

تحلیل فضایی خشکسالی‌های کوتاه مدت ایران

دکتر بهلول علیجانی^۱ / دکتر ام‌السلمه بابایی^۲

چکیده

خشکسالی پدیده‌ای اقلیمی است که وقوع آن در اغلب مناطق جهان اجتناب ناپذیر است و به لحاظ تلفات جانی پیامدهای اقتصادی و اجتماعی در مقایسه با سایر بلایای طبیعی از اهمیت بیشتری برخوردار است. در این تحقیق پدیده خشکسالی در ایران با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) در بازه‌های زمانی ۳ و ۶ ماهه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت و پس از محاسبه فراوانی نسبی خشکسالی‌ها در ۷۰ ایستگاه سینوپتیک در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۷۶ با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی نقشه‌های پهنه‌بندی آن‌ها در محیط ArcGIS تولید گردید. نتایج تحقیق نشان داد که در قسمت‌های شمال غرب، شمال و شمال شرق کشور خشکسالی‌ها بسیار شدید است در صورتی که در مناطق مرکز، جنوب و جنوب شرق خشکسالی‌ها متوسط و ملایم می‌باشد. به‌طور کلی در بازه‌های کوتاه مدت که عمدتاً بر روی وضعیت خاک اثر می‌گذارد تمرکز خشکسالی‌ها در نیمه شمالی کشور بیشتر بوده است. به عبارت دیگر اقلیم بارشی کشور در نیمه شمالی متغیرتر از نیمه جنوبی است.

کلیدواژه: خشکسالی در ایران، شاخص بارش استاندارد (SPI)، بازه‌های زمانی خشکسالی ۳ و ۶ ماهه، زمین

آمار و خشکسالی، ایران.

مقدمه

گسترش ایران در منطقه پایدار جنب حاره و وجود نواحی کوهستانی مرتفع، سبب شده است که انواع مناظر طبیعی و اقلیمی در آن ایجاد شود (رهنمایی، ۱۳۷۰: ۱۰-۱۱). در بین این مناظر شرایط بیابانی نمودی چشمگیر دارد که حاکی از استقرار آب و هوای خشک در بیشتر مناطق کشور است. متوسط بارش سالانه کشور کمتر از یک سوم متوسط جهانی است. تنها سواحل دریای خزر به دلیل دور ماندن از تأثیرات پرفشار جنب حاره‌ای از اقلیم مرطوب برخوردار است (علیجانی، ۱۳۷۴). نواحی کوهستانی هم به جهت تأثیر ارتفاعات از اقلیم نیمه بیابانی بهره‌مند است. در نتیجه اقلیم خشک در اکثر مناطق کشور مستولی است. در مناطق خشک علاوه بر کمبود باران، نوسان شدید بارندگی در

^۱ - استاد اقلیم‌شناسی و مدیر قطب علمی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی دانشگاه تربیت معلم

^۲ - استادیار دانشگاه پیام نور

طول مکان و زمان از ویژگی‌های مهم است. در حالی که میزان بارش در سواحل دریای خزر حدود ۱۵۰۰ میلی‌متر است در مناطق مرکزی به ۶۳ میلی‌متر می‌رسد و از نظر زمانی در حالی که میانگین وزنی باران در سال ۱۹۷۳، ۱۴۶ میلی‌متر است در سال ۱۹۸۲ به میزان ۳۳۳ میلی‌متر یعنی به بیش از دو برابر می‌رسد. این ویژگی به نوبه خود ناپایداری بارش و عدم اطمینان به مقادیر میانگین‌ها، ایجاد می‌کند. به گونه‌ای که ضریب تغییرات بارندگی سالانه در بعضی از مناطق بسیار زیاد می‌باشد (بابایی، ۱۳۸۱: ۵۲). و مقادیر بارش از سالی به سال دیگر بسیار فرق می‌کنند و خشکسالی از ویژگی‌های اصلی منطقه بوده و همیشه خسارت ایجاد می‌کند. این نوسانات بقدری شدید است که می‌توان گفت ایران هر سال یا از خشکسالی‌های شدید خسارت می‌بیند و یا اینکه سیلاب‌های مخرب سبب زیان‌های شدید می‌شوند (Alijani et al, 2008). فراوانی خشکسالی‌ها در سال‌های اخیر بسیار زیاد شده و کشور را به آستانه بحران برده است. خسارات زیاد اقتصادی و اجتماعی و تخریب منابع طبیعی ناشی از خشکسالی‌های اخیر بسیار بالا است.

قرارگیری ایران در نواحی خشک یا بیابانی سبب شده است که به‌طور طبیعی در آن، سال‌های با مقدار بارندگی کمتر از میانگین به مراتب بیشتر از سال‌های با مقدار بارندگی بیش از میانگین دراز مدت سالانه باشد. خشکسالی یکی از مزمن‌ترین بلایای طبیعی است. در دهه‌های اخیر در میان حوادث طبیعی که جمعیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرار داده‌اند، فراوانی این پدیده، بیش از سایر حوادث بوده است. جلوگیری کامل از کمبود آب ممکن نیست لیکن با تحلیل سوابق تاریخی پدیده خشکسالی و با تکیه بر آمار و اطلاعات موجود می‌توان زمینه‌های آمادگی و صرفه‌جویی را برآورد کرد و با ایجاد طرح‌های آمادگی، تا حد زیادی خسارات آن را کاهش داد (صفدری و همکاران، ۱۳۸۲: ۴۷۶).

