تلقی می‌شود. نتایج استخراج شده از این پژوهش را می‌توان در قالب زیر عنوان کرد؛

- شاخص GSPEI به منظور بررسی خشکسالی در سطح حوضه YRB با استفاده از داده‌های CMORPH که نزدیک به داده‌های مشاهداتی بود از دقت مناسبی برخوردار می‌باشد.
- همبستگی مثبت و بالا بین GSPEI و SPEI و همچنین آزمون معناداری حاکی از این مساله بود که شاخص GSPEI شاخص مناسبی جهت بررسی خشکسالی در حوضه YRB می‌باشد.
- شدت خشکسالی در هر فصل در حوضه YRB در تابستان بیشترین میزان و به دنبال آن بهار، پاییز و زمستان بود.
- خشکسالی روند افزایشی در مقیاس ماهانه و در ماه‌های مارس، می، اوت و اکتبر نشان داد و همچنین در مقیاس فصلی و سالانه روند کاهشی داشت (Wang et al., ۲۰۱۹).

در پژوهشی از سه محصول بازتحلیل Era-interim، MERRA-۲ و CFSR^۳ به منظور پایش خشکسالی در طی دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵ در هند استفاده شد. ارزیابی‌های اولیه حاکی از این بود که هر سه محصول ذکر شده در برآورد دما و میزان بارش در فصول موسمی دارای اریب می‌باشند. تمامی محصولات بازتحلیل در تشخیص روند بارش موسمی در منطقه مورد مطالعه مناسب عمل نکرده و کارایی مناسبی نداشتند. با این حال علی‌رغم نتایج نامناسب هر کدام از این منابع به تنهایی در برآورد خشکسالی در فصول موسمی میانگین همادی این سه منبع دارای دقت مناسبی در برآورد

^۱ Standardized Soil moisture Index

^۲ Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index

^۳ Climate Forecast System Reanalysis

خشکسالی در منطقه بوده و می‌توان از میانگین این سه منبع به عنوان منبع بارش بهینه جهت برآورد میزان خشکسالی و پایش آن در سطح منطقه استفاده کرد (Shah and Mishra, ۲۰۱۴).

در نهایت در پژوهشی جامع‌تر توانایی هر کدام از منابع بارشی موجود در سطح جهان را در برآورد شاخص خشکسالی SPI مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش منابع بارش متشکل از GPCP، GPCP، Era-interim، MERRA-۲ و MSWEP بود. نتایج نشان می‌دهد که شاخص‌های مبتنی بر بارش ارتباط بالایی با نوع منبع بارش، طول دوره آماری و تفکیک مکانی داشته به طوری که هر کدام از این عوامل تاثیر قابل توجهی در برآورد میزان شاخص مورد نظر دارد. این رابطه همچنین با توجه به شدت خشکسالی نیز متغیر بوده و وقایع خشکسالی شدید نسبت به تفکیک مکانی و طول دوره آماری حساس‌تر می‌باشند (Golian et al., ۲۰۱۹).

در سال‌های اخیر در سطح کشور نیز مطالعات گسترده‌ای در زمینه ارزیابی منابع بارش به صورت مستقیم و همچنین بررسی کارایی این منابع بارش در پایش خشکسالی انجام پذیرفته است. به عنوان مثال در پژوهش‌هایی از داده‌های بارش NCEP/NCAR برای بررسی خشک‌سالی در ایران استفاده شد و تغییرپذیری زمانی نمایه خشک‌سالی SPI به‌دست‌آمده از بارش NCEP/NCAR را با SPI به‌دست‌آمده از داده‌های مشاهده‌ای در سطح کشور مورد مقایسه قرار گرفت. نتیجه این پژوهش‌ها نشان داد که تغییرات زمانی نمایه SPI به‌دست‌آمده از داده‌های بارش NCEP/NCAR هماهنگی خوبی با نمایه SPI به‌دست‌آمده از داده‌های زمینی بارش در برخی مناطق کشور مانند شمال غرب ایران دارد ولی دقت این داده‌ها در بخش‌هایی از دامنه‌های جنوبی و شرقی زاگرس و دامنه‌های جنوبی البرز کم است (Raziei et al., ۲۰۱۰, Raziei et al., ۲۰۱۱, al., ۲۰۰۹).

در بخش ارزیابی منابع بارش به صورت مستقیم نیز می‌توان به پژوهشی که به ارزیابی شش منبع بارش جهانی در سطح حوضه کارون بزرگ پرداخته شد اشاره کرد. در این پژوهش منابع بارشی متشکل از ERA-interim، APHRODITE، CHIRPS، PERSIANN، PERSIANN-CDR و TRMM-۳B۴۲ و ارزیابی‌ها در مقیاس زمانی روزانه بود. نتایج حاکی از این مساله بود که در سطح حوضه کارون بزرگ منابع بارشی APHRODITE و ERA-interim نسبت به دیگر منابع بارشی از دقت مناسبی برخوردار بوده و می‌توانند با تصحیح اریبی به عنوان جایگزینی برای ایستگاه‌های اندازه‌گیری در سطح حوضه انتخاب شوند. همچنین از دیگر نتایج این پژوهش می‌توان به این نکته اشاره کرد که از بین منابع بارش ماهواره‌ای نیز TRMM از عملکرد بهتری نسبت به دیگر منابع برخوردار بوده و منبع بارش CHIRPS بدترین عملکرد را در بین کل منابع بارشی دارد (رحمتی و مساح بوانی ۱۳۹۸). در پژوهشی دیگر که در سطح حوضه آبریز سفیدرود انجام پذیرفت عملکرد یکی از منابع بارشی ارزشمند به نام ERA-interim در گام‌های زمانی روزانه و ماهانه در سطح حوضه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از ارزیابی در سطح این حوضه و در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه حاکی از آن بود که این منبع دارای همبستگی بالایی با ایستگاه‌های زمینی به ویژه در بخش‌های جنوبی، مرکزی و غربی حوضه است. همچنین از نظر آماره‌های طبقه‌بندی، منبع بارشی ERA-interim در هر دو گام زمانی روزانه و ماهانه با دارا بودن مقادیر کم شاخص FAR (گزارش‌های اشتباه)، مقادیر بالای شاخص Accuracy (صحت پیش‌بینی‌های درست) و نیز مقدار بالا در تشخیص روزهای بارانی (POD) دارای عملکرد بسیار مناسبی می‌باشد و لذا توصیه می‌شود در حوضه‌های فاقد آمار و یا در مدلسازی‌های هیدرولوژیکی که نیازمند داده‌های بارشی صحیحی هستند از این منبع بارشی ارزشمند استفاده شود (عزیزیان و رضانی ۱۳۹۷).

با توجه به پیشینه تحقیق ارائه شده بررسی‌های انجام شده در سطح کشور حاکی از این است که منابع بارش جهانی هر چند به صورت مستقیم و غیر مستقیم مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند با این حال مطالعات اندکی در زمینه بررسی جامع این منابع بارش جهانی در برآورد میزان و شدت خشکسالی در سطح کشور انجام پذیرفته است. به همین دلیل هدف کلی این پژوهش بررسی جامع توانایی منبع بارش ERA-interim در برآورد میزان بارش و همچنین بررسی خشکسالی در سطح کشور است.

