

مدیریت و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های RDI و SPI (مطالعه موردی: استان مرکزی)

حسین یوسفی^{۱*}، احمد نوحه‌گر^۲، زهرا خسروی^۳، مسعوده عزیزآبادی فراهانی^۴

۱. استادیار دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲. استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی طبیعت، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۴. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۱۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۰۷/۲۰)

چکیده

خشکسالی، کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی تعریف شده است و پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر به‌شمار می‌رود که بیشتر نقاط جهان با آن روبه‌روست. خشکسالی یکی از بلاهای طبیعی است که خسارت‌های فراوانی به انسان و اکوسیستم‌های طبیعی وارد می‌آورد. در خشکسالی چهار ویژگی عمده مطالعه می‌شود که عبارت‌اند از شدت، مدت، فراوانی و گستره خشکسالی که هدف از این تحقیق، تعیین شدت و مدت و گستره خشکسالی در استان مرکزی است. به‌منظور بررسی و پهنه‌بندی خشکسالی، شاخص‌های متنوعی ابداع شده است؛ یکی از آن‌ها، شاخص بارش استاندارد و دیگری شاخص خشکسالی احيائي است. برای بررسی از ۱۰ ایستگاه سینوپتیک با طول دوره آماری مشترک ۱۳ ساله (۱۳۷۹-۱۳۹۲) در مقیاس زمانی ماهانه استفاده شد. پس از محاسبه شاخص‌ها توسط نرم‌افزار drinc، نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی به‌طور مجزا برای منطقه توسط Arc GIS تهیه شد؛ ایستگاه آشتیان بیشترین شدت خشکسالی را در سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ و منطقه مربوط به ایستگاه کمیجان کمترین خشکسالی را در سال ۱۳۸۶-۱۳۸۷ آبی داشتند. نقشه خشکسالی استان مرکزی با استفاده از شاخص بارش استاندارد و شاخص خشکسالی احيائي آسیب‌پذیری مناطق دشت در زمان وقوع خشکسالی را نشان می‌دهد. این مناطق در بخش مرکزی و غربی دشت واقع شده‌اند که در این میان شهرهای اراک، کمیجان و شازند ریسک‌پذیری شایان توجهی دارند.

کلیدواژگان: پهنه‌بندی خشکسالی، شاخص بارش استاندارد، شاخص خشکسالی احيائي، نرم‌افزار drinc، Arc GIS.

مقدمه

تا کنون تعاریف بسیاری، افزون بر ۱۵۰ مورد، از خشکسالی ارائه شده است. به‌طور کلی، خشکسالی شامل یک دوره پیوسته و پایدار (از چند ماه تا چندین سال) است که در این دوره مقدار آب موجود در منابع آبی منطقه به حد شایان توجهی کاهش می‌یابد و دچار کمبود می‌شود. از این نظر خشکسالی را می‌توان از دیدگاه‌های هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیک، بررسی کرد. در نتیجه تعریفی که در یک تحلیل از خشکسالی ارائه می‌شود، باید متناسب با شرایط اقلیم، نوع منابع و مقدار ذخایر آب، مصارف آب، نیازها و زمینه تحقیق پژوهشگر باشد [۴]. خشکسالی از تغییرات معمول اقلیمی است که بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا را با شدت زیاد هر چند سال یکبار دربرمی‌گیرد. از این‌رو شناسایی خشکسالی، یافته‌ای ارزشمند برای مدیریت منابع آبی مناطقی چون ایران که بخش اعظم آن را مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد، محسوب می‌شود. از طرفی ویژگی‌های خشکسالی ممکن است در رژیم‌های مختلف آب‌وهوایی دنیا متفاوت باشد. در مناطق گرمسیری و پرباران استوایی اگر مقدار بارش نسبت به نرمال سالیانه دچار کاهش نسبی و خشکسالی هواشناسی در منطقه شود، این امکان وجود دارد که این کاهش تأثیر محسوسی بر منابع آبی منطقه نگذارد و به بیانی از نظر هیدرولوژیکی خشکسالی اتفاق نیفتد، اما در مناطق حساس فزایش و خشک، کاهش بارندگی تأثیر بسیار زیادی روی منابع آب می‌گذارد و در بسیاری از موارد، هم‌زمان خشکسالی‌های هواشناسی با خشکسالی‌های هیدرولوژیکی اتفاق می‌افتد. در سال‌های اخیر خشکسالی در کشور ما نیز خسارت‌های زیادی به بار آورده است. برخلاف سیلاب که قابل اندازه‌گیری مستقیم است، خشکسالی‌ها اغلب به‌صورت توصیفی و کیفی ارائه می‌شوند. خشکسالی‌ها با دیگر پدیده‌های هواشناسی از نظر ویژگی‌های زمانی متفاوت‌اند. تعیین زمان آغاز و پایان خشکسالی‌ها بسیار مشکل است. پیچیدگی مسائل مرتبط با خشکسالی سبب شده است که نتوان این پدیده را به‌درستی تحلیل و بررسی کرد و نتایج حاصل نیز از دقت خوبی برخوردار نباشند. همین پیچیدگی سبب شده است که متخصصان مختلف روش‌های متفاوتی را برای تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی به‌کار ببرند که هر یک ضعف‌ها و قوت‌های خاص خود را