کمبود ذاتی منابع آب در کشور از یک سو و بروز خشکسالی‌های پیاپی در سال‌های اخیر و افزایش چشمگیر استفاده از منابع زیرزمینی از سوی دیگر ایجاب می‌نماید که بیش از پیش به نحوه و میزان اثرات خشکسالی‌ها در منابع آب‌های زیرزمینی پرداخته شود، تا بتوان به مدیریت صحیح و جامع منابع آب در مقاطع بحرانی همت گماشت (محمدی و شمسی پور، ۱۳۸۲: ۴۰۰).

برای تحلیل فضایی خشکسالی‌ها ارائه شاخصی که در آن مقیاس زمانی مدنظر قرار گرفته باشد، از اهمیت خاصی برخوردار است. یکی از این روش‌ها نمایه بارش استاندارد شده (Standard Precipitation Index=SPI) است

که به وسیله مک کی و همکاران (Mc.kee et al, 1993:p 78) ارائه شده است. این نمایه یکی از محدود نمایه‌هایی است که در آن مقیاس زمانی برای تحلیل فضایی خشکسالی به کار گرفته شده است و به این دلیل از انعطاف پذیری بالایی در تعیین و تحلیل خشکسالی‌ها و بررسی آثار این پدیده بر ذخایر آبی کوتاه مدت و بلند مدت برخوردار است.

هایز و همکاران (Hayes et al, 1996) در بررسی خشکسالی سال ۱۹۹۶ ایالت کلرادو آمریکا توسط نمایه بارش استاندارد اثبات کردند که این نمایه قادر به تشخیص زمان شروع خشکسالی و پیشرفت آن می‌باشد. نتایج آنها نشان داد که SPI زمان شروع خشکسالی را در سال ۱۹۹۶ در مقیاس یک ماهه بهتر از نمایه خشکسالی پالم نشان می‌دهد.

مک کی و همکاران (Mc.kee et al, 1995) در بررسی رابطه فراوانی خشکسالی‌ها و تداوم آنها با مقیاس‌های زمانی به کمک نمایه SPI دریافتند که با افزایش طول مقیاس زمانی، دوره‌های با مقادیر منفی و مثبت SPI از نظر تعداد کم ولی از نظر تداوم طولانی‌تر می‌شوند.

هانگ ویو و همکاران (Hong Wuet et al, 2007) نمایه بارش استاندارد را در مناطق خشک برای مطالعه فصول خشک به کار بردند. آنها در مطالعه خود اثر فصول کم بارش و اقلیم خشک را با استفاده از این نمایه برای هر هفته سال و برای ۲۱۸ ایستگاه هواشناسی در ۴۰ ایالت آمریکا محاسبه کردند.

للوید و همکاران (Lloyd,et.al.,2002) خشکسالی اقلیمی را با استفاده از نمایه بارش استاندارد (SPI) و نمایه خشکسالی پالم (PDSI) بر اساس آمار ۱۰۰ ساله (۱۹۹۹-۱۹۰۱) در بازه‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ برای اروپا مطالعه کردند.

فرج‌زاده و همکاران (۱۳۷۴) جهت بررسی خشکسالی در ایران از روش‌های نمایه بارش میانگین، نمایه پراکنندگی بارش، نمایه دهک‌های بارش، نمایه توزیع استاندارد و نمایه درصد بارش میانگین استفاده کرده‌اند که به‌طور کلی هدف کلی این روش‌ها تبیین و نمایش نوسان مقدار بارندگی در سال‌های مورد مطالعه نسبت به میانگین دراز مدت است.

حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۸۲) پایش خشکسالی را در استان چهارمحال بختیاری با استفاده از نمایه بارش استاندارد در بازه‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند فراوانی رخداد خشکسالی کوتاه مدت در همه ایستگاه‌ها بیش از خشکسالی بلند مدت است.

فتاحی و صداقت کردار (۱۳۸۶) با استفاده از سری‌های زمانی حاصل از نمایه بارش استاندارد شدت - مدت و فراوانی خشکسالی را در بازه‌های ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در دوره آماری ۱۹۶۰-۲۰۰۰ ترسیم نمودند که نتایج حاصله نشان دهنده واکنش خاک نسبت به وضعیت بارش در زمان کوتاه و پاسخ سطح آب‌های زیرزمینی نسبت به کمبود بارش در زمان بلند مدت است.

سلطانی و سعادت (۱۳۸۶) به پهنه‌بندی خشکسالی در استان اصفهان با استفاده از نمایه بارش استاندارد پرداختند که نقشه‌های حاصله نشان دهنده خشکسالی‌های متوسط و شدید در قسمت غرب استان و خشکسالی‌های بسیار شدید در شرق و شمال شرق استان می‌باشد. در این مطالعه مناطق دارای خطر بالا به منظور برنامه‌ریزی‌های آتی و اتخاذ سیاست‌های مدیریت مشخص شده است.

نساجی زواره و صانعی (۱۳۸۶) دوره‌های خشکسالی، نرمال و مرطوب را برای مقیاس‌های زمانی مختلف و برای چند ناحیه کشور با استفاده از نمایه بارش استاندارد محاسبه نمودند و امکان پیش‌بینی‌های دوره‌های خشکسالی با مقیاس‌های مختلف در مناطق مورد مطالعه را فراهم کردند.

