نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هفتم / شماره اول / بهار ۱۴۰۲ / مقاله علمی- پژوهشی: صفحات ۱۱۳ تا ۱۳۶

شاخص یکپارچه برای ارزیابی خشکسالی در استان اصفهان

مهرداد خشوعی[۱*]، حمیدرضا صفوی[۲] و عباس کاظمی خشوئی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۹)

چکیده

خشکسالی عبارت است از یک دوره ممتد کمبود بارش که منجر به صدمه زدن به انواع مصرف‌کنندگان آب به‌ویژه بخش کشاورزی و کاهش عملکرد آنها می‌شود. پدیده خشکسالی از جمله بلایایی است که آن را باید بدون امکان پیش‌بینی تلقی کرد. این حادثه با دیگر حوادث طبیعی از قبیل سیل، زلزله، طوفان و غیره بنا به عللی تفاوت دارد. شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی خشکسالی مانند شاخص‌های SPI، PDSI، SWSI طراحی شده است که براساس یکی از انواع خشکسالی‌های هواشناسی، هیدرولوژی یا کشاورزی بوده است. هدف از این پژوهش بررسی و ارزیابی یک شاخص یکپارچه و در برگیرنده عوامل اصلی خشکسالی است. شاخص یکپارچه دربرگیرنده عوامل مختلف خشکسالی مانند هواشناسی، هیدرولوژیک، کشاورزی، اجتماعی- اقتصادی و زیست‌محیطی است. به دلیل خشکسالی‌های پی‌درپی در طی دهه‌های اخیر استان اصفهان به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. در طراحی شاخص یکپارچه از تلفیق لایه‌های استاتیکی و دینامیکی استفاده شده است. لایه‌های استاتیکی شامل کاربری زمین، شیب و جنس خاک حوضه است. لایه‌های دینامیکی شامل بارش، دمای میانگین، آب سطحی دردسترس، آب زیرزمینی دردسترس، کیفیت آب زیرزمینی و سطح زیرکشت است. نتایج نشان می‌دهد که در سال‌های آبی ۱۳۸۶ و ۱۳۹۱ بیشترین تنش آبی در استان و در سالهای ۱۳۸۷ و ۱۳۹۰ کمترین تنش و به عبارت دیگر ترسالی در نقاط مختلف استان حاکم بوده است.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری خشکسالی، شاخص یکپارچه، استان اصفهان

۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان
۲. گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳. شرکت آب منطقه‌ای اصفهان
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m.khoshoei@kashanu.ac.ir

مقدمه

همانطور که آب اساسی‌ترین نیاز بشر است، خشکسالی و کمبود آب می‌تواند موجب بروز بحران‌های جدی در زندگی انسان‌ها شود. خشکسالی بطور غیرمستقیم نیز می‌تواند موجب بروز بحران‌های دیگری در زندگی اجتماعی بشر شود. اختلاف برای دست‌یابی به منابع آب، به خطر افتادن بهداشت عمومی و تأثیرات منفی زیست‌محیطی و اکولوژیکی مثال‌هایی از این مورد هستند. تاکنون خشکسالی به اندازه سایر بحران‌های طبیعی از قبیل سیل، زلزله، طوفان و رانش زمین مورد توجه جدی قرار نگرفته است. یکی از دلایل آن این است که اکثر بلایای طبیعی طی دوره‌ای کوتاه، خسارت سنگین مالی و جانی به جامعه وارد کرده، اما خسارت سنگین ناشی از بحران خشکسالی، بصورت تدریجی و در مدت طولانی بروز می‌کند. در حال حاضر با وجود رشد روز افزون جمعیت و روند خشکسالی‌های اخیر، توجه جدی و کارشناسانه به پدیده خشکسالی، امری اجتناب ناپذیر است. با افزایش جمعیت، نیازهای آبی به‌منظور تأمین مواد غذایی و شرب نیز افزایش می‌یابد. این امر باعث می‌شود تا اثرات ناشی از بحران تشدید شود (۴).

با بروز خشکسالی، آب چاه‌ها، چشمه‌ها، قنوات، رودخانه‌های فصلی و دائمی کاهش یافته و یا خشک می‌شوند و نیز به‌دلیل حفر چاه‌های نزدیک به هم و استفاده بی‌رویه از این چاه‌ها، کیفیت آب چاه‌ها تغییر کرده و آب شور می‌شود. مهم‌ترین اثر خشکسالی بر کشاورزی، کاهش شدید تولید محصولات زراعی و به دنبال آن افزایش واردات محصولات و کالاهای کشاورزی از خارج و کاهش صادرات کالاهای کشاورزی و در نتیجه کسری ترازهای خارجی و افزایش تورم است (۳).

خشکسالی‌ها یکی از تغییرات معمول اقلیمی هستند که بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا را با شدت‌های زیاد هر چند سال یکبار دربرمی‌گیرد. در بسیاری از سال‌ها هم رخداد خشکسالی برای مدتی مشخص نیست، از این‌رو شناسائی خشکسالی خود یافته‌ای ارزشمند برای مدیریت منابع آبی مناطقی چون ایران که بخش اعظم آن را مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد، محسوب می‌شود (۱۷).

ایران همواره با خشکسالی مواجه بوده و طی دهه‌های اخیر خسارات سنگین اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی از این بابت دیده است یکی از این خشکسالی‌ها طی سالهای ۱۳۷۷–۷۸ لغایت ۸۱–۱۳۸۰ در کشور به‌وقوع پیوست که طی سی سال قبل خود بی‌نظیر بود و بطور فراگیر کل کشور را تحت‌الشعاع خود قرار داد. استمرار این واقعه و کاهش بارندگی در مواردی به بیش از ۵۰ درصد و افزایش دمای متوسط سالیانه تا حدود ۴ درجه سانتی‌گراد، بخشی از ویژگی‌های این واقعه بود. همچنین، ذخیره آب تعدادی از سدهای مهم کشور از جمله کرج، لتیان، لار، جیرفت، استقلال، سفیدرود، زاینده‌رود و درودزن تا حدود ۵۰ درصد و در برخی حوضه‌ها نظیر هرمزگان، کرمان، سیستان و بلوچستان و خراسان حدود ۸۰ درصد کاهش یافته بود. در گزارشی نیز که مربوط به سازمان خواروبار جهانی است، خسارت این دوره تنها در بخش دام وکشاورزی و برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ به‌ترتیب ۲/۵ و ۲/۱ میلیارد دلار بوده است (۷).

بیش از ۱۵۰ تعریف راجع به خشکسالی وجود دارد که یکی از کامل‌ترین تعریف‌ها توسط پالمر در سال ۱۹۶۵ ارائه شد. پالمر خشکسالی را بصورت کمبود رطوبت مستمر و غیر طبیعی تعریف کرد. منظور از مستمر، زمان آغاز تا پایان خشکسالی یا زمان تداوم و منظور از واژه غیر طبیعی، انحراف یا نوسان منفی نسبت به شرایط طبیعی است (۸).