دارد. از آنجاکه وقوع این پدیده، تداوم، زمان آغاز و پایان خشکسالی و شدت و بزرگی آن همگی فرایندهایی احتمالاتی هستند، روش‌هایی که امروزه برای بیان این ویژگی‌ها به‌کار برده می‌شوند نیز اغلب روش‌های آماری-احتمالاتی هستند. تعاریف زیادی از خشکسالی ارائه شده است. ویلهایت و گلنتز خشکسالی‌ها را به چهار دسته خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژی و اقتصادی-اجتماعی طبقه‌بندی کردند [۱۰]. با کاهش مقدار بارندگی و تغییر در برخی از پدیده‌های جوی نظیر افزایش دما، وقوع بادهای شدید، کاهش رطوبت نسبی، افزایش ساعات آفتابی و کاهش پوشش ابر خشکسالی هواشناسی آغاز می‌شود. سپس با افزایش تبخیر و ترق و کم‌شدن رطوبت خاک، بر اثر تنش‌های وارد شده به گیاهان زراعی و باغی خشکسالی کشاورزی به وقوع می‌پیوندد. تداوم این وضعیت به مدت طولانی‌تر سبب کاهش آب‌های سطحی، جریان آب درون مخازن، دریاچه‌ها و تالاب‌ها و در نتیجه خشکسالی هیدرولوژیکی می‌شود. برای بیان کمی پدیده خشکسالی و همچنین ارزیابی آن در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی، از شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌شود که برای محاسبه آن‌ها وجود داده‌های مناسب و طولانی‌مدت پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی ضروری است.

شاخص بارش استاندارد (SPI)

این شاخص در سال ۱۹۹۵ توسط مکی و همکارانش به‌منظور تعیین و پایش خشکسالی ارائه شد. این شاخص براساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می‌آید و تنها فاکتور مؤثر در محاسبه این شاخص، عنصر بارندگی است. این شاخص را می‌توان در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه کرد [۲]. طبیعت SPI به‌گونه‌ای است که امکان تعیین کمی خشکسالی یا وقایع غیرعادی رطوبتی را در مقیاس زمانی مشخص، روی هر منطقه‌ای از کره زمین که بارش آن ثبت شده است، برای تحلیلگر ماهر فراهم می‌کند. اساس شاخص بارش استاندارد شده بر محاسبه احتمالات بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است. پس از استخراج داده‌های بارندگی در مقیاس ماهانه طی یک دوره آماری (ترجیحاً ۳۰ سال یا بیشتر) لازم است تا سری زمانی مجموعه

$$y_i = Lna^{(i)} \quad (۴)$$

سپس میانگین حسابی و انحراف معیار استاندارد این اعداد را محاسبه و به ترتیب \bar{y}_k و $\hat{\sigma}_{yk}$ می‌نامیم. در نهایت شاخص استاندارد شده RDI در هر سال به کمک فرمول زیر محاسبه خواهد شد.

$$RDI_s^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\hat{\sigma}_{yk}} \quad (۵)$$

شاخص RDI از دو پارامتر بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل و در سه مرحله برای تعیین خشکسالی استفاده می‌کند که شامل مقدار ابتدایی، RDI نرمالیزه شده و RDI استاندارد شده است. RDI استاندارد شده را می‌توان با SPI مقایسه کرد. تفسیر مقادیر به دست آمده از این روش براساس جدول زیر خواهد بود. آستانه‌های طبقه‌بندی خشکسالی برای RDI استاندارد شده و SPI به شرح زیر است.