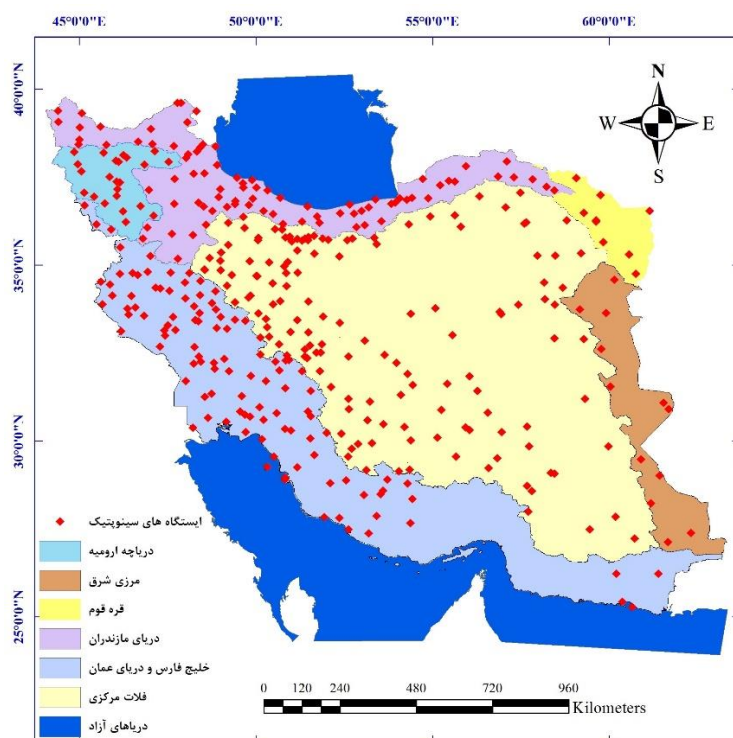
داده‌ها و روش کار

در این بخش نحوه ارزیابی مستقیم، داده‌های مورد استفاده، مقیاس مورد بررسی، شاخص‌های مورد استفاده و منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

الف) قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

ایران در جنوب غربی آسیا، بین ۲۵ تا ۴۰ درجه و ۲۴ تا ۶۴ درجه، هم مرز با خلیج فارس، دریای عمان و دریای خزر، بین عراق و پاکستان واقع شده است. ایران یکی از کشورهای کوهستانی جهان است. کوهها چندین حوضه وسیع یا فلات را محصور کرده‌اند که در آن سکونتگاه‌های اصلی کشاورزی و شهری واقع شده است. البرز و زاگرس رشته کوه اصلی هستند که به ترتیب از غرب به شرق و از شمال غربی تا جنوب شرقی کشور امتداد دارند. این رشته کوه‌ها مهمترین نقش را در توزیع زمانی و مکانی بارش دارند به طوری که مناطق شمالی و غربی ایران دارای آب و هوای نیمه مرطوب و مدیترانه ای است. در حالی که اقلیم‌های نیمه خشک تا بیش از حد خشک در مناطق مرکزی ایران حاکم است. این مناطق با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد دارای آب و هوای قاره‌ای است که در آن میانگین سالانه دما از ۲۲ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد است. در حالی که در برخی مناطق کشور دمای هوا در تابستان به ۴۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. بارش نقش مهمی در توصیف تغییرات اقلیمی دامنه ای و مکانی در ایران دارد. در بیشتر قسمت‌ها، دوره بارندگی از ماه نوامبر آغاز می‌شود و در ماه مه به پایان می‌رسد و در ماه‌های باقی مانده وضعیت خشک غالب است. میانگین بارندگی سالانه در ایران ۲۴۰ میلی‌متر است. اما این مقدار در سواحل خزر و دامنه کوه البرز با ۴۸۰ میلی‌متر در دامنه کوه زاگرس به حدود ۱۸۰۰ میلی‌متر می‌رسد. براساس مطالعات توپوگرافی محلی، در دشت‌های مرکزی و داخلی کشور، میزان بارش توصیف شده تا حدود ۱۰۰ میلی‌متر کاهش می‌یابد (Dinpashoh et al., ۲۰۰۴).

در شکل (۲) منطقه مورد مطالعه که کل سطح کشور ایران مد نظر بوده به تفکیک حوضه‌های آبریز اصلی کشور که بررسی‌ها در آن‌ها انجام پذیرفته است نشان داده شده و همچنین پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک نیز در سطح کشور و حوضه‌های مربوطه نشان داده شده است. لازم به ذکر است که دوره آماری مورد استفاده در این پژوهش ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ بوده که همه ایستگاه‌های موجود در شکل این محدوده زمانی را پوشش می‌دهند. دلیل انتخاب این محدوده زمانی عدم همگنی ایستگاه‌های سینوپتیک در سطح کشور از لحاظ زمانی می‌باشد که دوره‌ای انتخاب شد تا بتوان از نهایت ایستگاه‌های سینوپتیک در سطح کشور بهره برد.



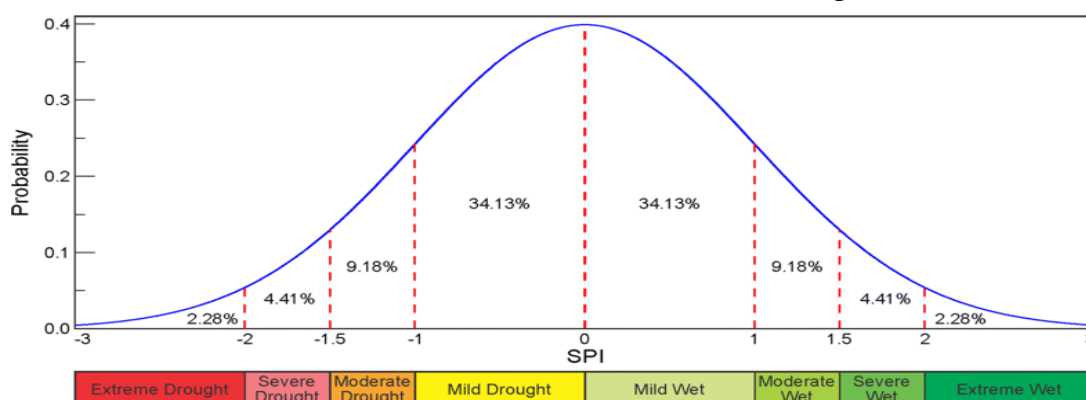
شکل ۲: منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در پژوهش

ب) روش کار

• شاخص خشکسالی SPI

برای بررسی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه از نمایه SPI استفاده شد که برای محاسبه آن تنها به داده‌های بارش ماهانه منابع بارش نیاز است نمایه SPI به منظور کمی کردن مقدار کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی گوناگون طراحی شده است تا به کمک آن تاثیر میزان کمبود بارش را بر روی آبهای زیرزمینی، منابع ذخیره آب، رطوبت خاک، توده-های برفی و جریان‌های سطحی بررسی شود. شرایط رطوبتی خاک به ناهنجاری‌های کوتاه مدت بارش بسیار حساس می‌باشد، در حالی که آبهای زیرزمینی، جریان‌های سطحی و منابع ذخیره آب به ناهنجاری‌های طولانی مدت بارش واکنش نشان می‌دهند. از این رو محاسبه نمایه SPI را برای مقیاس‌های زمانی یک، سه، شش، ۱۲، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ماهه پیشنهاد شده است که با استفاده از داده‌های بلندمدت بارش یک ایستگاه (یا یک سلول بارش در این پژوهش) قابل محاسبه می‌باشد (McKee et al., ۱۹۹۳). جهت استخراج شاخص SPI محیط برنامه‌نویسی R و با استفاده کتاب-خانه SPIGA استفاده شده است. با استفاده از این کتاب‌خانه می‌توان پارامترهای آلفا و بتا را با توجه به الگوریتم ژنتیک بهبود بخشید و بهینه‌ترین میزان این پارامترها را به دست آورد با این حال در پژوهش حاضر صرفاً تمرکز بر روی ارزیابی توانایی منبع بارش Era-interim بوده و شاخص اولیه مورد استفاده قرار گرفته است و از الگوریتم ژنتیک استفاده نشده است. در شکل (۳) محدوده تغییرات شاخص SPI قابل مشاهده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که مقادیر بالای SPI نشان‌دهنده وجود ترسالی و مقادیر پایین آن نشان‌دهنده خشکسالی با درجات متفاوت می‌باشد به این صورت که محدوده تغییرات این شاخص از -۲ تا +۲ می‌باشد. همچنین احتمال وقوع هر کدام از وقایع