اشنایدر در سال ۱۹۹۶ خشکسالی را بصورت یک دوره گسترده از کمبود بارندگی نسبت به میانگین آماری چند ساله برای یک منطقه معرفی کرد (۱۳). از نظر ونلن و تالکسن در سال ۲۰۰۴ خشکسالی عبارت است از یک رویداد شدید منطقه‌ای و پایدار، که طی آن دسترسی به منابع آب زیر شرایط متوسط قرار دارد (۱۷). وایت بیان می‌کند که خشکسالی یک پدیده طبیعی است که بسیار پیچیده به نظر می رسد اما کمترین درک را از آن نسبت به کلیه مخاطرات طبیعی را دارا هستیم (۱۶).

تأثیر خشکسالی بر بخش‌های مختلف بطور یکسان نیست. در شرایطی که منطقه‌ای با کاهش محسوس بارندگی مواجه شده باشد، این امکان وجود دارد که تأثیر آن بر منابع آب هنوز ملموس نشده و یا کاهش منابع آب سطحی تأثیری بر تولیدات کشاورزی نداشته باشد. این وضعیت سبب می‌شود که هر بخش تعریف خاص خود را از خشکسالی داشته باشد. وایت (۱۶) بیش از ۱۵۰ مورد تعریف خشکسالی را مورد تحلیل قرار داد و سپس این تعاریف را بطور کلی تحت چهار دسته طبقه‌بندی کرد: خشکسالی هواشناسی یا اقلیمی، خشکسالی هیدرولوژیک خشکسالی کشاورزی یا زراعی و خشکسالی اقتصادی- اجتماعی.

براساس انواع خشکسالی، شاخص‌های مختلف خشکسالی تعریف شده که تعداد این شاخص‌ها بیش از ۲۰۰ شاخص است. سازمان هواشناسی جهانی (WMO) در سال ۱۹۹۲ شاخص خشکسالی را به صورت شاخص مربوط به بعضی اثرات تجمعی طولانی‌مدت و غیرطبیعی کاهش رطوبت تعریف کرد. شاخص‌های متعددی وجود دارد که گویای وضعیت خشکسالی هستند، هر چند که هیچکدام به‌طور ذاتی نسبت به دیگری برتری ندارند ولی بعضی از آنها در شرایطی بهتر عمل می‌کنند (۱). شاخص‌های خشکسالی شامل شاخص‌های هواشناسی، هیدرولوژیک و کشاورزی هستند. مهمترین شاخص خشکسالی هواشناسی، شاخص SPI است که در سال ۱۹۹۳ توسط مککی و همکاران ارائه شد (۶). مهمترین شاخص خشکسالی هیدرولوژیک، شاخص SWSI است که در سال ۱۹۸۲ توسط شافر و دزمان ارائه شد (۱۴) و اصلی‌ترین شاخص خشکسالی کشاورزی، شاخص PDSI است که توسط پالمر در سال ۱۹۶۵ معرفی شد (۸). علاوه بر شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیک و کشاورزی، شاخص‌های ترکیبی، جامع و سنجش از راه دور نیز توسط پژوهشگران در سال‌های اخیر معرفی شده‌اند.

شاخص‌های یکپارچه معرفی شده به‌منظور ارزیابی شدت خشکسالی عبارتند از: اسمیت و میدمنت سیستم اطلاعات یکپارچه خشکسالی در آمریکا را معرفی کردند که این سیستم با یکپارچه‌سازی اطلاعات مربوط به خشکسالی‌های مختلف قادر به ایجاد یک تصویر کامل از خشکسالی است. سیستم اطلاعات یکپارچه توانایی ترکیب کردن داده‌ها از منابع متعدد را دارد و به علت پیچیدگی منابع خشکسالی، داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی برای پایش جامع خشکسالی ترکیب شوند. این سیستم شامل ترکیبی از چهار مؤلفه است: آموزش خشکسالی، پیوندخوردن به منابع خشکسالی، اطلاعات ارتفاعی منابع آبی، سیستم اطلاعاتی خشکسالی جغرافیایی. در بین این چهار مؤلفه سیستم اطلاعات جغرافیایی بیشترین پیچیدگی را دارد. این سیستم از دو گروه لایه اطلاعاتی استاتیکی و دینامیکی تشکیل شده است (۱۵). کارآموز و همکاران (۵) سه شاخص SPI، PDSI و SWSI را به‌ترتیب به‌عنوان شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی، از طریق تحلیل خسارات خشکسالی بعنوان یک رویکرد جدید برای کمّی‌کردن میزان اثرات خشکسالی، در حوضه آبریز زاینده‌رود ترکیب کردند. برای کمّی‌کردن اثرات خشکسالی خسارات خشکسالی انتخاب شده است، چون در واقع نتیجه تمامی جنبه‌های هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی، خشکسالی است. شاخص ترکیبی خشکسالی از خسارات مربوط به وقایع خشکسالی در دوره‌های قبلی استفاده می‌کند. پاندی و همکاران (۹) شاخص آسیب‌پذیری خشکسالی که شامل ۷ پارامتر بود را ارائه کردند. این پارامترها شامل شیب حوضه، کاربری اراضی، نوع خاک، آب زیرزمینی دردسترس، آب سطحی دردسترس، نیاز/مصرف آب و انحراف بارش هستند. در ادامه نقشه‌های مکانی و زمانی از حوضه مورد مطالعه را ارائه کردند. برای تولید یک نقشه آسیب‌پذیری یکپارچه خشکسالی، لایه‌های مختلف که نشان‌دهنده نقشه‌های مختلف از عوامل متفاوت است بااستفاده از نرم افزار GIS تهیه می‌شوند. نقشه‌های مکانی نشان‌دهنده جغرافیای حوضه آبریز، دسترسی آب سطحی، دسترسی آب زیرزمینی، نوع خاک، کاربری اراضی، تقاضا در واحد سطح بر روی یک سیستم شبکه‌ای ۱۰۰ در ۱۰۰ متر،