جدول ۱. بازه‌های SPI و RDI

طبقه‌بندی خشکسالی	مقدار شاخص SPI و RDI
به شدت مرطوب	۲ و بیشتر از آن
خیلی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
نسبتاً مرطوب	۱ تا ۱/۴۹
متوسط (نرمال)	۰/۹۹ تا -۰/۹۹
نسبتاً خشک	-۱ تا -۱/۴۹
خیلی خشک	-۱/۵ تا -۱/۹۹
به شدت خشک	-۲ و کمتر

مشخصات منطقه مطالعه شده

استان مرکزی بخشی از فلات مرکزی ایران است که بین رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس ناهمواری‌هایی دارد که قسمت‌هایی از کوه‌های مرکزی و پیش‌کوه‌های داخلی زاگرس را شکل می‌دهد و در مجاورت کویر مرکزی بین ۳۳ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۱ درجه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. مساحت کل استان مرکزی ۲۹/۵۳۰ کیلومتر مربع (حدود ۱/۸۲ درصد از مساحت کل کشور) است. استان مرکزی از یک طرف در کویر مرکزی و از طرف دیگر در محل برخورد زاویه چین خوردگی البرز و زاگرس واقع شده است و آب‌وهوایی متنوع دارد. حدود ۷۵ درصد استان مرکزی را کوهستان‌ها و کوهپایه‌ها و ۲۵ درصد آن را دشت‌ها تشکیل می‌دهند که مهم‌ترین آن‌ها

بارندگی در مقیاس دلخواه تشکیل شود. هدف از ارائه شاخص بارش استاندارد، ارائه یک شاخص عددی است که بتواند ریزش‌های جوی مناطق با اقلیم‌های متفاوت را با هم مقایسه کند.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{S} \quad (۱)$$

در رابطه فوق P_i مقدار بارش در دوره مد نظر، \bar{P} میانگین درازمدت بارش برای دوره مد نظر و S انحراف معیار مقادیر بارش است.

شاخص خشکسالی احيائي (RDI):^۱

این شاخص در سال ۱۹۹۶ توسط وی هورست ارائه شد. این شاخص شدت و مدت خشکسالی را مشخص می‌کند و برای پیش‌بینی خشکسالی استفاده می‌شود. در شاخص خشکسالی احيائي به پارامتر تبخیر نیز توجه و به‌طور جداگانه‌ای برای هر حوضه آبخیز استفاده می‌شود. مهم‌ترین مزیت این شاخص آن است که هم به میزان آب و هم به عوامل اقلیمی توجه می‌کند. شاخص RDI متأثر از دو پارامتر بارندگی و تبخیر تعرق پتانسیل است. روش محاسبه بدین شرح است که ابتدا با استفاده از فرمول زیر برای هر سال (i) از دوره آماری مطالعه شده، مقداری با عنوان a_0 محاسبه می‌شود.

$$a_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} ET_{ij}} \quad (۲)$$

در این فرمول، P بارندگی و ET ، تبخیر و تعرق پتانسیل در زامین ماه سال i هستند. مقدار i از ۱ تا N (تعداد سال‌هایی است که آمار آن در دسترس است) تغییر خواهد کرد. چنانچه بارندگی و تبخیر و تعرق به‌صورت سالانه محاسبه شوند، نیازی به جمع کردن مقادیر ماهانه در این فرمول نخواهد بود. گام بعدی تعیین شاخصی با عنوان RDI نرمال (یا RDI_n) هر سال است که از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$RDI_n^{(i)} = \frac{a_0^{(i)}}{a} - 1 \quad (۳)$$