مربوطه در طی دوره آماری نیز در شکل نشان داده شده است. یا به صورت دیگر در جدول ۱ محدوده تغییرات و طبقه‌بندی شاخص SPI به نوع دیگری نشان داده شده است.



شکل ۳: احتمال وقوع خشکسالی و ترسالی با توجه به شاخص SPI

• منابع بارش مورد استفاده در پژوهش

- ایستگاه‌های سینوپتیک

در این پژوهش از ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در سطح کشور که دارای دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ بودند جهت ارزیابی استفاده شده است از بین تمامی ایستگاه‌های موجود در سطح کشور ۳۸۲ ایستگاه که طول دوره آماری مذکور را پوشش می‌دادند انتخاب و جهت مقایسه با منبع بارش Era-interim استفاده شدند.

- منبع بارش Era-interim

منبع بارش Era-interim یک محصول بارشی بازتحلیل شده و یا تحلیل مجدد می‌باشد که توسط مرکز پیش‌بینی - های میان مدت جوی اروپایی ارائه می‌شود. در واقع "تحلیل مجدد" یک دیدگاه سیستماتیک برای تولید مجموعه‌ای از داده‌های اقلیمی دوره آماری برای استفاده در پژوهش و پایش اقلیم می‌باشد. داده‌های واکاوی یا تحلیل مجدد با استفاده از یک طرح‌واره ثابت (و از نظر دینامیکی سازگار) در داده‌گویی داده‌ها (Data Assimilation) و مدل‌ها که در آن از تمامی داده‌های در دسترس مشاهداتی در بازه زمانی ۶ تا ۱۲ ساعت دوره مورد تحلیل استفاده می‌شود، به وجود می‌آیند. یکی از مولفه‌هایی که در این فرآیند تغییر می‌کند، داده‌های دیدبانی است. این تغییر در داده‌های ورودی غیر قابل اجتناب بوده زیرا هر روزه تعداد زیادی از انواع ورودی‌های هواشناسی شامل داده‌های دریافتی از راديو سوند، ماهواره، شناورها، هواپیما و کشتی به شبکه ایستگاه‌های کره‌زمین افزوده می‌شود. در حال حاضر تخمین زده می‌شود که حدود ۷ تا ۹ میلیون داده‌های دیدبانی شده در هر گام زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به همین دلیل در فاصله زمانی تولید هر سری از داده‌های واکاوی تغییرات اندکی در رفتار اقلیمی نقاط شبکه‌ای داده‌های واکاوی بروز می‌کند. از طرفی از آنجا که در فرآیند داده‌گویی از پیش‌بینی‌های عددی خیلی کوتاه‌مدت نیز استفاده می‌شود، لذا با بهبود و ارتقاء نسخه مدل‌های پیش‌بینی عددی، داده‌های واکاوی نیز بهبود می‌یابند. در این پژوهش از نسخه اصلی این محصول بدون درون‌یابی که در مقیاس مکانی ۰.۷۵ درجه در ۰.۷۵ می‌باشد استفاده شده است (Dee et al., ۲۰۱۱).

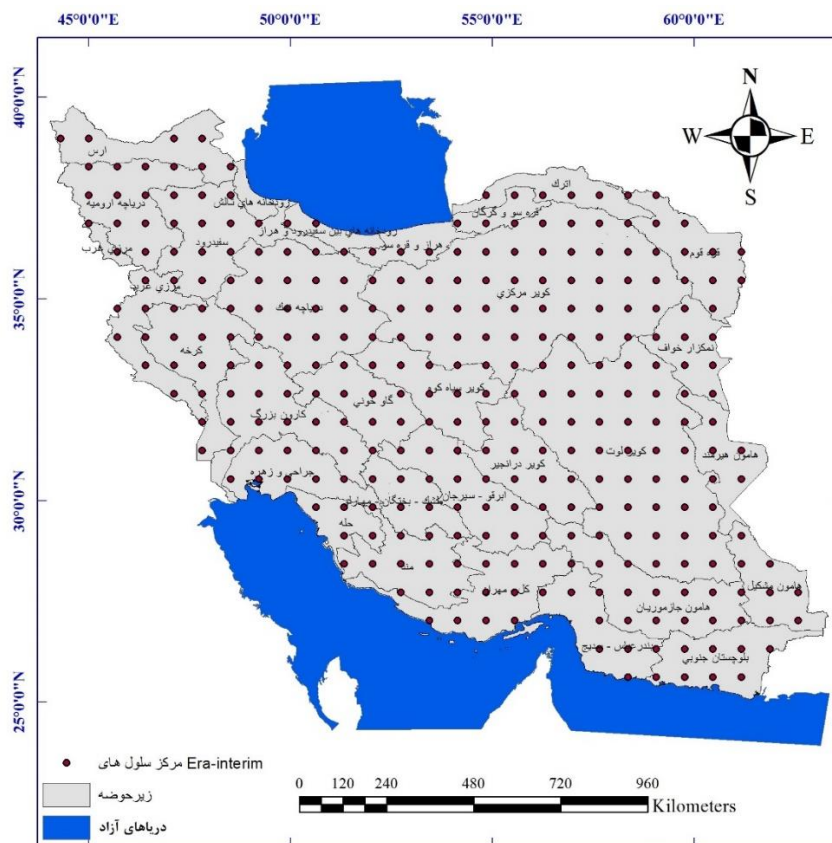
• شاخص‌های ارزیابی

در این پژوهش از دو شاخص ضریب همبستگی پیرسون و همچنین شاخص نرمال شده میانگین مربعات خطا (NRMSE) استفاده شده است. در جدول (۲) مشخصات مربوط به هر دو شاخص مورد استفاده در پژوهش نشان داده شده است. محدوده تغییرات ضریب همبستگی -۱ تا +۱ می‌باشد و هرچه قدر نزدیک به یک باشد نشان‌دهنده عملکرد بهتر منبع بارشی در برآورد میزان بارش و همچنین روند افزایشی و کاهش‌ی آن است. در این شاخص مقادیر زیر ۱۰ درصد نشان‌دهنده دقیق بودن منبع بارشی، مقادیر بین ۱۰ تا ۲۰ نشان‌دهنده مناسب بودن منبع بارش، ۲۰ تا ۳۰ درصد نشان‌دهنده دقت متوسط و بالای ۳۰ درصد نشان‌دهنده ضعیف بودن منبع بارش در برآورد میزان بارش می‌باشد.