هستند. اطلاعات مکانی برروی نقشه‌های فوق به کلاس‌های متفاوتی براساس درجه اهمیت در آسیب‌پذیری خشکسالی، طبقه‌بندی شده است. پاندی و همکاران (۱۰) یک روش ژئوانفورماتیک مکانی برای ارزیابی خطرات خشکسالی کشاورزی، هواشناسی و هیدرولوژیکی در منطقه پالامو ارائه کردند. در این مطالعه فرض شده است که عوامل کلیدی آب و هوایی، بیوفیزیکی و اجتماعی که خطر خشکسالی کشاورزی را مشخص می‌کنند، عبارتند از خاک، ژئومورفولوژی، تراکم زهکشی، کاربری اراضی و توپوگرافی، درحالی‌که برای خطر خشکسالی هواشناسی این عوامل شامل بارش و ضریب تغییرات بارش و برای خشکسالی هیدرولوژیکی این عوامل شامل سنگ‌شناسی، عمق آب زیرزمینی، بازده آبخوان و منابع آب سطحی است. صفوی و همکاران (۱۱) یک شاخص یکپارچه در برگیرنده عوامل اصلی خشکسالی را ارائه کردند، که به دلیل موقعیت حساس حوضه آبریز زاینده رود در فلات مرکزی ایران، این حوضه به‌عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شد. شاخص یکپارچه دربرگیرنده عوامل مختلف خشکسالی مانند هواشناسی، هیدرولوژیک، کشاورزی، اجتماعی- اقتصادی و زیست‌محیطی است. در طراحی شاخص یکپارچه از تلفیق لایه‌های استاتیکی و دینامیکی استفاده شده است. لایه‌های استاتیکی شامل کاربری زمین، شیب و جنس خاک حوضه و لایه‌های دینامیکی شامل بارش، تبخیر، دما، ذخیره آب سطحی، موقعیت سطح آب زیرزمینی و نیاز زیست‌محیطی هستند. هر یک از لایه‌های استاتیکی و دینامیکی به‌عنوان یک لایه و با ضریب به خصوص وارد نرم افزار GIS می‌شود و درنهایت با وزن‌دهی به لایه‌های استاتیکی و دینامیکی، میزان شدت خشکسالی در طول سال‌های مختلف و نیز در بخش‌های مختلف حوضه تعیین گردید. این شاخص یکپارچه براساس خشکسالی‌های به وقوع پیوسته در حوضه آبریز زاینده‌رود صحت‌سنجی شد. به‌عنوان نتیجه‌ای از این شاخص سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ به‌عنوان سال ترسالی و سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ به‌عنوان بحرانی‌ترین سال از لحاظ خشکسالی انتخاب شد.

همانطور که بیان شد، شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری خشکسالی و همچنین تخمین شدت، مدت و طول دوره خشکسالی وجود دارد. این شاخص‌ها می‌توانند از نوع شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی و ... باشند. هدف از این پژوهش ارائه شاخصی است که دربرگیرنده کلیه عوامل شامل هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی و همچنین عواملی مانند زیست‌محیطی و اقتصادی- اجتماعی باشد. بطور کلی ارزیابی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخصی که در بر گیرنده کلیه عوامل یاد شده باشد می‌تواند در پیشبرد اهداف مدیریت خشکسالی و همچنین پایش خشکسالی با استفاده از این شاخص ترکیبی یا یکپارچه مفید واقع شود. شاخصی که در این پژوهش مد نظر است دارای عوامل و در واقع معرف‌های هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی، زیست محیطی و اقتصادی- اجتماعی است.

از تنگناهای مهم توسعه در استان اصفهان کمبود آب و اقلیم خشک و نیمه‌خشک بوده که طی دوره‌های متوالی منجر به تشدید پدیده‌ی خشکسالی در اکثر مناطق بویژه حوضه‌ی زاینده‌رود شده است. بررسی آمار و روند خشکسالی‌ها در استان نشان می‌دهد اقلیم منطقه به سوی خشکی بیشتر پیش رفته و با توجه به پیش‌بینی ادامه‌ی خشکسالی در جهان و ایران در سال‌های پیش رو که از اثرات جانبی گرمایش زمین و تغییرات سیستم‌های رطوبتی است، ضرورت برنامه‌ریزی کلان با توجه به شرایط اقلیمی جدید به‌منظور مواجهه با شرایط بحرانی از اولویت‌های اصلی است (۱۷). به همین منظور این استان به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است.

منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان در مرکز ایران با مساحت خاکی حدود ۱۰۷۰۲۹ کیلومتر مربع، میان کوه‌های مرکزی ایران و دامنه‌های زاگرس، در ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی قرار گرفته

است و از شمال به استان‌های سمنان، قم و مرکزی، از جنوب به استان فارس، از مشرق به استان یزد و از مغرب به استان‌های لرستان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویر احمد محدود است. در شکل ۱ موقعیت استان اصفهان در کشور ایران نمایش داده شده است. در شکل ۲ موقعیت شهرستان‌های استان و همچنین در شکل ۳ موقعیت آبخوان‌ها یا دشت‌های استان اصفهان به تفکیک نشان داده شده است.

استان اصفهان به دلیل گستردگی زیاد دارای ناهمواری‌های متفاوتی است. در غرب استان رشته کوه‌های زاگرس با جهت شمال غربی- جنوب شرقی از شمال گلپایگان تا سمیرم کشیده شده و منطقه کوهستانی گلپایگان، خوانسار و فریدن را در بر می‌گیرد، که شامل رشته کوه‌های دالان‌کوه و دره‌بید با ارتفاعات ۳۹۱۵ و ۳۶۳۱ متر و به دنبال ارتفاعات زردکوه بختیاری به نام شاهان کوه با ارتفاع ۳۰۴۰ متر قرار دارد. براساس آخرین آمار دریافت شده از معاونت برنامه‌ریزی استانداری اصفهان در سال ۸۹ استان اصفهان دارای ۲۳ شهرستان، ۱۰۱ شهر، ۴۵ بخش و ۱۲۴ دهستان است. شکل استان از لحاظ گسترش در امتداد طول و عرض جغرافیایی به گونه‌ای است که میانگین طول آن ۵۳۲/۵ کیلومتر و عرض استان برابر با ۴۰۵ کیلومتر است.