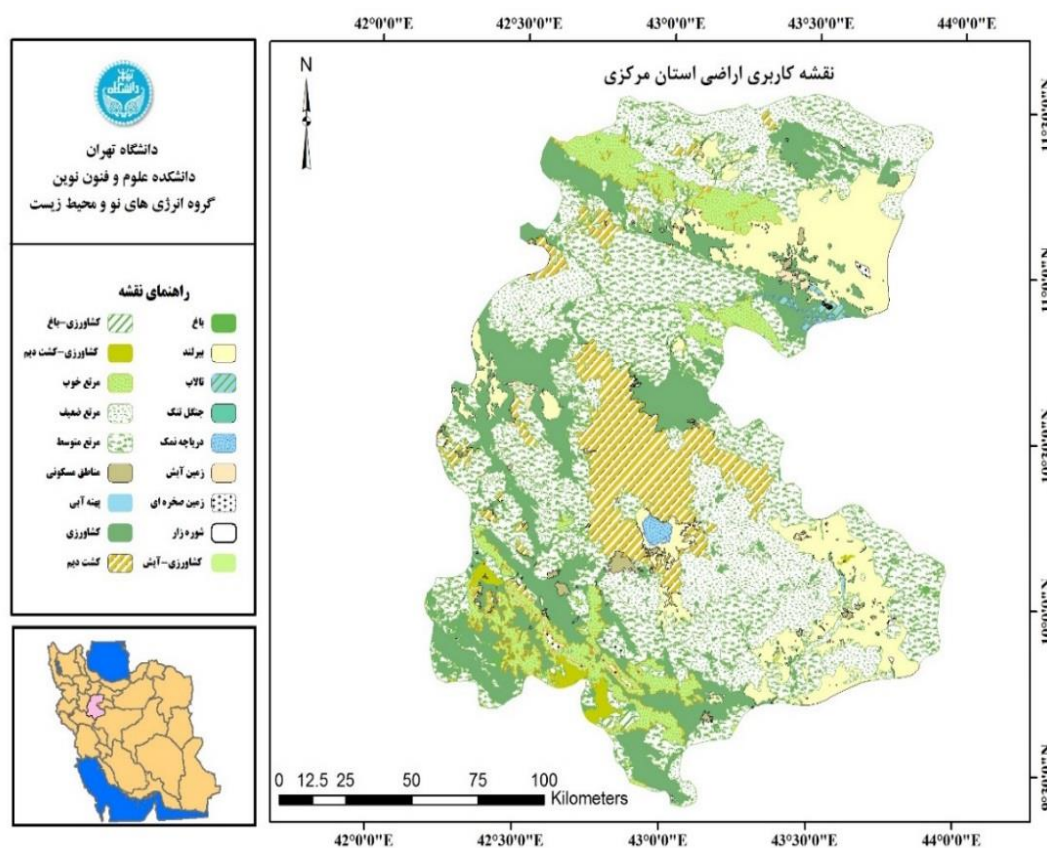
برای محاسبه شاخص استاندارد شده RDI (یا RDI_s) از مقادیر سالانه a_0 لگاریتم گرفته می‌شود که عددی با عنوان y_i به دست خواهد آمد.

مساحت کل مراتع استان مرکزی ۱/۷۸ میلیون هکتار تخمین زده می‌شود که ۱۴/۱ درصد آن‌ها «مراتع خوب» واقع در جنوب غربی شهرستان اراک و ارتفاعات شمال غربی شهرستان ساوه با متوسط تولید سالانه ۵۰۰ کیلوگرم علوفه خشک در هکتار، پوشش گیاهی ۵۶/۱ درصد مراتع استان «متوسط» و با میانگین تولید سالانه ۱۳۴ کیلوگرم علوفه خشک در هر هکتار، و ۲۹/۸ درصد مراتع استان مرکزی «مراتع فقیر» با میانگین تولید سالانه ۳۰ کیلوگرم علوفه خشک در هکتار است.