جدول ۲: مشخصات مربوط به شاخص آماری مورد استفاده در پژوهش

No.	Measure	Equation
1	Normalized root mean square	$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} \div (O_{max} - O_{min})$
2	Correlation Coefficient	$CC = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - O_{Ave})(P_i - P_{Ave})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - O_{Ave})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - P_{Ave})^2}}$

- نحوه ارزیابی یا مقایسه منبع بارش Era-interim با داده‌های سینوپتیک موجود و برآورد شاخص SPI
 ارزیابی منبع بارش Era-interim با داده‌های مشاهداتی به این صورت بوده که ابتدا سلول‌های مربوط به این منبع بارش در سطح کشور استخراج شده و میانگین بارش سلول‌های موجود در هر زیرحوضه با میانگین بارش ایستگاه‌های موجود در زیرحوضه مربوطه مورد مقایسه قرار گرفت. شکل (۴) پراکنش مکانی سلول‌های Era-interim را در سطح کشور نشان می‌دهد با توجه به شکل به عنوان مثال حوضه سفیدرود دارای ۱۱ سلول بوده که میانگین بارش این ۱۱ سلول به عنوان بارش میانگین حوضه در نظر گرفته شده و با بارش میانگین ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در سطح حوضه مورد بررسی قرار گرفته است. بخش بعدی مربوط به ارزیابی منبع بارش Era-interim با توجه به شاخص SPI می‌باشد در این بخش ارزیابی‌ها در مقیاس حوضه‌ای و ۶ حوضه آبریز اصلی کشور انجام پذیرفته است.



شکل ۴: پراکنش سلول‌های Era-interim در سطح زیرحوضه‌های مورد بررسی

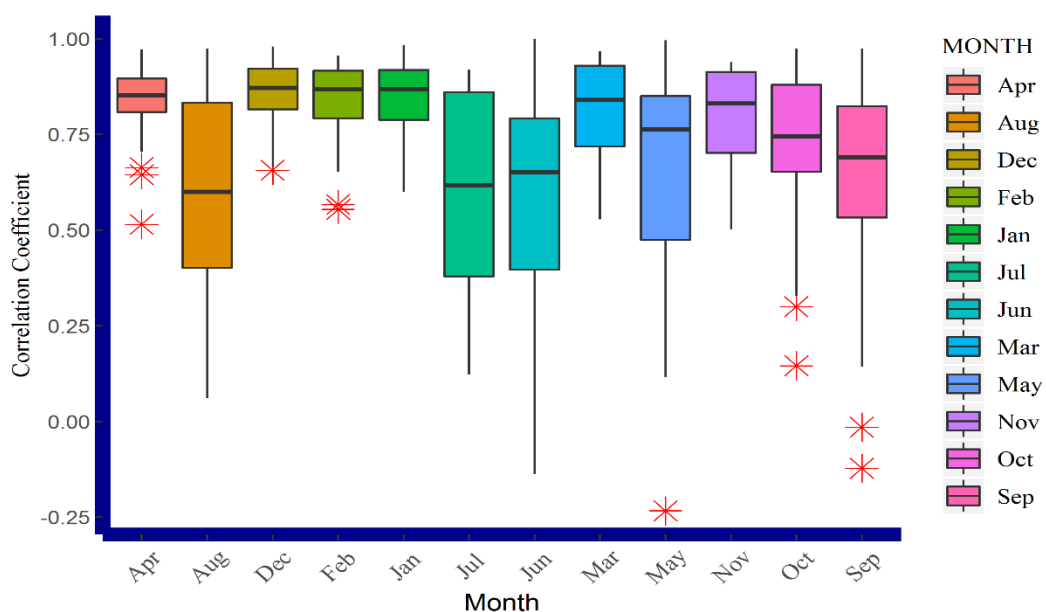
شرح و تفسیر نتایج

در این بخش به ارائه نتایج مربوطه پرداخته می‌شود، نتایج به این صورت ارائه شده که در ابتدا یک مقایسه و یا ارزیابی اولیه کلی برای منبع بارش Era-interim در سطح زیرحوضه‌های کشور انجام پذیرفته است. در بخش بعدی میانگین بارش درازمدت دو منبع بارش ایستگاه‌های سینوپتیک و منبع بارش Era-interim مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت نتایج مربوط به شاخص خشکسالی SPI در مقیاس‌های زمانی ۳ ماهه، ۶ ماهه و ۱۲ ماهه برای شش حوضه آبریز اصلی کشور ارائه شده است.

- نتایج مربوط به مقایسه منبع بارش Era-interim و داده‌های مشاهداتی در مقیاس حوضه‌ای

- ضریب همبستگی

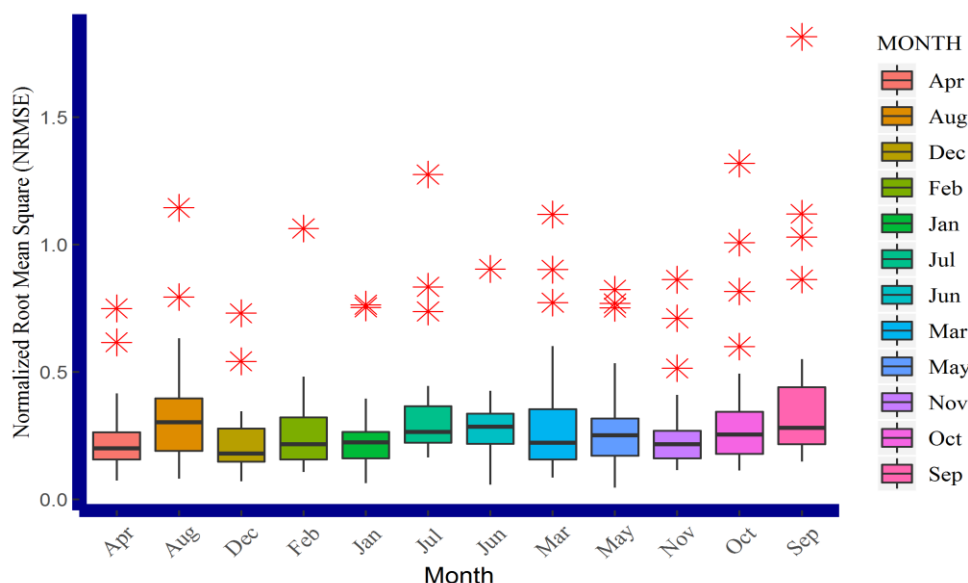
شکل (۵) پراکنش مکانی ضریب همبستگی ماهانه در ۳۰ زیر حوضه در سطح کشور ایران می‌باشد. با توجه به شکل مشاهده می‌کنید که منبع بارش Era-interim در تمامی ماه‌های مورد بررسی از عملکرد مناسبی برخوردار بوده و میزان ضریب همبستگی بین این منبع بارش و داده‌های مشاهداتی در سطح کشور در محدوده ۰.۴۵ تا ۰.۹ برای ماه‌های مختلف متغیر می‌باشد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که ضریب همبستگی در ماه‌های پربارش دسامبر، فوریه و ژانویه بیشترین میزان را داشته و برای تمامی حوضه‌های مورد بررسی بالای ۰.۸ می‌باشد اکتبر و نوامبر و مارس نیز که جز ماه‌های پربارش در سطح کشور می‌باشند همین شرایط را داشته با این تفاوت که بهترین عملکرد در بین ماه‌های پربارش مربوط به سه ماه دسامبر، فوریه و ژانویه می‌باشد.