مواد و روش‌ها

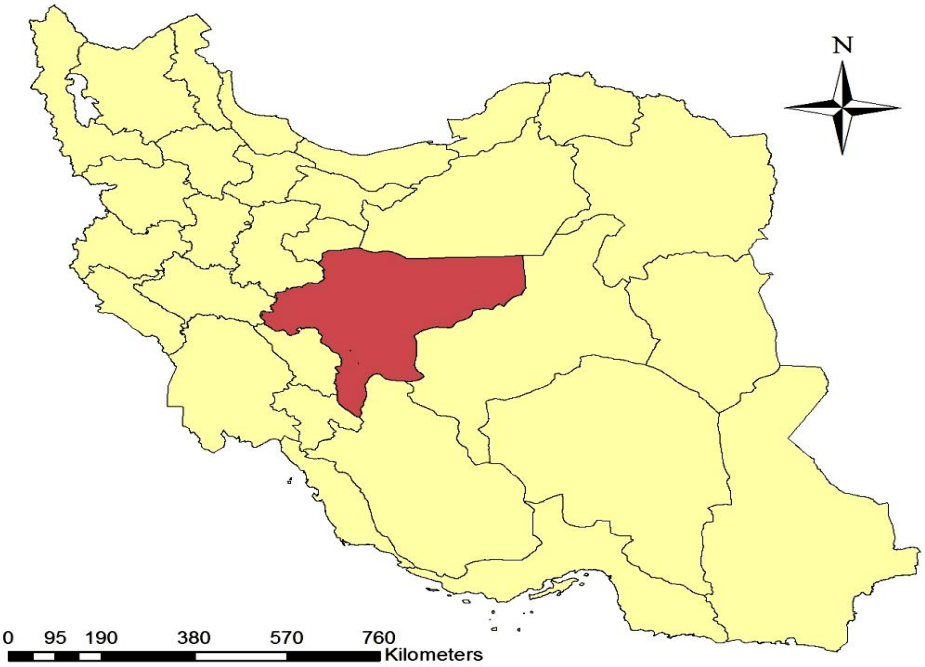
ساختار شاخص یکپارچه خشکسالی در استان

شاخص یکپارچه خشکسالی در استان از تلفیق دو دسته داده‌های استاتیکی و دینامیکی بدست می‌آید. داده‌های استاتیکی شامل داده‌هایی هستند که در طول زمان تغییر محسوسی ندارند ولی در مقیاس مکانی متغیر هستند. داده‌های دینامیکی شامل داده‌هایی هستند که می‌توانند در هر دو مقیاس زمانی و مکانی متغیر باشند. بازه تغییرات داده‌های دینامیکی از سال ۸۳-۱۳۸۲ یا سال آبی ۱۳۸۳ تا سال ۹۴-۱۳۹۳ یا سال آبی ۱۳۹۴ است. داده‌های استاتیکی شامل لایه‌های کاربری اراضی، شیب زمین و بافت خاک هستند. داده‌های دینامیکی شامل لایه‌های بارش، دمای میانگین، آب سطحی دردسترس، آب زیرزمینی دردسترس، کیفیت آب زیرزمینی و سطح زیرکشت است.

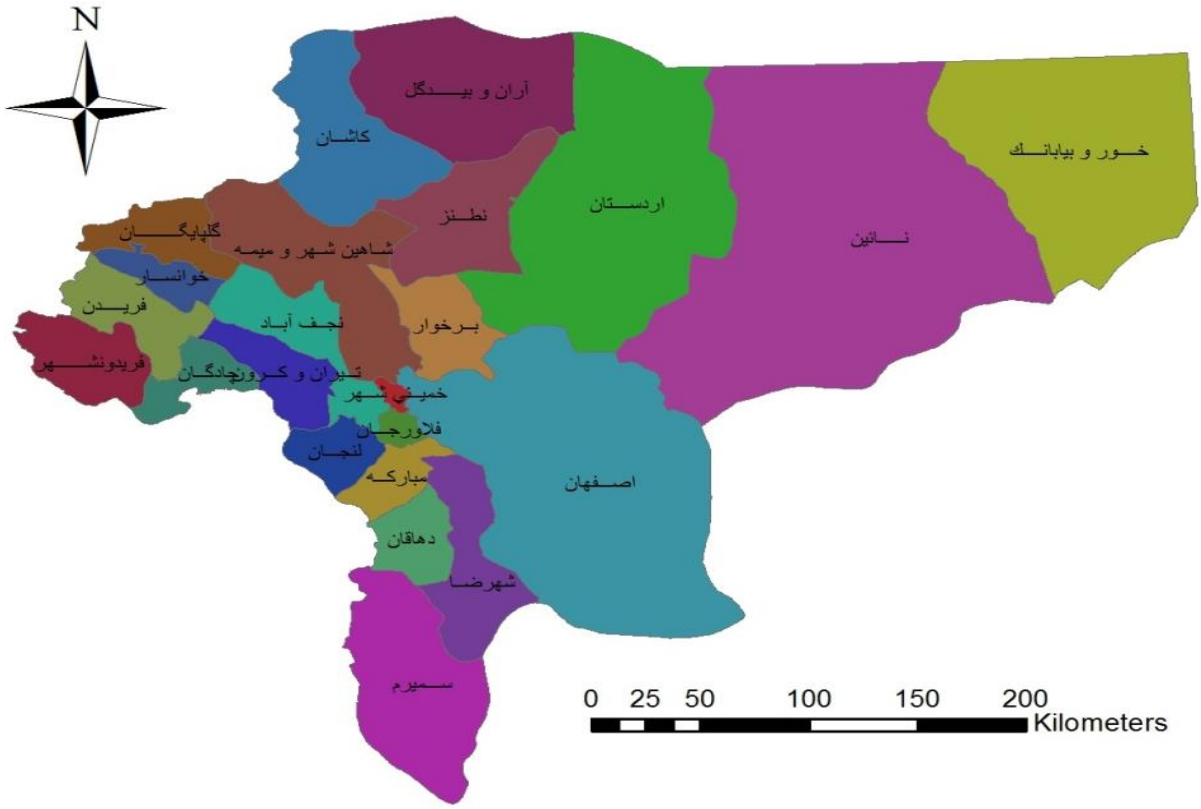
خشکسالی‌های به‌وقوع پیوسته دارای انواع خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیک، کشاورزی، زیست‌محیطی و اقتصادی- اجتماعی است. می‌توان گفت که هر کدام از لایه‌های استاتیکی و دینامیکی در شاخص یکپارچه فوق نمایانگر یکی از انواع خشکسالی‌ها باشد. لایه‌های بارش و دمای میانگین در گروه خشکسالی‌های هواشناسی هستند. لایه‌های آب سطحی دردسترس و آب زیرزمینی در دسترس در گروه خشکسالی‌های هیدرولوژیک طبقه‌بندی می‌شوند. شیب زمین و بافت خاک حوضه در دسته خشکسالی‌های کشاورزی هستند. کاربری اراضی در گروه خشکسالی‌های اقتصادی- اجتماعی و همچنین کیفیت آب زیرزمینی در دسته خشکسالی‌های زیست‌محیطی است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در درون شاخص یکپارچه خشکسالی، انواع خشکسالی‌های هواشناسی، هیدرولوژیک، کشاورزی، اقتصادی اجتماعی و زیست‌محیطی موجود است. در ادامه توضیحاتی در مورد آماده‌سازی هر یک از این لایه‌ها ارائه شده است.