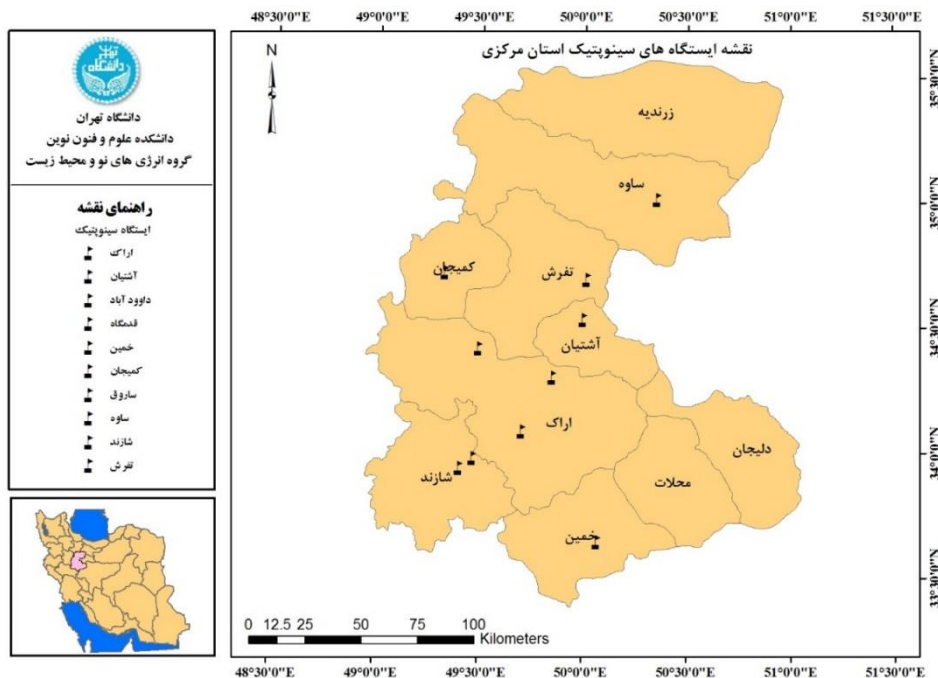
از داده‌های ۱۰ ایستگاه سینوپتیک متعلق به سازمان هواشناسی واقع در محدوده استان مرکزی طی دوره آماری (۱۳۷۹-۱۳۹۲) و از عنصر بارش و دمای ماهانه استفاده شده است. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها در نقشه (شکل ۲) و جدول ۲ گنجانده شده است.

شامل دشت ساوه، زرنده، اراک و فراهان، شازند و دشت شرا (اراضی اطراف رود قره‌چای در غرب منطقه) است. جنگل طبیعی انبوه در منطقه وجود ندارد، اما براساس تحقیقات اداره کل منابع طبیعی استان مرکزی، حدود ۱۷ هزار و ۵۷۳ هکتار عرصه جنگلی در سراسر استان وجود دارد که عمده‌ترین قسمت این جنگل‌های پراکنده در شهرستان تفرش واقع است.

در شکل ۱ نقشه کاربری اراضی برای استان مرکزی تهیه شده است. کاربری زمین در استان به این صورت است که بیشترین مساحت به مراتع متوسط و کمترین مساحت به شوره‌زار اختصاص دارد. استان مرکزی از جمله استان‌هایی است که از نظر پوشش جنگل‌های طبیعی بسیار فقیر است. مراتع استان که عمدتاً گیاهان بوته‌ای هستند به دلیل آب‌وهوای مختلف، تنوع زیادی دارند.



شکل ۱. نقشه کاربری اراضی استان مرکزی



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک استان مرکزی

جدول ۲. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک استان مرکزی

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
اراک	۴۹:۴۲	۳۴:۰۶	۱۸۰۳
آشتیان	۵۰:۰۰	۳۴:۳۲	۲۰۹۷
داوودآباد	۴۹:۵۱	۳۴:۱۷	۱۶۶۰
قدمگاه	۴۹:۲۸	۳۳:۵۸	۱۸۰۰
خمین	۵۰:۰۵	۳۳:۳۷	۱۸۳۵
کمیجان	۴۹:۱۹	۳۴:۴۳	۱۷۴۱
ساروق	۴۹:۲۹	۳۴:۲۴	۱۸۰۰
ساوه	۵۰:۲۰	۳۵:۰۳	۱۱۰۸
شازند	۴۹:۲۵	۳۳:۵۷	۱۹۱۳
تفرش	۵۰:۰۱	۳۴:۴۱	۱۹۸۰