انصاری و داوری (۱۳۸۶) دوره‌های خشک در استان خراسان را با استفاده از شاخص استاندارد شده در محیط GIS پهنه‌بندی نمودند که برای این پهنه‌بندی از چهار مدل رگرسیون، کریجینگ، اسپلاین و IDW استفاده کردند. و با بررسی دوره‌های خشک در یک دوره آماری ۳۳ ساله نشان داد که وقوع این پدیده یک ویژگی اقلیمی است که در دوره‌های زمانی خاصی به وقوع می‌پیوندد.

با توجه به مطالب بالا هدف کلی در این تحقیق بررسی خشکسالی‌های کوتاه مدت در سراسر ایران با استفاده از نمایه بارش استاندارد در بازه‌های زمانی ۳ و ۶ ماهه است. پهنه‌بندی خشکسالی‌ها هم با استفاده از تکنیک‌های زمین آمار انجام شده است.

داده‌ها و روش کار

برای مطالعه شرایط خشکسالی در ایران از بین ۲۳۴ ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی فقط ۷۰ ایستگاه با دوره آماری ۳۰ سال (۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵) انتخاب شدند. برای اینکه حداقل دوره استاندارد برای شناسایی شرایط خشکسالی ۳۰ سال می‌باشد. ویژگی این ایستگاه‌ها در جدول ۱ و پراکنندگی آنها در شکل ۱ نشان داده شده است.

برای مطالعه خشکسالی از بین شاخص های متداول از شاخص بارش استاندارد شده که توسط مک کی و همکاران (Mc.kee et al, 1993,p 78) تعریف شده است استفاده گردید. این شاخص اولاً با هر نوع مقیاس زمانی مطابقت دارد و ثانیاً کاربردی ترین و مناسب ترین شاخص برای شناخت خشکسالی ها در اکثر زمینه ها مانند هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژی و رطوبت خاک می باشد.

جدول ۱. ویژگی های ایستگاه های مورد مطالعه

| ایستگاه | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | ارتفاع | ایستگاه | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | ارتفاع |
|----------|---------------|---------------|--------|-------------|---------------|---------------|--------|
| آبادان | ۳۰ ۲۲ | ۴۸ ۱۵ | ۶ | کاشان | ۳۳ ۵۹ | ۵۱ ۲۷ | ۹۸۲ |
| آباده | ۳۱ ۱۱ | ۵۲ ۴۰ | ۲۰۳۰ | کرمان | ۳۰ ۱۵ | ۵۶ ۵۸ | ۱۷۵۴ |
| آبعلی | ۳۵ ۴۵ | ۵۱ ۵۳ | ۲۴۶۵ | کرمانشاه | ۳۴ ۲۱ | ۴۷ ۰۹ | ۱۳۱۸ |
| اهر | ۳۸ ۲۶ | ۴۷ ۰۴ | ۱۶۴۱ | خاش | ۲۸ ۱۳ | ۶۱ ۱۲ | ۱۳۹۴ |
| اهواز | ۳۱ ۲۰ | ۴۸ ۴۰ | ۲۲ | خرم آباد | ۳۳ ۲۶ | ۴۸ ۱۷ | ۱۱۴۸ |
| انزلی | ۳۷ ۲۸ | ۴۹ ۲۸ | -۲۶ | خوریابانک | ۳۳ ۴۷ | ۵۵ ۰۵ | ۸۴۵ |
| اراک | ۳۴ ۰۶ | ۴۹ ۴۶ | ۱۷۰۸ | خوی | ۳۸ ۳۳ | ۴۴ ۵۸ | ۱۱۰۳ |
| اردبیل | ۳۸ ۱۵ | ۴۸ ۱۷ | ۱۳۳۲ | مهاباد | ۳۶ ۴۶ | ۴۵ ۴۳ | ۱۳۸۵ |
| اردستان | ۳۳ ۲۳ | ۵۳ ۲۳ | ۱۲۵۲ | ماکو | ۳۹ ۲۰ | ۴۴ ۲۶ | ۱۴۱۱ |
| آستارا | ۳۸ ۲۵ | ۴۸ ۵۲ | -۱۸ | مراغه | ۳۷ ۲۴ | ۴۶ ۱۶ | ۱۴۷۸ |
| بابلسر | ۳۶ ۴۳ | ۵۲ ۳۹ | -۲۱ | مشهد | ۳۶ ۱۶ | ۵۹ ۳۸ | ۹۹۹ |
| بیم | ۲۹ ۰۶ | ۵۸ ۲۱ | ۱۰۶۷ | میناب | ۲۷ ۰۶ | ۵۷ ۰۵ | ۳۰ |
| بندرلنگه | ۲۶ ۳۲ | ۵۴ ۵۰ | ۲۳ | ارومیه | ۳۷ ۳۲ | ۴۵ ۰۵ | ۱۳۱۶ |
| بندرعباس | ۲۷ ۱۳ | ۵۶ ۲۲ | ۱۰ | رامهرمز | ۳۱ ۱۶ | ۴۹ ۳۶ | ۱۵۰ |
| بیرجند | ۳۲ ۵۲ | ۵۹ ۱۲ | ۱۴۹۱ | رامسر | ۳۶ ۵۴ | ۵۰ ۴۰ | -۲۰ |
| بجنورد | ۳۷ ۲۸ | ۵۷ ۱۹ | ۱۰۹۱ | رشت | ۳۷ ۱۲ | ۴۹ ۳۹ | ۳۶ |
| بوشهر | ۲۸ ۵۹ | ۵۰ ۵۰ | ۲۰ | سبزووار | ۳۶ ۱۲ | ۵۷ ۴۳ | ۹۷۷ |
| چابهار | ۲۵ ۱۷ | ۶۰ ۳۷ | ۸ | سقز | ۳۶ ۱۵ | ۴۶ ۱۶ | ۱۵۲۳ |
| دزفول | ۳۲ ۲۴ | ۴۸ ۲۳ | ۱۴۳ | سنندج | ۳۵ ۲۰ | ۴۷ ۰۰ | ۱۳۷۳ |
| دوشان | ۳۵ ۴۲ | ۵۱ ۲۰ | ۱۲۰۹ | سراب | ۵۶ ۳۷ | ۴۷ ۳۲ | ۱۶۸۲ |
| اصفهان | ۳۲ ۳۷ | ۴۰ ۵۱ | ۱۵۵۰ | سرخس | ۳۶ ۳۲ | ۶۱ ۱۰ | ۲۳۵ |
| فسا | ۲۸ ۵۸ | ۵۳ ۴۱ | ۱۲۸۸ | سمنان | ۳۵ ۳۵ | ۵۳ ۳۳ | ۱۱۳۰ |
| فردوس | ۳۴ ۰۱ | ۵۸ ۱۰ | ۱۲۹۳ | شهرکرد | ۳۲ ۱۷ | ۵۰ ۵۱ | ۲۰۴۹ |
| گرمسار | ۳۵ ۱۲ | ۵۲ ۱۶ | ۸۲۵ | شاهرود | ۳۶ ۲۵ | ۵۴ ۵۷ | ۱۳۴۵ |
| قزوین | ۳۶ ۱۵ | ۵۰ ۰۳ | ۱۲۷۹ | شیراز | ۲۹ ۳۲ | ۵۲ ۳۶ | ۱۴۸۴ |
| قوچان | ۳۷ ۰۴ | ۵۸ ۳۰ | ۱۲۸۷ | سیرجان | ۲۹ ۲۸ | ۵۵ ۴۱ | ۱۷۳۹ |
| قم | ۳۴ ۴۲ | ۵۰ ۵۱ | ۱۲۷۹ | طبرس | ۳۳ ۳۶ | ۵۶ ۵۵ | ۷۱۱ |
| گناباد | ۳۴ ۲۱ | ۵۸ ۵۱ | ۱۰۵۶ | تبریز | ۳۸ ۰۵ | ۴۶ ۱۷ | ۱۳۶۱ |
| گرگان | ۳۶ ۵۱ | ۵۴ ۱۶ | ۱۳ | تهران | ۳۵ ۴۱ | ۵۱ ۱۹ | ۱۱۹۱ |
| همدان | ۳۵ ۱۲ | ۴۸ ۴۳ | ۱۶۷۹ | تربت حیدریه | ۳۵ ۱۶ | ۵۹ ۱۳ | ۱۴۵۱ |
| ایلام | ۳۳ ۳۸ | ۴۶ ۲۶ | ۱۳۳۷ | تربت جام | ۳۵ ۱۵ | ۶۰ ۳۵ | ۹۵۰ |
| ایرانشهر | ۲۷ ۱۲ | ۶۰ ۴۲ | ۵۹۱ | یزد | ۳۱ ۵۴ | ۵۴ ۱۷ | ۱۲۳۷ |
| جاسک | ۲۵ ۳۸ | ۵۷ ۴۶ | ۵ | زابل | ۳۱ ۰۲ | ۶۱ ۲۹ | ۴۸۹ |
| جلفا | ۳۸ ۴۵ | ۴۵ ۴۰ | ۷۳۶ | زاهدان | ۲۹ ۲۸ | ۶۰ ۵۳ | ۱۳۷۰ |
| کرج | ۳۵ ۵۵ | ۵۰ ۵۴ | ۱۳۱۲ | زنجان | ۳۶ ۴۱ | ۴۸ ۲۹ | ۱۶۶۳ |