شکل ۵: پراکنش مکانی ضریب همبستگی پیرسون در سطح زیرحوضه‌های کشور در ماه‌های مختلف مورد بررسی

- شاخص NRMSE

شاخص بعدی NRMSE می‌باشد که نتایج مربوط به این شاخص در شکل (۶) آورده شده است. در بخش مواد و روش‌ها محدوده تغییرات این شاخص توضیح داده شد. با توجه به شکل (۶) می‌توان گفت که منبع بارش Era-interim در اکثر ماه‌های مورد بررسی از عملکرد قابل قبولی برخوردار می‌باشد به طوری که میزان شاخص NRMSE در ماه‌های مورد اشاره زیر ۰.۲ می‌باشد که این ناشی از عملکرد مناسب این منبع بارشی می‌باشد. به عنوان مثال در سه ماه پربارش دسامبر، فوریه و ژانویه میزان این شاخص در سطح مورد بررسی زیر ۰.۲ بوده که بهترین عملکرد این منبع بارش در این سه ماه می‌باشد همچنین بدترین عملکرد نیز مربوط به ماه‌های سپتامبر، آگوست و جولای می‌باشد در حالت کلی می‌توان گفت که منبع بارش Era-interim در ماه‌های پربارش از عملکرد مناسبی در مقیاس مورد بررسی داشته و در ماه‌های کم‌بارش عملکرد مناسبی ندارد.

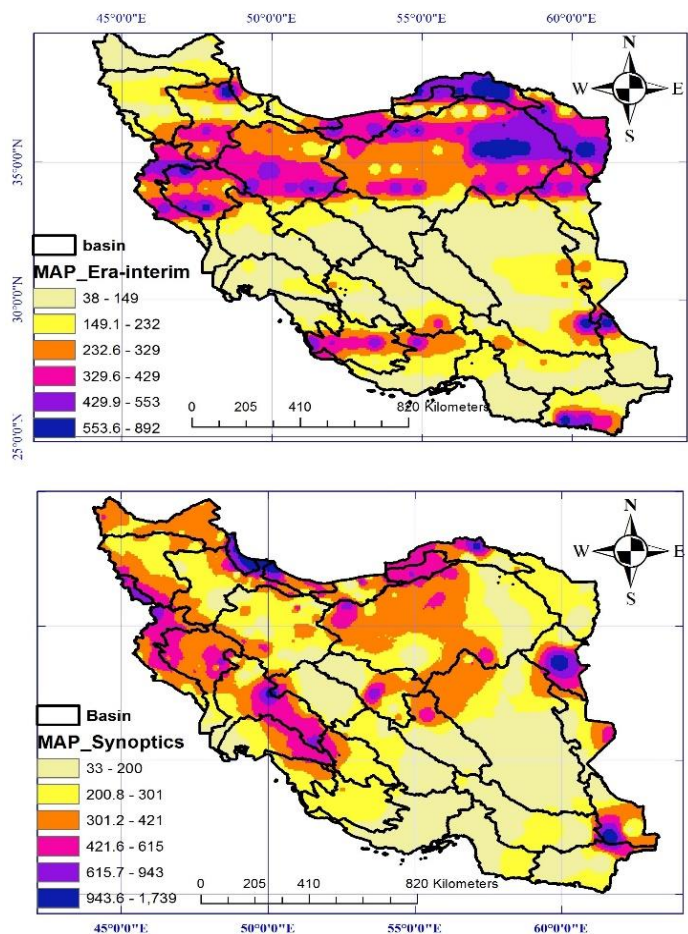


شکل ۶: پراکنش مکانی شاخص NRMSE در سطح کشور در زیر حوضه‌های مورد بررسی در ماه‌های مختلف

• میانگین بارش درازمدت سالانه (MAP)

شکل (۷) نتایج مربوطه به بارش درازمدت منبع بارش Era-interim و ایستگاه‌های سینوپتیک را در طی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ در سطح کشور نشان می‌دهد با توجه به شکل بیشترین میزان بارش درازمدت برای منبع Era-interim ۸۹۲ میلی‌متر می‌باشد که تفاوت زیادی با بارش درازمدت ثبت شده توسط ایستگاه‌های سینوپتیک دارد به همین دلیل می‌توان گفت که منبع بارش Era-interim در برآورد بارش درازمدت سالانه در سطح کشور دارای کم‌برآوردی می‌باشد. به عنوان مثال در حوضه آبریز کارون که یکی از مهمترین زیرحوضه‌های سطح کشور می‌باشد میزان بارش ثبت شده برای منبع بارش Era-interim در محدوده ۱۵۰ تا ۲۳۲ می‌باشد در حالی که این میزان برای ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در سطح حوضه تا ۶۱۵ میلیمتر نیز می‌رسد. در حالت کلی می‌توان گفت که منبع بارش Era-interim در برآورد بارش درازمدت سالانه در سطح کشور از عملکرد مناسبی برخوردار نیست.

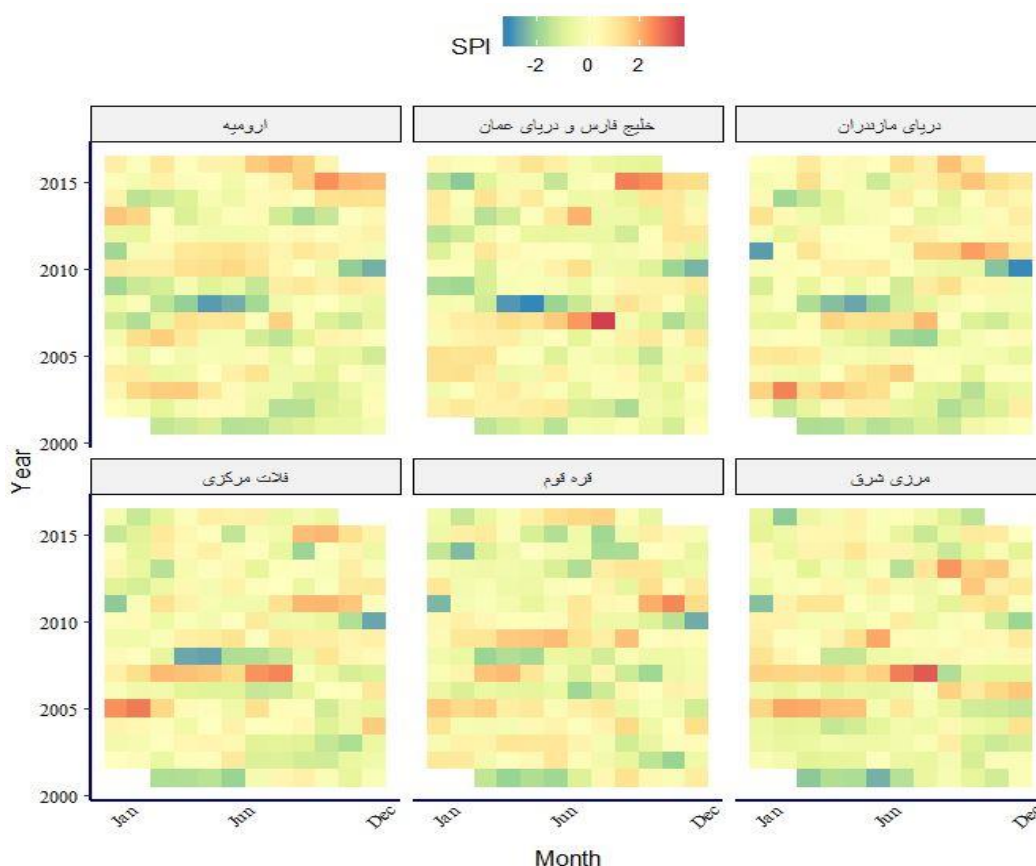
در حالت کلی نتایج حاکی از این مساله است که منبع بارش Era-interim در مقیاس ماهانه در سطح کشور از عملکرد مناسبی برخوردار بوده و به عنوان جایگزینی برای ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش در سطح زمین همچون ایستگاه‌های سینوپتیک می‌توان از این منبع بارش استفاده کرد. با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته و شاخص‌های ضریب همبستگی پیرسون و NRMSE این منبع بارش از دقت مناسبی در برآورد بارش ماهانه در دوره آماری مذکور برخوردار بوده به همین جهت می‌توان از این منبع بارش در مطالعات بعدی همچون برآورد شاخص خشکسالی و یا دیگر مطالعات منابع آبی بهره برد.