حاکم است، قرار گیرد [۳]. برآورد مقادیر متغیر با توزیع و ساختار فضایی و ارزیابی خطای همراه با این برآورد کریجینگ نامیده می‌شود [۷]. مدل IDW یکی از روش‌های معمول میان‌یابی نقاط پراکنده در فضا است که اساس آن بر مبنای این فرضیه است که در یک سطح میان‌یابی، اثر یک پارامتر بر نقاط اطرافش یکسان نیست و هر چه فاصله از مبدأ افزایش یابد، اثر کمتر خواهد شد [۱]. روش میان‌یابی میان سلول‌های ارزشی به کاررفته در یک ترکیب وزنی خطی از یک دسته نقطه نمونه را تعیین می‌کند. IDW همسایگی نقاط انتخاب شده را در نظر

پهنه‌بندی خشکسالی استان مرکزی

روش‌های معمول میان‌یابی (IDW Inverse distance) (weighted)، kriging و spline هستند. روش spline یک سطح با حداقل انحراف را روی نقاط استفاده شده برای میان‌یابی برازش می‌دهد. به عبارتی یک تابع ریاضی را طوری بر سطح برازش می‌کند که از نقاط کنترل بگذرد [۱]. در زمین‌آمار یا کریجینگ می‌توان با داشتن مقادیر یک کمیت در مختصات معلوم، مقدار آن کمیت را در نقطه دیگری با مختصات معلوم برآورد کرد، به شرط آنکه مختصات مقدار نامعلوم در دامنه‌ای که ساختار فضایی

سپس جدولی (با فرمت xls) که شامل نام ایستگاه‌ها، مختصات UTM (UTM-WGS 1984-ZONE 39N) و بیشترین SPI و RDI محاسبه شده برای هر ایستگاه است، تشکیل شده و داده‌ها وارد محیط نرم‌افزاری Arc map و پهنه‌بندی خشکسالی با روش IDW، توسط دو شاخص بارش استاندارد و خشکسالی احيائي انجام شد. حدود محاسبه شده برای دو شاخص در جدول ۳ آمده است. طبق جدول ۱ استان مرکزی به سه قسمت نسبتاً خشک، خیلی خشک و به شدت خشک تقسیم می‌شود.

می‌گیرد که متغیر با کاهش اثر فاصله از مکان نمونه‌اش، ترسیم شده است. در این تحقیق، از روش IDW برای استان مرکزی استفاده شده است. برای پهنه‌بندی خشکسالی استان، از دو شاخص SPI و RDI استفاده شد که این دو شاخص با استفاده از نرم‌افزار drinc (نرم‌افزاری برای محاسبه شاخص‌های خشکسالی) در بازه‌های زمانی یک‌ساله، محاسبه شد. برای محاسبه RDI، داده‌های ماهانه تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) مورد نیاز بود که با استفاده از روش thornthwaite در نرم‌افزار drinc محاسبه شد.

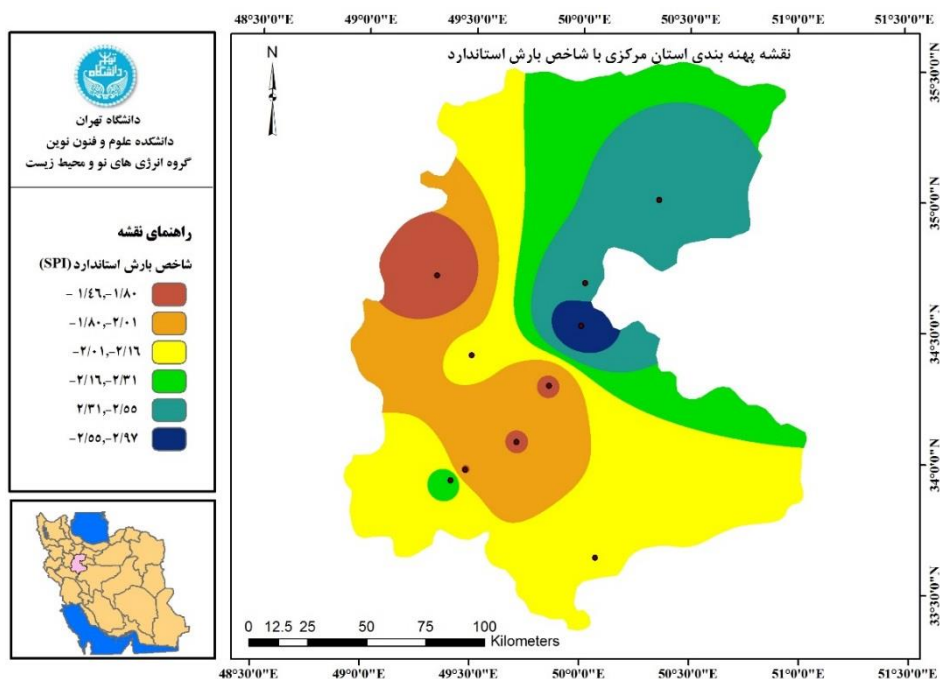
جدول ۳. مقادیر محاسبه شده بیشترین مقدار SPI و RDI برای هر ایستگاه