روش وزن‌دهی شاخص یکپارچه خشکسالی

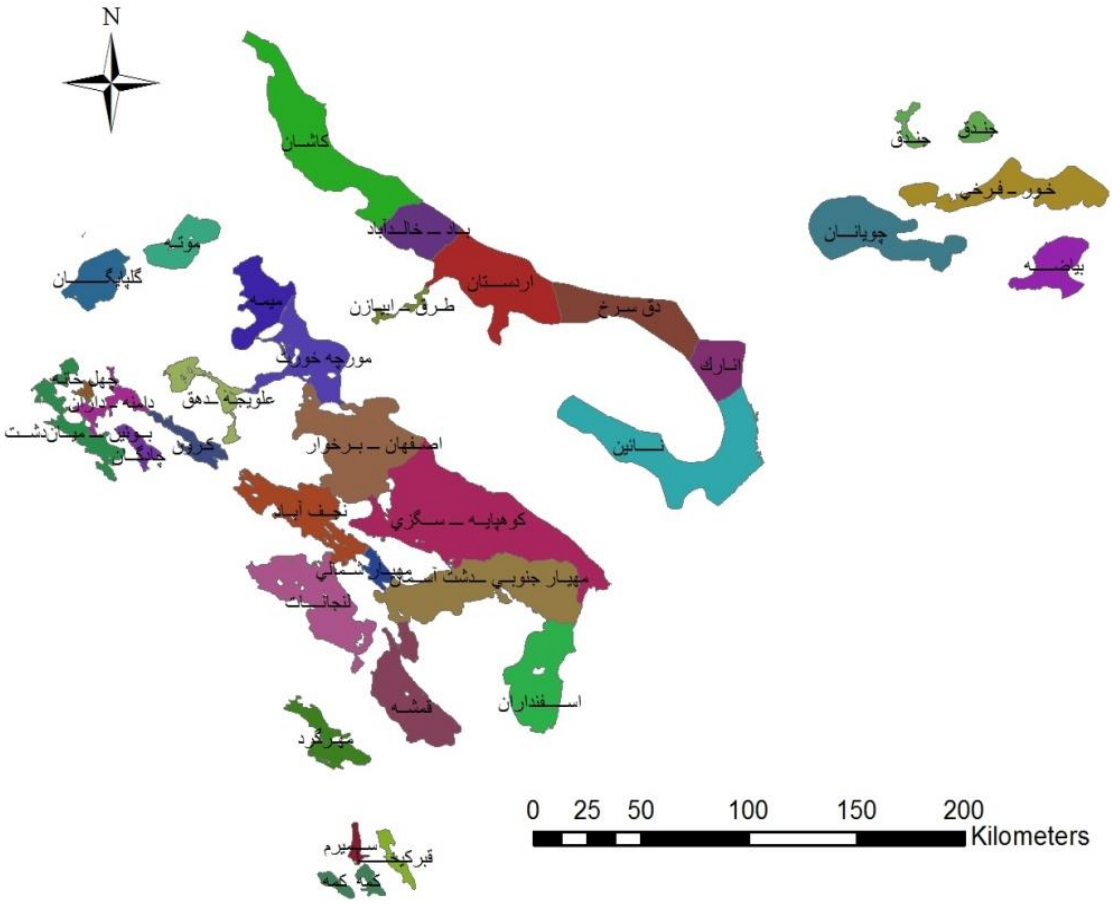
در قسمت‌های قبلی بیان شد که شاخص یکپارچه خشکسالی ترکیبی از داده‌ها یا لایه‌های استاتیکی و دینامیکی است. عوامل فیزیوگرافیکی یا استاتیکی که در این مطالعه درنظر گرفته شده عبارتند از: کاربری اراضی، شیب زمین و بافت خاک. عوامل دینامیکی یا متغیر در مکان و زمان در نظر گرفته شده در این مطالعه عبارتند از: لایه‌های بارش، دمای میانگین، آب سطحی دردسترس، آب زیرزمینی دردسترس، کیفیت آب زیرزمینی و سطح زیرکشت. هریک از فاکتورهای فوق به زیرکلاس‌های مختلف به‌منظور تشخیص درجه آنها از حساسیت به خشکسالی و کمبود آب تقسیم شده است. طرح



شکل ۱. موقعیت استان اصفهان در کشور (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۲. موقعیت شهرستان‌های استان اصفهان (رنگی در نسخه الکترونیکی)



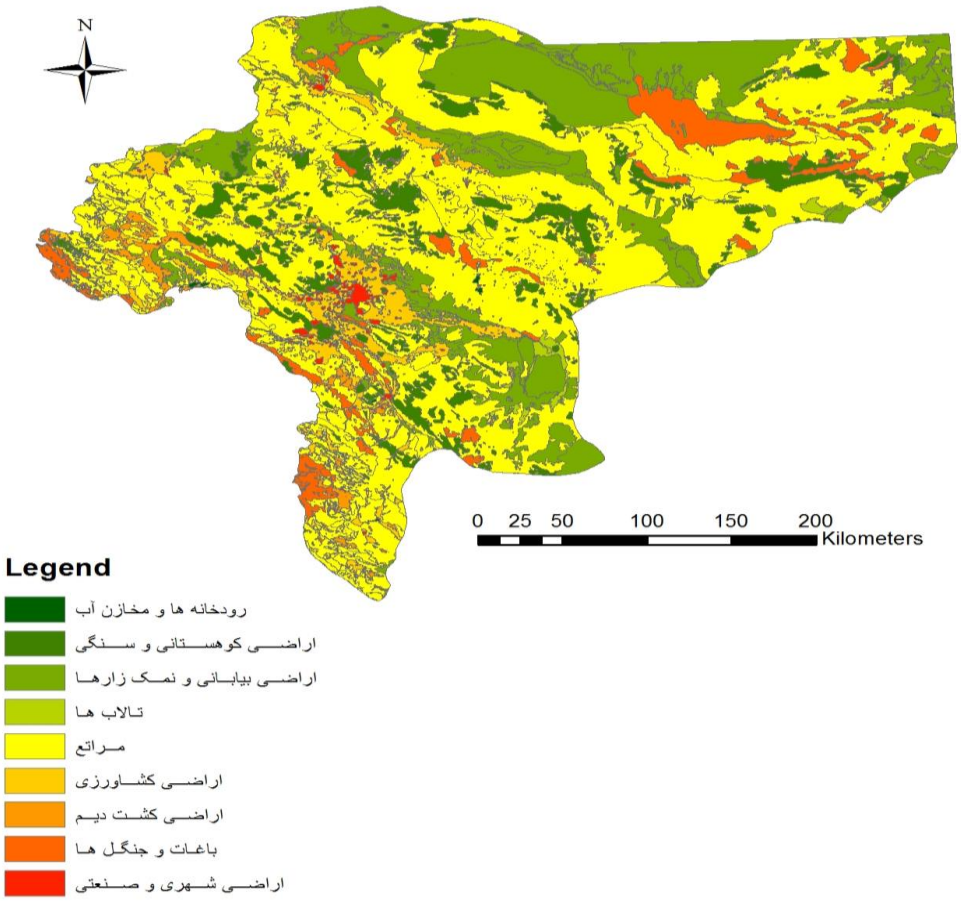
شکل ۳. موقعیت آبخوان‌های استان اصفهان (رنگی در نسخه الکترونیکی)

وزنی عددی برای ارزیابی آسیب‌پذیری خشکسالی پیشنهاد می‌کند. هر زیرکلاس از عوامل آسیب‌پذیر با یک وزن عددی بین ۰ تا ۱۰ مشخص شده است. مقدار وزنی به رابطه زیرکلاس‌های معین در تشدید ذخایر نسبی آب و آسیب‌پذیری خشکسالی، بستگی دارد. مقدار وزنی ۰ نشان‌دهنده این است که زیرکلاس یک عامل معین کمترین آسیب‌پذیری را به خشکسالی دارد. مقدار وزنی ۱۰ نشان‌دهنده این است که زیرکلاس بیشترین آسیب‌پذیری خشکسالی را دارد. به عبارت دیگر وزن بیشتر برای تشخیص کلاس آسیب‌پذیرتر به‌کار می‌رود. در ادامه ۹ لایه درنظر گرفته شده برای استان اصفهان توضیح داده می‌شود.