شکل ۷: بارش درازمدت سالانه در سطح کشور برای دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶

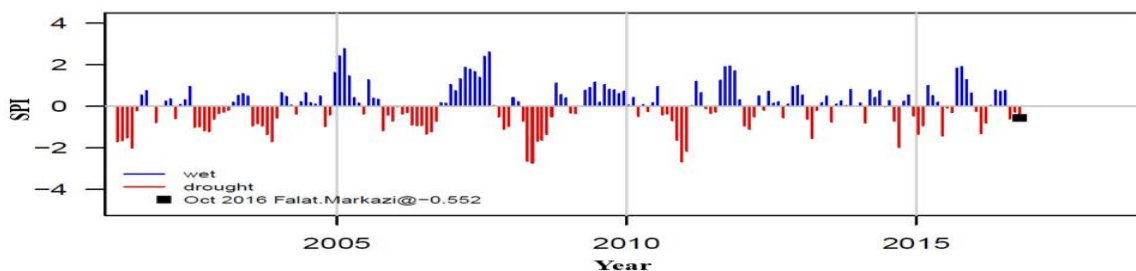
• نتایج مربوط به شاخص SPI

در این بخش شاخص SPI در مقیاس زمانی ۳ ماهه، ۶ ماهه و ۱۲ ماهه با استفاده از منبع بارش Era-interim در حوضه‌های آبریز اصلی کشور به دست آمد که در شکل ۸ نتایج مربوط به SPI سه ماهه مشاهده می‌شود. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در سال‌های اولیه یعنی سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ اکثر حوضه‌های مورد بررسی دارای خشکسالی ملایم بودند و یا به عبارت بهتر در این دوره کشور در یک دوره خشکسالی ملایم بود. بعد از سال ۲۰۰۵ در سال ۲۰۰۷ تقریباً تمامی حوضه‌های آبریز اصلی کشور در محدوده ترسالی ملایم تا شدید بودند سال ۲۰۰۷ را می‌توان یک نقطه انتقالی در نظر گرفت به این صورت که بعد از این سال بلافاصله در سال ۲۰۰۸ چهار حوضه آبریز دریاچه ارومیه، خلیج فارس و دریای عمان، دریای مازندران و فلات مرکزی در دوره خشکسالی شدید قرار گرفته و تقریباً می‌توان گفت که کل کشور ایران در دوره خشکسالی شدید بودند. دو حوضه دیگر نیز در این سال در محدوده خشکسالی ملایم قرار داشتند.



شکل ۸: شاخص SPI سه ماهه در حوضه آبریز اصلی کشور به تفکیک ماه‌ها و سال‌های مورد بررسی

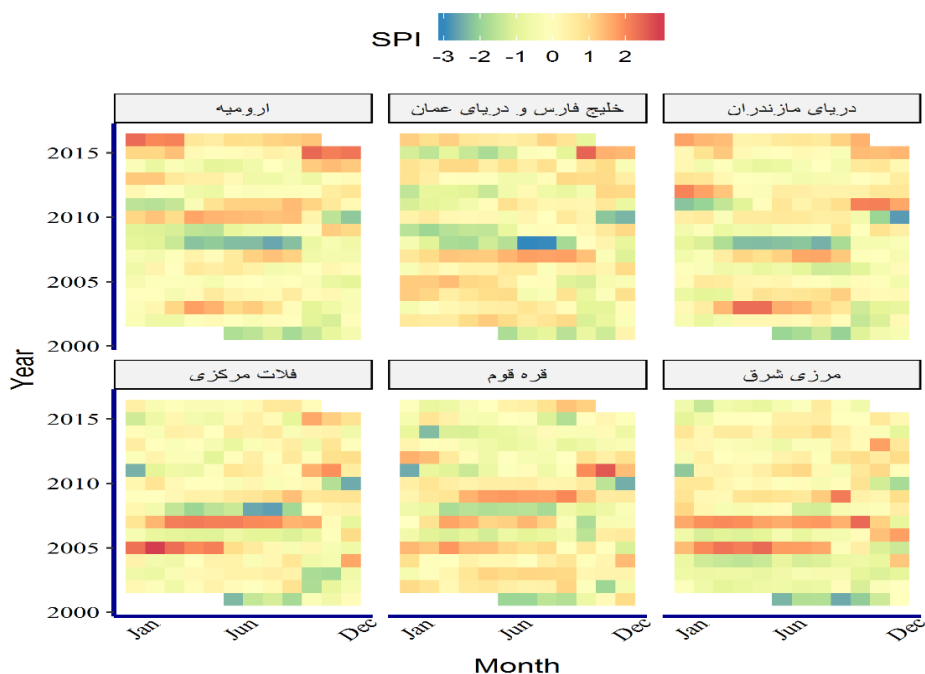
شکل (۹) یک نمونه از سری زمانی SPI سه ماهه که مربوط به حوضه آبریز فلات مرکزی می‌باشد را نشان می‌دهد. با توجه به شکل وقوع ترسالی و خشکسالی در سال‌ها و ماه‌های مختلف قابل رویت است. به عنوان مثال در سال ۲۰۰۷ شاهد وقوع ترسالی شدید در سطح حوضه می‌باشیم که بلافاصله بعد از آن در سال ۲۰۰۸ یک خشکسالی شدید در سطح حوضه به وقوع پیوسته است.



شکل ۹: سری زمانی شاخص SPI سه ماهه برای حوضه آبریز فلات مرکزی طی دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶

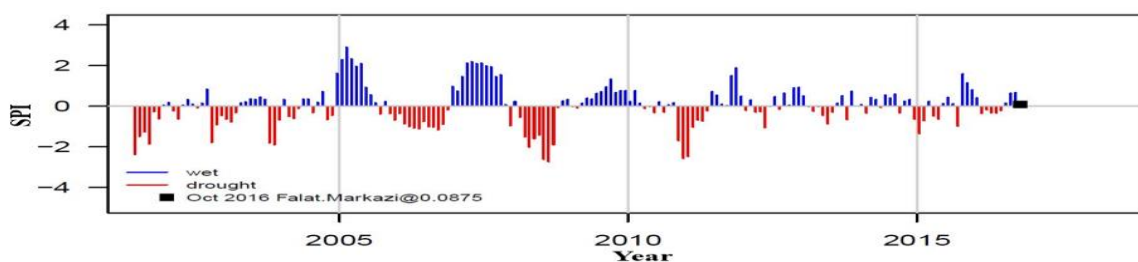
در شکل (۱۰) نتایج مربوط به شاخص SPI شش ماهه در سطح حوضه‌های آبریز اصلی کشور آورده شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در این مقیاس در سال‌های آغازین تقریباً در سطح کشور خشکسالی ملایم تا شدید مشاهده می‌شود همچنین در سال‌های پایانی نیز کشور در یک دوره ترسالی ملایم تا شدید قرار دارد. همچنین با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در سال ۲۰۰۷ کشور در محدوده ترسالی ملایم تا شدید قرار داشته و بعد از این سال

بلافاصله یک دوره خشکسالی شدید تا ملایم در سطح کشور به وقوع پیوسته است که این نتایج با نتایج بخش قبل مطابقت دارد. در واقع با توجه به این دو مقیاس زمانی می‌توان گفت که سال ۲۰۰۷ یک نقطه انتقالی از ترسالی به خشکسالی می‌باشد.