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

پایه‌های زمانی متداول در شاخص بارش استاندارد عبارتند از ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، و ۴۸ ماه که معمولاً بصورت میانگین متحرک بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود. برای مثال در مورد شاخص بازه سه ماهه شاخص استاندارد به این صورت محاسبه می‌شود:

$$SPI = \frac{X_I - \bar{X}}{S} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن X_I مجموع بارش سه ماه مورد نظر و \bar{X} میانگین مجموع بارش همان سه ماه در دراز مدت و S انحراف معیار همان داده‌ها است. معمولاً شاخص بارش استاندارد با توزیع گاما محاسبه می‌شود. توزیع گاما به جهت نداشتن مقادیر منفی بسیار مناسب است. احتمال تجمعی توزیع گاما از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این معادله α پارامتر شکل، $\beta > 0$ پارامتر مقیاس، $x > 0$ مقدار

بارش، $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است. چون تابع گاما برای $x=0$ (بارش صفر میلی‌متر) تعریف نشده است و توزیع بارش ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، احتمال تجمعی کل که در برگیرنده مقادیر صفر نیز می‌باشد از رابطه ۳ به دست می‌آید:

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن q احتمال صفر بودن مقدار بارش است و $H(x)$ مقادیر تبدیل شده به نمره Z با استفاده از تقریب آبراموویتز^۳ و استی گان^۴ است. این تقریب احتمال تجمعی را به متغیر تصادفی نرمال تبدیل می‌کند.