ایستگاه	SPI	RDI	سال وقوع
اراک	-۱/۴۸	-۱/۷۶	۸۶-۸۷
آشتیان	-۲/۶۸	-۲/۶۹	۸۶-۸۷
داوودآباد	-۱/۴۶	-۱/۷۵	۸۱-۸۲
قدمگاه	-۱/۴۷	-۱/۷۴	۸۰-۸۱
خمین	-۲/۳۰	-۲/۲۷	۸۶-۸۷
کمیجان	-۱/۷۸	-۱/۶۸	۸۶-۸۷
ساروق	-۲/۵۰	-۲/۱۴	۸۹-۹۰
ساوه	-۲/۵۳	-۲/۵۶	۸۶-۸۷
شازند	-۲/۱۹	-۲/۲۸	۸۵-۸۶
تفرش	-۲/۴۸	-۲/۴۵	۸۶-۸۷

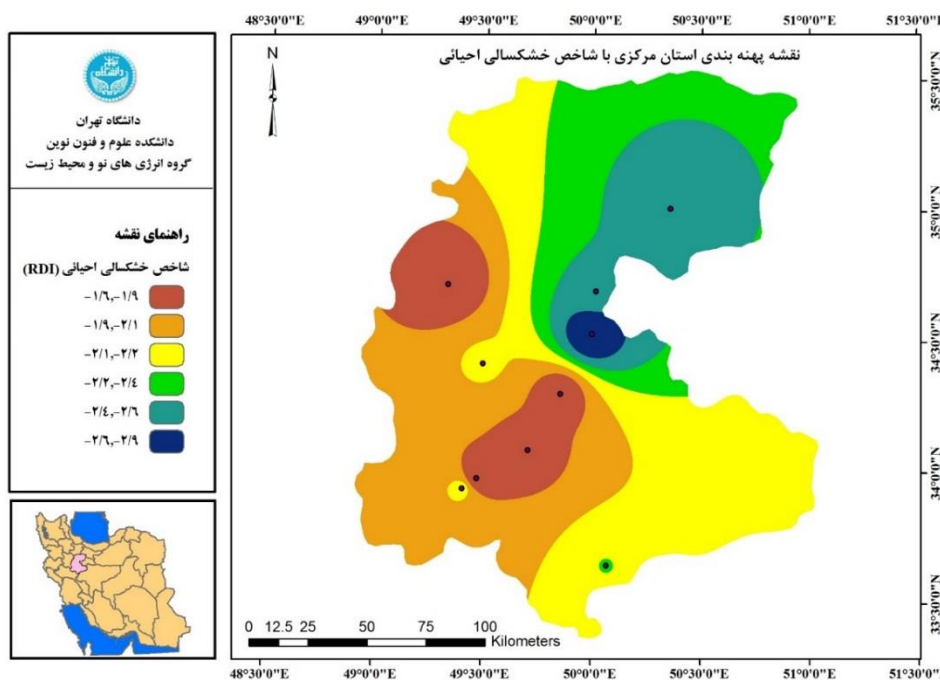
نتیجه‌گیری

با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی شده در منطقه تحت پوشش، ایستگاه آشتیان بیشترین شدت خشکسالی را در سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ و منطقه مربوط به ایستگاه کمیجان کمترین میزان خشکسالی را در سال ۱۳۸۶-۱۳۸۷ آبی داشته است. به‌طور کلی، از شاخص SPI برای محاسبه خشکسالی هیدرولوژیکی و هواشناسی استفاده می‌شود، در حالی که از شاخص RDI به دلیل استفاده PET در فرمول آن، برای محاسبه خشکسالی کشاورزی استفاده می‌شود. با وجود این، با توجه به مزیت‌های SPI (منعطف‌بودن و قابلیت استفاده در مقیاس‌های متعدد زمانی (کوتاه‌مدت برای اهداف کشاورزی و بلندمدت برای اهداف هیدرولوژی و مکانی) در سطح خرد و کلان و با اینکه نتایج آن، مناسب‌بودن شاخص را از نظر تشخیص زمان شروع خشکسالی، پایش و پیش‌بینی آن به

اثبات رسانده است، در مناطقی با دمای زیاد و تبخیر و تعرق زیاد بارندگی به‌تنهایی نمی‌تواند نشان‌دهنده وقوع خشکسالی باشد. به دلیل تغییرات خصوصیات فیزیوگرافیک و اقلیمی در مناطق مختلف استان پدیده خشکسالی گسترش مکانی مختلفی دارد؛ ولی طبق نقشه‌های به‌دست‌آمده، در کل سطح استان، در دوره آماری مطالعه شده کل شهرستان‌های استان دچار خشکسالی شده‌اند که نتایج بررسی در شکل‌های ۳ و ۴ آمده است. خشکسالی که یکی از بلاهای طبیعی است، طی سال‌های اخیر موجب برهم خوردن تعادل اقلیمی و بروز پیامدهای اقتصادی و اجتماعی در کشور شده است. بنابراین، برای مدیریت خشکسالی در سطح استان نیازمند برنامه‌های مدیریتی و اصولی استفاده از منابع آبی موجود با توجه به بحران آب و کاهش نزولات جوی و خشکسالی‌های اخیر در کشور هستیم.