شکل ۱۰: شاخص SPI شش ماهه در حوضه آبریز اصلی کشور به تفکیک ماه‌ها و سال‌های مورد بررسی

شکل (۱۱) نشان‌دهنده سری زمانی مربوط به شاخص SPI شش ماهه برای حوضه آبریز فلات مرکزی می‌باشد. با توجه به شکل وقوع خشکسالی و ترسالی در سطح حوضه آبریز نشان داده شده است. به عنوان مثال حوضه آبریز فلات مرکزی در سال ۲۰۰۷ یک ترسالی شدید و بلافاصله بعد از آن یک خشکسالی شدید را تجربه کرده است.



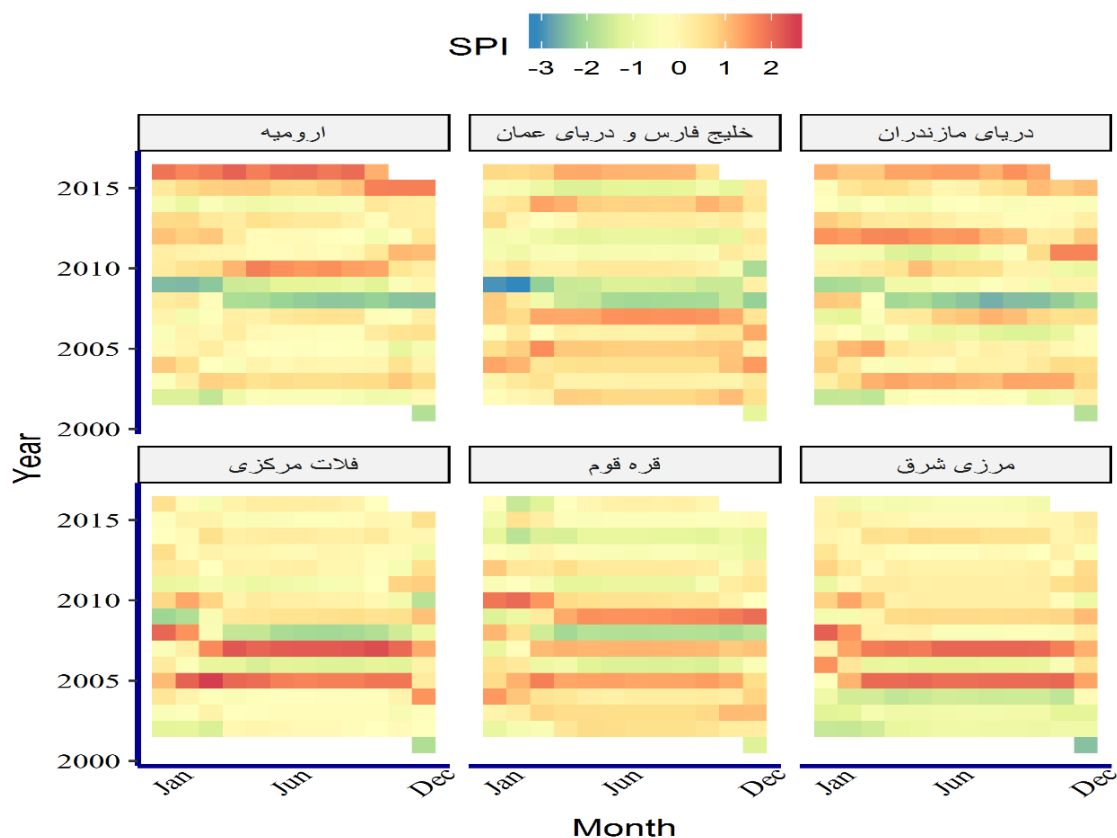
شکل ۱۱: سری زمانی شاخص SPI شش ماهه برای حوضه آبریز فلات مرکزی طی دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶

در نهایت در شکل (۱۲) نتایج مربوط به شاخص SPI ۱۲ ماهه را در سطح کشور برای حوضه‌های آبریز اصلی مشاهده می‌کنید با توجه به شکل می‌توان گفت که در این مقیاس زمانی بررسی شاخص SPI نشان‌دهنده این مساله است که شدت ترسالی و همچنین تعداد دفعات وقوع ترسالی در سال‌های مختلف افزایش یافته به نحوی که به جز سال‌های آغازین و سال ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ آن هم در برخی از حوضه‌های آبریز در این مقیاس زمانی شاخص SPI نشان-

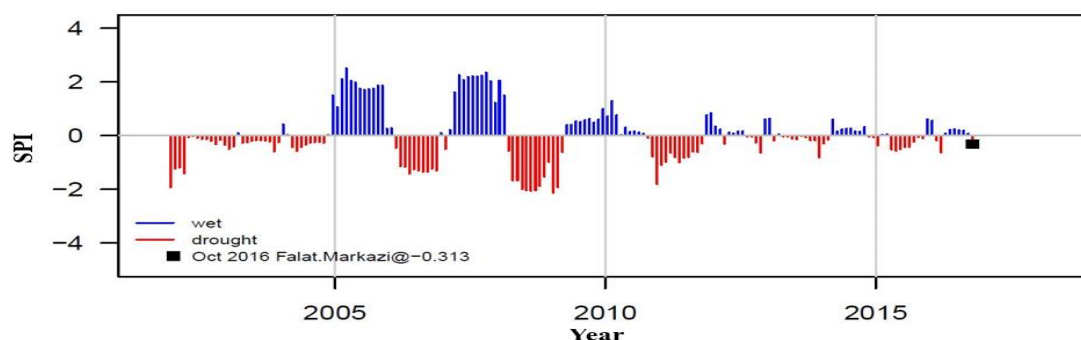
دهنده این مساله است که در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ حوضه‌های آبریز اصلی کشور شاهد ترسالی‌های متعددی می‌باشند.

شکل (۱۳) نیز نشان‌دهنده سری زمانی شاخص SPI در مقیاس ۱۲ ماهه در سطح حوضه آبریز فلات مرکزی می‌باشد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که شدت ترسالی و همچنین خشکسالی افزایش یافته است به این صورت که خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ملایم تا نرمال تبدیل به خشکسالی و ترسالی شدید شده‌اند.

با مقایسه نتایج مربوط به شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف می‌توان گفت که هر چه قدر مقیاس زمانی افزایش یافته شدت و دفعات تکرار خشکسالی در طی دوره مورد بررسی برای حوضه‌های آبریز مختلف در سطح کشور افزایش یافته است به نحوی که در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه افزایش شدت ترسالی به روشنی در شکل (۱۲) قابل مشاهده می‌باشد. همچنین می‌توان گفت که خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ملایم نیز تا حدودی شدیدتر شده و شدت آن‌ها افزایش یافته است.