³Abramowitz

روابط زیر مقادیر Z یا SPI را از روی مقادیر H(x) ارائه می دهد:

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{for } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$Z = SPI = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{for } 0.5 < H(x) < 1.0 \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \quad \text{for } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2}\right)} \quad \text{for } 0.5 < H(x) < 1.0 \quad \text{رابطه (۷)}$$

و ثابت های معادله عبارتند از:

$$c_0 = 2.515517$$

$$c_1 = 0.802853$$

$$c_2 = 0.010328$$

$$d_1 = 1.432788$$

$$d_2 = 0.189269$$

$$d_3 = 0.001308$$

درجه بندی خشکسالی ها بر اساس شاخص بارش استاندارد در جدول ۱ نوشته شده است (Lloyd et al, 2002).

جدول ۲. طبقات مختلف خشکسالی بر اساس مقادیر مختلف SPI

| مقادیر SPI | طبقه خشکسالی | مقادیر SPI | طبقه خشکسالی |
|-------------|--------------------|------------|---------------|
| ۱/۵ تا ۱/۹۹ | خشکسالی شدید | ۰ تا ۰/۹۹ | خشکسالی ملایم |
| ۲- و کمتر | خشکسالی بسیار شدید | ۱- تا ۱/۴۹ | خشکسالی متوسط |

با توجه به اینکه هدف این تحقیق بررسی خشکسالی کشاورزی و رطوبت خاک می باشد از بازه های کوتاه مدت سه و شش ماهه استفاده شده است. جهت محاسبه شاخص یک برنامه رایانه ای تنظیم گردید (http://www.drought.nul.edu/monitor/spi/program/spi_program.htm). مقادیر به دست آمده بر اساس جدول ۲ به چهار طبقه خشکسالی بسیار شدید، خشکسالی شدید، خشکسالی متوسط و خشکسالی ملایم تقسیم شد. یعنی خشکسالی های هر ایستگاه در هر مورد به یکی از این طبقات اختصاص داده شد. سپس پراکندگی فضایی هر کدام از طبقات با استفاده از روش زمین آمار برای کل کشور ترسیم شد. روش های زمین آمار به جهت منظور نمودن ساختار

مکانی داده‌ها و ویژگی‌های جغرافیایی مانند عرض و طول جغرافیایی از دقت و اهمیت بالایی برخوردارند (مدنی، ۱۳۷۳: ۹۷). این روش‌ها با استفاده از واریوگرام، وضعیت تغییرات منطقه‌ای و محلی (McBratney and Webster 1986) را با هم در نظر می‌گیرند. مثلاً آمار کلاسیک تغییرات بارش را از جنوب به شمال فقط با یک مدل رگرسیون نشان می‌دهد و تغییرات محلی را نادیده می‌گیرد. در بین روش‌های زمین آمار روش کریجینگ معمولی^۵ به جهت ساده بودن و انطباق بهتر با شرایط ایران انتخاب شد.

نتایج

در کل دوره مطالعه برای بازه سه ماهه ۳۵۷ نمره استاندارد و برای بازه شش ماهه ۳۵۴ نمره استاندارد برای هر ایستگاه محاسبه شد. فراوانی حداقل و حداکثر این نمرات برای هر دو بازه در جدول‌های ۳ و ۴ نوشته شده‌اند.

جدول ۳. فراوانی نمرات خشکسالی‌های بازه سه ماهه در طول دوره مطالعه.

| جمع | فراوانی نسبی | | فراوانی مطلق | | SPI طبقات |
|-----|--------------|-------|--------------|-------|--------------------|
| | حداکثر | حداقل | حداکثر | حداقل | |
| ۳۵۷ | ۳/۵ | ۰/۵ | ۱۳ | ۲ | خشکسالی بسیار شدید |
| ۳۵۷ | ۶/۵ | ۱/۵ | ۲۵ | ۵ | خشکسالی شدید |
| ۳۵۷ | ۱۳ | ۳/۵ | ۴۶ | ۱۲ | خشکسالی متوسط |
| ۳۵۷ | ۴۵ | ۱۲/۵ | ۱۶۰ | ۸۰ | خشکسالی ضعیف |

جدول ۴. فراوانی نمرات خشکسالی‌های بازه شش ماهه در طول دوره مطالعه

| جمع | فراوانی نسبی | | فراوانی مطلق | | SPI طبقات |
|-----|--------------|-------|--------------|-------|--------------------|
| | حداکثر | حداقل | حداکثر | حداقل | |
| ۳۵ | ۴/۷ | ۰/۵ | ۱۷ | ۲ | خشکسالی بسیار شدید |
| ۳۵ | ۷/۵ | ۲/۵ | ۲۷ | ۹ | خشکسالی شدید |
| ۳۵ | ۱۴/۸ | ۳/۴ | ۵۲ | ۱۲ | خشکسالی متوسط |
| ۳۵ | ۴۱/۸ | ۲۵/۵ | ۱۴۸ | ۹۰ | خشکسالی ضعیف |

طبق این جدول‌ها کمترین فراوانی خشکسالی بسیار شدید بازه سه ماهه ۲ و بیشترین فراوانی آن ۱۳ می‌باشد. فراوانی خشکسالی‌های شدید بین ۵ تا ۲۵ است. این فراوانی‌ها برای خشکسالی‌های بسیار شدید بازه شش

⁵ Ordinary Kriging

ماهه از حداقل ۲ تا حداکثر ۱۷ تغییر می کند. فراوانی خشکسالی های شدید در بازه شش ماهه بین ۹ تا ۲۷ است. حد اکثر فراوانی خشکسالی های متوسط تا ۵۰ مورد مشاهده شده است. خشکسالی های ضعیف فراوان تر هستند. البته این خشکسالی ها را می توان جزو شرایط نرمال فرض کرد چون از شدت کمتری برخوردارند.