کاربری اراضی: این لایه یکی از لایه‌های استاتیکی است و در سطح استان اصفهان کاربری‌های متفاوتی مانند شهری، کشاورزی، باغ‌ها، زمین‌های بایر و غیره وجود دارند. در شکل ۴ تصویر این لایه در استان نمایش داده شده است.

با توجه به اینکه نیاز مناطق مسکونی و زمین های کشاورزی و باغ‌ها به آب بیشتر است، بنابراین این مناطق دارای آسیب‌پذیری بیشتر به خشکسالی هستند و دارای رتبه یا عدد زیرکلاس بیشتری هستند. درمقابل این مناطق زمین بایر و نمک‌زارها و سطوح آبی آسیب‌پذیری کمتری به خشکسالی داشته و با رتبه کمتری نمایش داده می‌شوند. رتبه بندی این لایه بین ۲ تا ۱۰ براساس آسیب‌پذیری زیرکلاس‌ها است. در جدول ۱ زیرکلاس‌های لایه کاربری اراضی و رتبه هرکدام نمایش داده شده است.

بافت خاک: این لایه نیز جزو لایه‌های استاتیکی است. با توجه به نقشه خاک استان، شش بافت خاک در حوضه وجود



شکل ۴. لایه کاربری اراضی در استان اصفهان (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۱. رتبه بندی زیرکلاس‌های لایه کاربری اراضی

زیر کلاس‌ها	رتبه
اراضی شهری و صنعتی	۱۰
باغات و جنگل‌ها	۹
اراضی کشت دیم	۸
اراضی کشاورزی	۷
مراتع	۶
تالاب‌ها	۵
اراضی بیابانی و نمک‌زارها	۴
اراضی کوهستانی و سنگی	۳
رودخانه‌ها و مخازن آب	۲

دارد. این شش نوع بافت عبارتند از: خیلی سنگین، سنگین و خیلی سنگین، سنگین، سنگین و متوسط، متوسط و متوسط وسبک. در شکل ۵ نقشه خاک استان نشان داده شده است.

جنس خاک در اراضی استان اصفهان به شش نوع تقسیم‌بندی می‌شود. برای رتبه بندی زیرکلاس‌های جنس خاک باید به این نکته توجه داشت که هرچه خاک سبکتر باشد این خاک برای مصارف کشاورزی مناسب‌تر است برای خاک‌های سبک آسیب‌پذیری آن به خشکسالی بیشتر است و هرچه خاک سنگین‌تر شود آسیب‌پذیری خشکسالی کمتر می‌شود. رتبه‌بندی این لایه بین ۱ تا ۱۰ براساس آسیب‌پذیری زیرکلاس‌ها است. در جدول ۲ زیرکلاس‌های لایه جنس خاک و رتبه هرکدام نمایش داده شده است.

شیب زمین: این لایه که جزو لایه‌های استاتیکی است، با استفاده از DEM90 حوضه آبریز زاینده‌رود در نرم افزار ArcGIS بدست می‌آید. با واردکردن نقشه DEM90 نقشه شیب حوضه بدست می‌آید که در شکل ۶ این نقشه بر حسب درصد نشان داده شده است.

لایه شیب زمین در استان در شکل ۶ نمایش داده شد. جغرافیای استان به سه زیر کلاس تقسیم بندی می‌شود. مناطق بالای حوضه، مناطق وسط حوضه و مناطق پست حوضه. بازه‌های بالا، وسط و پایین حوضه با توجه به ویژگی‌های توپوگرافی (بعنوان مثال شیب متوسط)، درجه آبراهه و ویژگی‌های جریان مشخص شده است. مناطق بالادست حوضه اشاره به توپوگرافی کوهستانی و موجدار با شیب متوسط بیشتر از ۶ درصد و درجه آبراهه ۱ و ۲ دارای ویژگی‌های جریان بی‌دوام هستند. مناطق وسط حوضه دربرگیرنده مناطقی با شیب متوسط ۲ تا ۶ درصد و درجه آبراهه ۳ و ۴ دارای ویژگی‌های جریان بدون دوام به صورت متناوب است. مناطق پایین‌دست حوضه به‌عنوان مناطقی از زمین با شیب متوسط کمتر از ۲ درصد و درجه آبراهه بیشتر از ۴ دارای ویژگی‌های جریان متناوب و همیشگی است. همچنین، مناطق پایین‌دست حوضه اغلب زمان بیشتری را برای حفظ آب نسبت به قسمت‌های بالایی و میانی حوضه دارد. بنابراین، مناطق بالادست حوضه بیشتر از مناطق میانی و پایین دست حوضه در معرض خطر قرار دارد. بنابراین، هرچه به سمت مناطق پایین‌دست حوضه نزدیک می‌شویم، آسیب‌پذیری خشکسالی بیشتر می‌شود. رتبه‌بندی این لایه بین ۱ تا ۱۰ براساس آسیب‌پذیری زیرکلاس‌ها است. در جدول ۳ زیرکلاس‌های لایه شیب زمین و رتبه هرکدام نمایش داده شده است.

بارندگی: لایه بارندگی، یکی از لایه‌های دینامیکی در طراحی شاخص یکپارچه خشکسالی است. بازه داده‌های بارندگی از سال آبی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۴ است. در شکل‌های ۷ و ۸ منحنی هم‌باران استان اصفهان در سال‌های آبی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۴ ارائه شده است.

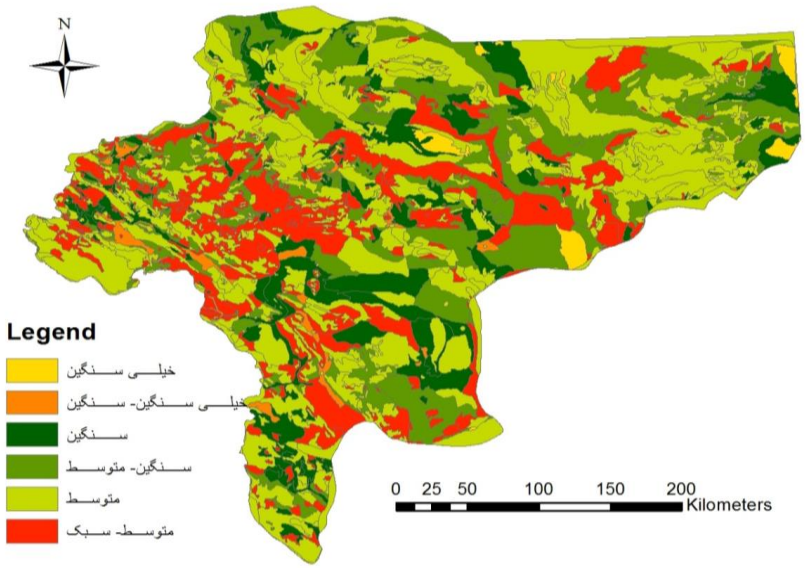
هرچه بارندگی کمتر شود، آسیب‌پذیری خشکسالی بیشتر می‌شود. رتبه‌بندی این شاخص براساس درصد انحراف میزان بارش از متوسط طولانی مدت بارش از سال آبی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۴ است. هرچه این درصد منفی بیشتر شود آسیب‌پذیری خشکسالی هم بیشتر می‌شود. بر طبق رابطه ۱ می‌توان درصد انحراف از متوسط بارش را بدست آورد.