شکل ۱۲: شاخص SPI ۱۲ ماهه در حوضه آبریز اصلی کشور به تفکیک ماه‌ها و سال‌های مورد بررسی



شکل ۱۳: سری زمانی شاخص SPI ۱۲ ماهه برای حوضه آبریز فلات مرکزی طی دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶

نتیجه گیری

با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته در بخش‌های قبلی می‌توان گفت که منبع بارش Era-interim می‌تواند به عنوان یک منبع بارش جایگزین برای ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی در طیف وسیعی از مطالعات منابع آبی استفاده شود. با این حال به دلیل اربب سیستماتیک موجود در این نوع محصولات نیاز است که قبل از استفاده از این محصولات یا منابع بارشی از یک روش تصحیح آریبی استفاده شود. در این پژوهش از شاخص خشکسالی SPI که صرفاً بر اساس میزان بارش می‌باشد استفاده شده است. نتایج حاکی از این بود که در حالت کلی مقیاس زمانی با شدت خشکسالی رابطه مستقیم داشته به این صورت که هر چقدر مقیاس زمانی شاخص SPI افزایش پیدا می‌کرد شدت خشکسالی افزایش پیدا می‌کرد

با توجه به این مساله که شاخص SPI صرفاً میزان بارش را در نظر می‌گیرد به منظور بررسی بهتر وضع خشکسالی و ترسالی در سطح کشور از دیگر شاخص‌های خشکسالی که پارامترهای دیگری همچون دما و میزان تبخیر... نیز در آن‌ها دخالت دارد می‌توان استفاده کرد، به همین دلیل توصیه می‌شود در مطالعات بعدی قبل از انتخاب شاخص خشکسالی یک ارزیابی کلی در انتخاب نوع شاخص خشکسالی صورت پذیرد. همچنین در این پژوهش صرفاً منبع بارش Era-interim به عنوان منبع بارش شبکه‌بندی شده جهت بررسی وضعیت خشکسالی یا ترسالی در سطح کشور انتخاب شد در پژوهش‌های آتی می‌توان چندین منبع بازتحلیل شده و یا ماهواره‌ای که تفکیک مکانی و زمانی بالایی دارند را نیز جهت بررسی وضعیت خشکسالی و ترسالی در سطح کشور مورد استفاده قرار داد و در نهایت بهترین منبع جهت انجام از بین منابع جهت انجام پژوهش استفاده کرد.

منابع

رحمتی، اکبر؛ مساح بوانی، علیرضا. ارزیابی پایگاه داده های جهانی بارش برای استفاده در مدل‌های فیزیکی. مطالعه موردی: حوضه آبریز کارون، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵(۱): ۱۱۰-۱۲۰.

عزیزیان، اصغر؛ رضانی اعتدالی، هادی. ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل شده Era-Interim در تخمین بارش روزانه و ماهانه. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۰(۴): ۷۷۷-۹۱.

DEE, D. P.; UPPALA, S.; SIMMONS, A.; BERRISFORD, P.; POLI, P.; KOBAYASHI, S.; ANDRAE, U.; BALMASEDA, M.; BALSAMO, G. & BAUER, D. P. ۲۰۱۱. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the royal meteorological society*, ۱۳۷: ۵۵۳-۵۹۷.

DERIN, Y.; ANAGNOSTOU, E.; BERNE, A.; BORGA, M.; BOUDEVILLAIN, B.; BUYTAERT, W.; CHANG, C.-H.; DELRIEU, G.; HONG, Y. & HSU, Y. C. ۲۰۱۶. Multiregional satellite precipitation products evaluation over complex terrain. *Journal of Hydrometeorology*, ۱۷: ۱۸۱۷-۱۸۳۶.

- DINPASHOH, Y.; FAKHERI-FARD, A.; MOGHADDAM, M.; JAHANBAKHS, S. & MIRNIA, M. ۲۰۰۴. Selection of variables for the purpose of regionalization of Iran's precipitation climate using multivariate methods. *Journal of Hydrology*, ۲۹۷: ۱۰۹-۱۲۳.
- DUAN, Z.; LIU, J.; TUO, Y.; CHIOGNA, G. & DISSE, M. ۲۰۱۶. Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales. *Science of the Total Environment*, ۵۷۳: ۱۵۳۶-۱۵۵۳.
- GOLIAN, S.; JAVADIAN, M. & BEHRANGI, A. ۲۰۱۹. On the use of satellite, gauge, and reanalysis precipitation products for drought studies. *Environmental Research Letters*.
- HÉNIN, R.; LIBERATO, M.; RAMOS, A. & GOUVEIA, C. ۲۰۱۸. Assessing the Use of Satellite-Based Estimates and High-Resolution Precipitation Datasets for the Study of Extreme Precipitation Events over the Iberian Peninsula. *Water*, ۱۰(۱۱): ۱۶۸۸.
- LAI, C.; ZHONG, R.; WANG, Z.; WU, X.; CHEN, X.; WANG, P. & LIAN, Y. ۲۰۱۹. Monitoring hydrological drought using long-term satellite-based precipitation data. *Science of the total environment*, ۶۴۹: ۱۱۹۸-۱۲۰۸.
- MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J. & KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the ۱۴th Conference on Applied Climatology, ۱۹۹۳. *American Meteorological Society Boston, MA*: ۱۷۹-۱۸۳.
- RAZIEI, T.; BORDI, I.; PEREIRA, L. & SUTERA, A. ۲۰۱۰. Space-time variability of hydrological drought and wetness in Iran using NCEP/NCAR and GPCC datasets. *Hydrology and Earth System Sciences*, ۱۴: ۱۹۱۹-۱۹۳۰.
- RAZIEI, T.; BORDI, I. & PEREIRA, L. S. ۲۰۱۱. An application of GPCC and NCEP/NCAR datasets for drought variability analysis in Iran. *Water resources management*, ۲۵: ۱۰۷۵-۱۰۸۶.
- RAZIEI, T.; SAGHAFIAN, B.; PAULO, A. A.; PEREIRA, L. S. & BORDI, I. ۲۰۰۹. Spatial patterns and temporal variability of drought in western Iran. *Water Resources Management*, ۲۳: ۴۳۹.
- Shah, R; Mishra, V. Evaluation of the reanalysis products for the monsoon season droughts in India. *Journal of Hydrometeorology*. ۱۵(۴): ۱۵۷۵-۹۱.
- TAN, M.; IBRAHIM, A.; DUAN, Z.; CRACKNELL, A. & CHAPLOT, V. ۲۰۱۵. Evaluation of six high-resolution satellite and ground-based precipitation products over Malaysia. *Remote Sensing*, ۷: ۱۵۰۴-۱۵۲۸.
- WANG, F.; YANG, H.; WANG, Z.; ZHANG, Z. & LI, Z. ۲۰۱۹. Drought evaluation with CMORPH satellite precipitation data in the Yellow River Basin by using Gridded Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Remote Sensing*, ۱۱: ۴۸۵.
- XU, X.; FREY, S. K.; BOLUWADE, A.; ERLER, A. R.; KHADER, O.; LAPEN, D. R. & SUDICKY, E. ۲۰۱۹. Evaluation of variability among different precipitation products in the Northern Great Plains. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, ۲۴: ۱۰۰۶۰۸.