از نظر تغییرات زمانی، خشکسالی ها در دهه سوم دوره مطالعه (۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵) شدیدتر از دهه های ما قبل بودند. در بازه سه ماهه، ۴۲ ایستگاه و در بازه شش ماهه، ۴۵ ایستگاه از شدت بسیار بالای خشکسالی برخوردار بودند.

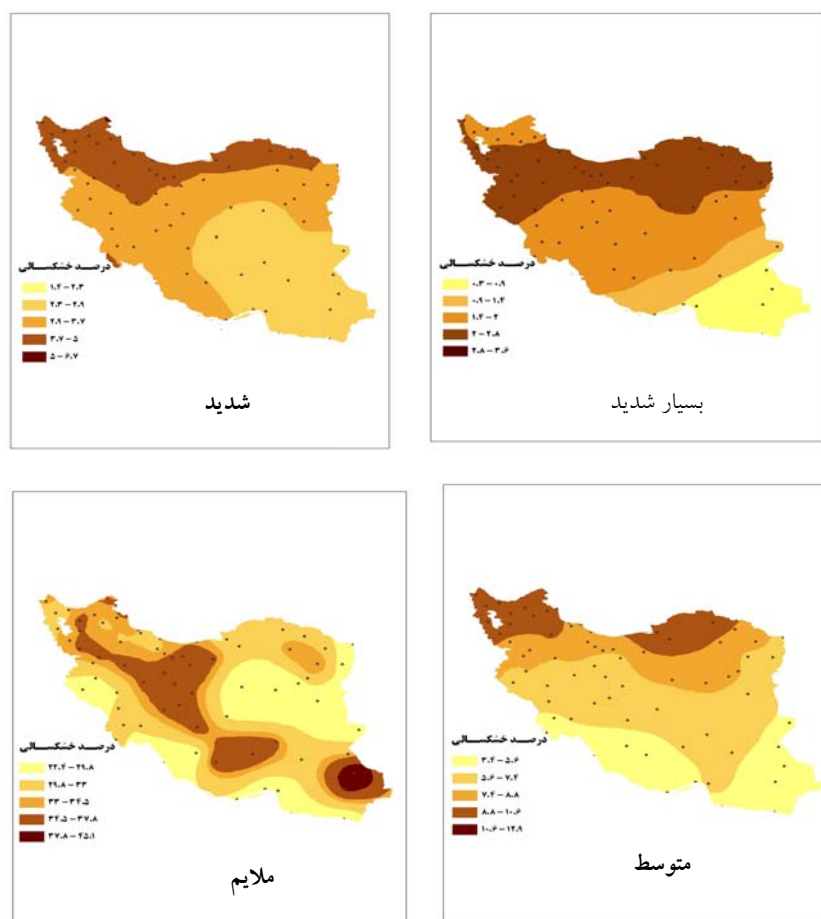
پراکندگی فضایی شاخص ها

بازه سه ماهه

پراکندگی فراوانی نسبی طبقات خشکسالی های بازه سه ماهه در شکل ۲ ترسیم شده اند. طبق شکل ۲ پراکندگی خشکسالی های بسیار شدید از یک الگوی مداری تبعیت می کند. بیشترین فراوانی ها در محدوده شمال و ارتفاعات البرز و شمال زاگرس مشاهده می شود. مقدار این درصدها حداکثر به ۴ درصد می رسد. یعنی اینکه نواحی شمالی کشور که فراوان ترین درصد را نشان می دهند در حداکثر ۴ درصد از دوره مطالعه دچار خشکسالی بسیار شدید شده اند. البته این نوار فراوان تر به نواحی شمالی آذربایجان گسترش نیافته است. به عبارت دیگر گسترش این محدوده در نواحی مرطوب کشور است.

نواحی خشک جنوبی تعداد بسیار کمی از خشکسالی های بسیار شدید داشتند. روند تغییرات خشکسالی های شدید هم از الگوی خشکسالی های بسیار شدید تبعیت می کند. سواحل شمال و ارتفاعات البرز خشکسالی های بیشتری تجربه کرده اند. در صورتی که فراوانی بیشتر خشکسالی های متوسط به آذربایجان و شمال خراسان محدود شده است و سواحل دریای خزر از نواحی فراوان خارج شده است.

اگر خشکسالی های بسیار شدید تا متوسط را خشکسالی واقعی تلقی کنیم در واقع در بازه سه ماهه نیمه شمالی کشور زمان های بیشتری دچار خشکسالی بوده است. یا به عبارت دیگر شرایط اقلیمی شمال کشور از نظر بارش دچار نوسانات بیشتری شده است. خشکسالی های ملایم عمدتاً در نواحی کوهستانی زاگرس مشاهده می شوند و الگوی مداری ندارند. با بررسی همه شکل ها می توان استنباط کرد که نیمه شمالی کشور بیشتر دچار بحران است و نواحی جنوبی در مناطق مرکزی و ساحلی و ارتفاعات زاگرس بحران های خشکسالی شدید تجربه نکرده اند.