شکل ۳. پهنه‌بندی خشکسالی استان مرکزی با شاخص SPI



شکل ۴. پهنه‌بندی خشکسالی استان مرکزی با شاخص RDI

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از سازمان هواشناسی استان مرکزی و جناب آقای مهندس مجتبی مرادی که داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز را در اختیار قرار دادند، تشکر و قدردانی می‌کنند.

منابع

[۱]. انصاری، حسین، داوری، کامران، ۱۳۸۶، «پهنه‌بندی دوره‌های خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد در محیط جی ای اس، (استان خراسان)».

- [۶]. وفاخواه، مهدی، رجبی، منصور، ۱۳۸۴، «کارایی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی برای پایش و ارزیابی خشکسالی‌های حوضه آبخیز دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو»، نشریه بیابان، شماره ۱۰: ۳۶۹-۳۸۲.
- [7]. Davis, J.C. 1973, "Statistics and Data Analysis in Geology". John Wiley and Sons, London.
- [8]. Palmer, W.C. 1965, "Meteorological Drought". U.S. Weather Bureau Technical paper, 45, 1-58.
- [9]. Weber, D., England, E. 1992, "Evaluation and Comparison of spatial Interpolations". Mathematical Geology, Vol, 24, PP: 381-391.
- [10]. Wilhite, D. A., and M. H. Glantz, 1985, "Understanding the drought phenomenon". The role of definitions, Water International, 10, 111-120.

- نشریه پژوهش‌های جغرافیایی مؤسسه جغرافیایی دانشگاه تهران، شماره ۱۰۸: ۶۰-۹۷.
- [۲]. بذرافشان، جواد، ۱۳۸۱، «مطالعه برخی از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- [۳]. حسنی پاک، علی اصغر، ۱۳۷۷، زمین آمار، انتشارات دانشگاه تهران.
- [۴]. عساکره، حسین، ۱۳۸۷، «کاربرد کریجینگ در میان‌یابی بارش»، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲: ۴۲-۴۵.
- [۵]. کردوانی، پرویز، ۱۳۸۰، خشکسالی و راه‌های مقابله با آن در ایران، انتشارات دانشگاه تهران.