$$R = \frac{X - \bar{X}}{\bar{X}} \times 100 \qquad (۱)$$

که در این رابطه X برابر با مقدار متوسط بارش در یک سال آبی مورد نظر برای هرکدام از شهرستان‌ها، $\bar{X}$ برابر با میانگین مقادیر متوسط بارش در سال‌های آبی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۴ برای هرکدام از شهرستان‌ها است و R درصد انحراف بارش در هر سال آبی از مقدار متوسط بلندمدت بارش است. در جدول ۴ زیرکلاس‌های لایه بارش و رتبه هرکدام نمایش داده شده است.

دمای میانگین: لایه دمای میانگین، یکی از لایه‌های دینامیکی در طراحی شاخص یکپارچه خشکسالی است. بازه داده‌های دمای میانگین از سال آبی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۴ است. در شکل‌های ۹ و ۱۰ منحنی هم‌دما استان اصفهان در سال‌های آبی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۴ ارائه شده است.

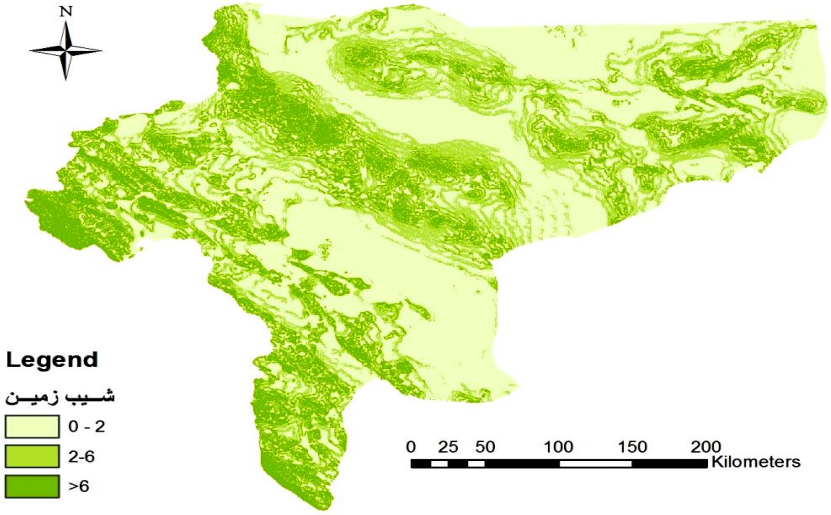
هرچه میزان دمای میانگین بیشتر می‌شود، آسیب‌پذیری



شکل ۵. لایه جنس خاک در حوضه آبریز زاینده‌رود (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۲. رتبه‌بندی زیر کلاس‌های لایه جنس خاک

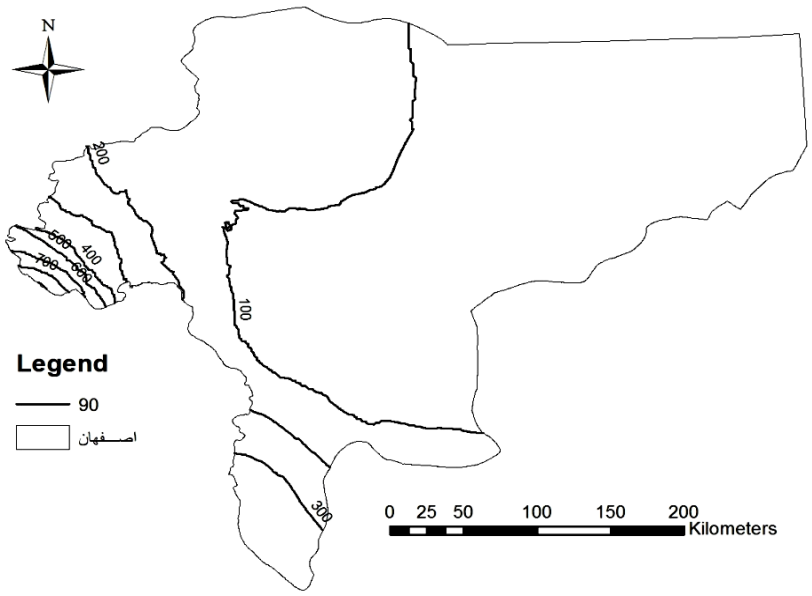
زیر کلاس‌ها	رتبه
ترکیب خاک سبک و متوسط (Light–Moderate)	۱۰
خاک متوسط (Moderate)	۸
ترکیب خاک متوسط و سنگین (Moderate–Heavy)	۶
خاک سنگین (Heavy)	۴
ترکیب خاک سنگین و خیلی سنگین (Heavy-Very Heavy)	۲
خاک خیلی سنگین (Very Heavy)	۱



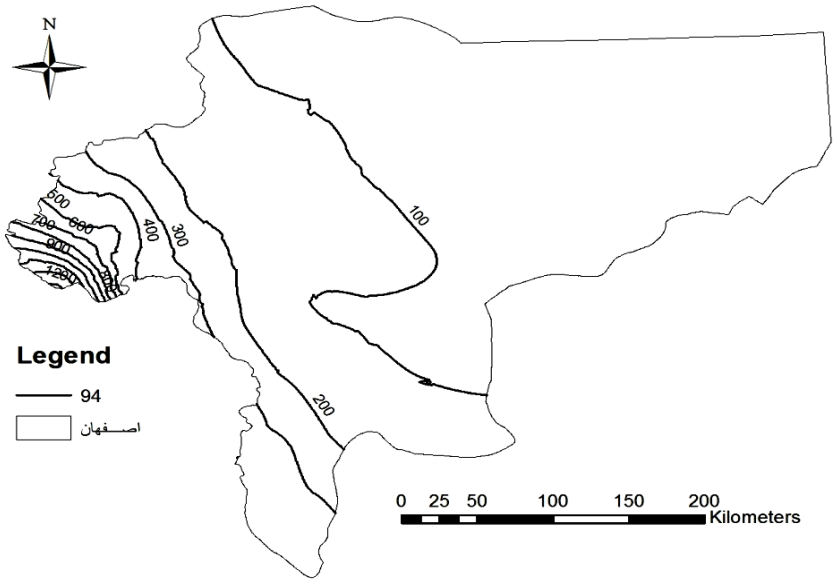
شکل ۶. لایه تقسیم‌بندی شیب زمین در استان اصفهان برحسب درصد (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۳. رتبه بندی زیر کلاس‌های لایه شیب زمین