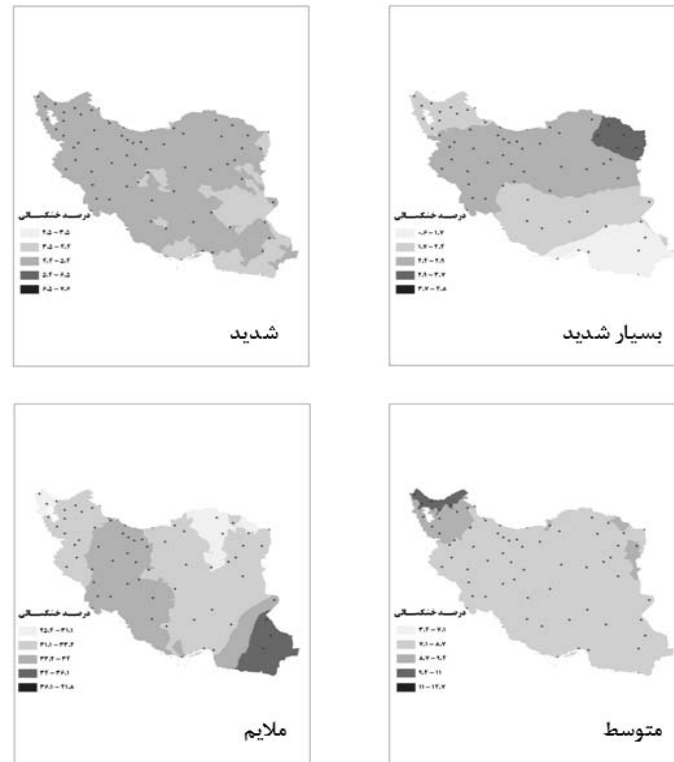


شکل ۲. پراکندگی فضایی خشکسالی‌های با بازه سه ماهه

بازه شش ماهه

پراکندگی فراوانی طبقات خشکسالی‌های بازه شش ماهه در شکل ۳ ترسیم شده‌اند. طبق شکل ۳ بیشترین فراوانی نسبی خشکسالی‌های بسیار شدید در خراسان شمالی مشاهده می‌شود. مقدار این درصدها حداکثر به ۵ درصد می‌رسد. یعنی اینکه خراسان شمالی که فراوان‌ترین درصد را نشان می‌دهد در حداکثر ۵ درصد از دوره مطالعه دچار خشکسالی بسیار شدید شده است. نواحی خشک جنوبی تعداد بسیار کمی از خشکسالی‌های بسیار شدید داشتند به گونه‌ای که در این نواحی در حداکثر ۰/۵ درصد از دوره مطالعه دچار خشکسالی بسیار شدید شده‌اند. در حقیقت در این طبقه از شدت خشکسالی، خشکسالی‌های بسیار شدید یک الگوی مداری را دنبال می‌کنند. در مورد خشکسالی‌های شدید به جز قسمت‌هایی از شرق و جنوب شرق کشور که مقدار فراوانی نسبی آنها کمتر از ۴ درصد است بقیه مناطق کشور در حداکثر ۵ درصد از دوره مطالعه دچار خشکسالی شدید شده‌اند. این طبقه از شدت خشکسالی‌ها نیز دارای یک الگوی مداری هستند. بنابراین از لحاظ پهنه‌بندی فضایی پهنه‌ی یکنواختی را تشکیل می‌دهند. فراوانی بیشتر خشکسالی‌های

متوسط به آذربایجان محدود شده است و بقیه مناطق کشور از نواحی فراوان خشکسالی خارج شده‌اند. این منطقه حداکثر ۱۵ درصد از دوره مطالعه دچار خشکسالی متوسط شده است. خشکسالی‌های ملایم عمدتاً در نواحی جنوب شرق مشاهده می‌شوند. با بررسی شکل‌ها می‌توان نتیجه گرفت که نیمه شمالی کشور بیشتر دچار بحران است و نواحی جنوبی در مناطق مرکزی و ساحلی بحران‌های خشکسالی شدید تجربه نکرده‌اند.



شکل ۳. پراکندگی فضایی طبقات خشکسالی‌های شش ماهه

نتیجه‌گیری

در بازه سه ماهه در کل دوره مورد مطالعه تعداد خشکسالی‌های بسیار شدید از ۳۵۷ مورد حداکثر ۱۳ است که ۳/۵ درصد طول دوره را شامل می‌شود. تعداد خشکسالی‌های شدید از ۳۵۷ مورد حداکثر ۲۵ یا ۶/۷ درصد است. تعداد خشکسالی‌های متوسط حداکثر ۴۷ مورد یا ۱۳ درصد است و تعداد خشکسالی‌های ضعیف حداکثر ۱۶۰ مورد یا ۴۵ درصد است بنابراین ملاحظه می‌شود که حدود ۵۰ درصد از مقادیر SPI در حالت نرمال می‌باشد. در بازه شش ماهه به استثنای خشکسالی‌های بسیار شدید که تعداد آن از ۱۳ به ۱۷ مورد رسیده در بقیه موارد اختلافی وجود ندارد و حدود ۵۰ درصد از مقادیر SPI در حالت نرمال می‌باشد. از نظر توزیع مکانی همانطور که شکل‌های ۲ و ۳ نشان

می‌دهند در هر دو بازه بیشترین فراوانی نسبی خشکسالی‌های بسیار شدید مربوط به شمال غرب، شمال و شمال شرق کشور است. کمترین فراوانی نسبی مربوط به مرکز، جنوب و جنوب شرق کشور است. در واقع توزیع خشکسالی‌ها از یک الگوی مداری تبعیت می‌کنند و از شمال به جنوب از فراوانی نسبی آنها کاسته می‌شود. بنابراین می‌بینیم که شمال کشور یعنی مناطق پرباران‌تر بیشتر از نواحی جنوب کم باران در معرض خشکسالی قرار دارند.

یکی از دلایل فراوانی خشکسالی‌ها در شمال کشور نوسان شدید بارش در شمال است. میانگین سالانه بارش در شمال از سالی به سال دیگر بسیار فرق دارد. در جنوب کشور اگر چه بارش کم است ولی این مقدار کم در مقیاس ماهانه از سالی به سال دیگر تفاوت نمی‌کند. در نتیجه شدت خشکسالی در شمال بیشتر از جنوب است. این بدان معنی است که شمال کشور هم علیرغم بارش زیاد و اقلیم مرطوب در معرض خشکسالی قرار دارد و این نتیجه‌ای است که علیجانی و همکارانش هم به آن رسیده‌اند (Alijani et al, 2008). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در شمال کشور، مدیران و برنامه‌ریزان باید توجه بیشتری به آینده داشته باشند زیرا نوسان بارش شدیدتر بوده و خشکسالی‌ها فراوان‌تر هستند. از آنجایی که نیمه شمالی کشور قسمت عمده محصولات کشاورزی و دامی را تهیه می‌کنند، فراوانی خشکسالی‌ها و یا تغییر رژیم بارشی منطقه خسارات جبران ناپذیری بر کشور وارد می‌کند. شاید تا کنون کسی به دلیل رطوبت اقلیم نواحی شمالی کشور به این مساله چندان توجهی نکرده است. اما بزرگترین یافته این تحقیق شناسایی این بحران در نیمه شمالی و اعلان خطر برای مدیران و کاربران کشور است؛ تا با هوشیاری از هم اکنون به فکر برنامه‌ریزی و تعدیل و سازش با این بحران باشند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که نوسان بارش و تشدید خشکسالی‌ها در نیمه شمالی کشور بر بحران‌های سیلاب و خشکسالی‌های نیمه جنوبی افزوده می‌شود و به درستی نشان می‌دهد که بیشتر مخاطرات و بحران‌های کشور ماهیت اقلیمی دارند که بر همه جای کشور گسترده شده‌اند.

منابع و مأخذ

۱. بابایی، ام‌السلمه؛ فرج‌زاده، منوچهر (۱۳۸۱) الگوهای تغییرات مکانی و زمانی بارش در ایران؛ تهران: فصلنامه علمی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس. ۴: ۷۰-۵۱.
۲. حجازی زاده، زهرا؛ فتاحی، ابراهیم؛ قائمی، هوشنگ (۱۳۸۲) پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده. مطالعه موردی استان چهارمحال بختیاری؛ نشریه علوم جغرافیایی، ۱: ۴۸-۲۵.
۳. رهنمایی، محمد تقی (۱۳۷۰) توانهای محیطی ایران؛ تهران: مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران.
۴. سلطانی، سعید؛ سعادت، سیده سارا (۱۳۸۶) پهنه‌بندی خشکسالی در استان اصفهان با استفاده از نمایه استاندارد بارش (SPI)؛ مجله علمی و پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۲: ۶۷-۶۴.

۵. صفدری، علی اکبر؛ محسنی ساروی، محسن؛ تفتیان، بهرام؛ مهدوی، محمد (۱۳۸۲) پهنه‌بندی فراوانی خشکسالی های حوزه کارون به کمک شاخص بارش استاندارد (SPI) در محیط GIS؛ اصفهان: سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم.
۶. فتاحی، ابراهیم؛ صداقت کردار، عبدالم... (۱۳۸۶) تحلیل منحنی های شدت - مدت و فراوانی خشکسالی مطالعه موردی: ایستگاه‌های برگزیده جنوب غرب ایران؛ مجله جغرافیا و توسعه. ۱۹-۷۷.
۷. فرج زاده، منوچهر؛ موحد دانش، علی اصغر؛ قائمی، هوشنگ (۱۳۷۴) خشکسالی در ایران. مجله دانش کشاورزی. ۱ و ۲: ۵۱-۳۱.
۸. محمدی، حسینمراد؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر (۱۳۸۲) اثرات خشکسالی‌ها در بحران منابع آب زیرزمینی؛ اصفهان: سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم.
۹. نساجی زواره، مجتبی؛ صانعی، مجتبی (۱۳۸۶) تعیین دوره‌های خشکسالی با استفاده از شاخص خشکسالی SPI؛ شهرکرد: کنفرانس بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب.
10. Alijani, B., B. Yarnal, J. O'Brien. (2008). Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 94: 107-124.
11. Hayes, M. J. (2002). What is Drought? Drought Indices. Climate Impacts Specialist, National Drought Mitigation Center. (http://www.Drought.unl.edu/what_is/indicies.htm).
12. Hayes, M.J., Svoboda, M.D. Wilhite, D.M. and Vanyarkno, D.V. (1995). Monitoring the 1996 Drought using the standardized precipitation index, *Bulletin of the American meteorological society*. 3. 43
13. Lloyd, B.H. and M. A. Saunders. (2002). A Drought Climatology For Europe. *International Journal of Climatology*, 22:1571-1592.
14. Mc.kee, T. B. Doesken N. J. Kleist, J. (1995). Drought monitoring with multiple timescales. Preprints, *Eighth Conf. on Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor.* 179-184.
15. Mc.Kee, T. B. Doesken NJ and Kleist J. (1993). The relationship of drought Frequency and duration to time scales, *8th conference on Applied Climatology*, 17-22
16. Wu, hong. Mark D. Svoboda, Michael j. Hayes, Donald A. Wilhite and Fujiang Wen. (2007). Appropriate Application of the Standardized Precipitation Index in Arid location and dry Seasons, *International Journal of Climatology*. 27. 65-79. ■