زیر کلاس‌ها	رتبه
شیب بیشر از ۶ درصد	۱۰
شیب بین ۲ تا ۶ درصد	۵
شیب کمتر از ۲ درصد	۱



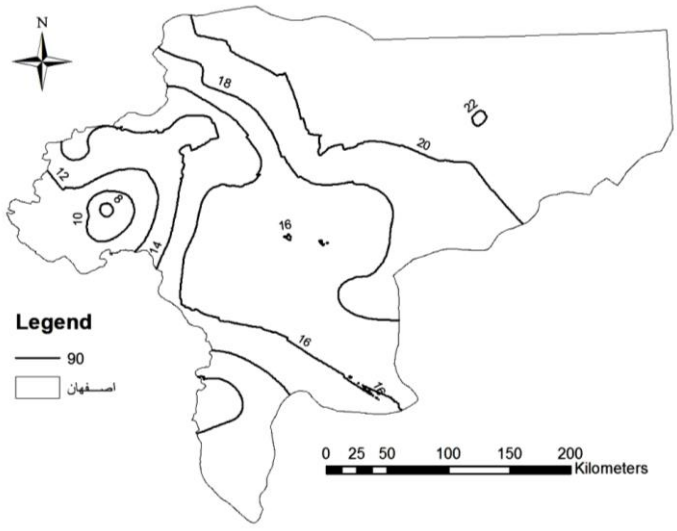
شکل ۷. نقشه هم‌باران استان در سال آبی ۱۳۹۰ (میلی متر)



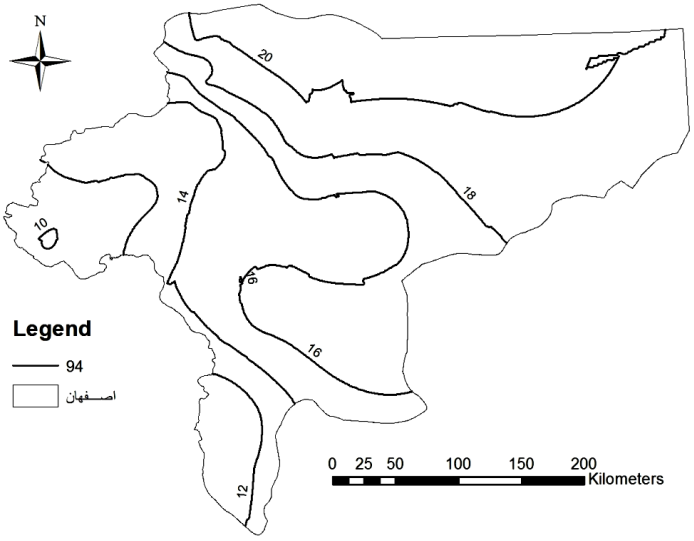
شکل ۸. نقشه هم‌باران استان در سال آبی ۱۳۹۴ (میلی متر)

جدول ۴. رتبه بندی زیر کلاس‌های لایه بارش

زیر کلاس‌ها (مقادیر R)	رتبه
کمتر از ۱۰- درصد	۰
بین ۱۰- و ۱۵- درصد	۲
بین ۱۵- و ۲۵- درصد	۴
بین ۲۵- و ۳۵- درصد	۶
بین ۳۵- و ۵۰- درصد	۸
بیشتر از ۵۰- درصد	۱۰



شکل ۹. نقشه هم‌دما استان در سال آبی ۱۳۹۰ (سانتی‌گراد)



شکل ۱۰. نقشه هم‌دما استان در سال آبی ۱۳۹۴ (سانتی‌گراد)

خشکسالی بیشتر می‌شود. رتبه‌بندی این شاخص براساس درصد انحراف میزان دمای میانگین از متوسط طولانی‌مدت دمای میانگین براساس بازه بندی شاخص یعنی سال آبی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۴ است. هرچه این درصد مثبت بیشتر شود آسیب‌پذیری خشکسالی هم بیشتر می‌شود. بر طبق رابطه (۱) می‌توان درصد انحراف از متوسط میانگین دما را بدست آورد. در رابطه (۱)، X برابر با مقدار متوسط دمای میانگین در یک سال آبی مورد نظر برای هرکدام از شهرستان‌ها، $\bar{X}$ برابر با میانگین مقادیر متوسط دمای میانگین در سال‌های آبی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۴ برای هرکدام از شهرستان‌ها است و R درصد انحراف دمای میانگین در هر سال آبی از مقدار متوسط بلندمدت دمای میانگین است. در جدول ۵ زیرکلاس‌های لایه دمای میانگین و رتبه هرکدام نمایش داده شده است.

آب سطحی در دسترس: لایه آب سطحی در دسترس، یکی دیگر از لایه‌های دینامیکی در طراحی شاخص یکپارچه خشکسالی است. داده‌های مربوط به آمار روزانه کانال‌های انتقال آب سطحی از شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان دریافت شد. بازه داده‌های موجود از سال آبی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ است. شبکه‌های انتقال آب سطحی شامل شبکه آبشار، مهیار، نکوآباد و رودشتین است. در شکل ۱۱ مقدار حجم آب سطحی موجود در شبکه‌های انتقال آب برحسب میلیون متر مکعب نمایش داده شده است.

این لایه از انواع لایه‌های دینامیکی است. برای هر سال آبی در هر یک از شهرستان‌ها مقدار حجم آب سطحی بدست آمد. مقدار حجم آب سطحی در هریک از شهرستان‌های استان از سال آبی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ با استفاده از درصد مساحت مؤثر هریک از شبکه‌ها در شهرستان‌های استان بدست آورده شد و در شکل ۱۲ نمایش داده شده است.

هرچه میزان حجم آب سطحی دردسترس کمتر باشد، آسیب‌پذیری خشکسالی بیشتر می‌شود. رتبه‌بندی این شاخص براساس درصد انحراف میزان آب سطحی در دسترس از متوسط طولانی مدت آب سطحی دردسترس بر اساس بازه‌بندی شاخص یعنی سال آبی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ است. هرچه این درصد منفی بیشتر شود آسیب‌پذیری خشکسالی هم بیشتر می‌شود. بر طبق رابطه (۱) می‌توان درصد انحراف از متوسط آب سطحی دردسترس را بدست آورد. در رابطه (۱)، X برابر با مقدار متوسط آب سطحی دردسترس در یک سال آبی مورد نظر برای هرکدام از شهرستان‌ها، $\bar{X}$ برابر با میانگین مقادیر متوسط آب سطحی در دسترس در سال‌های آبی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ برای هرکدام از شهرستان‌ها است و R درصد انحراف آب سطحی دردسترس در هر سال آبی از مقدار متوسط بلندمدت آب سطحی در دسترس است. در جدول ۶ زیرکلاس‌های لایه آب سطحی در دسترس و رتبه هرکدام نمایش داده شده است.

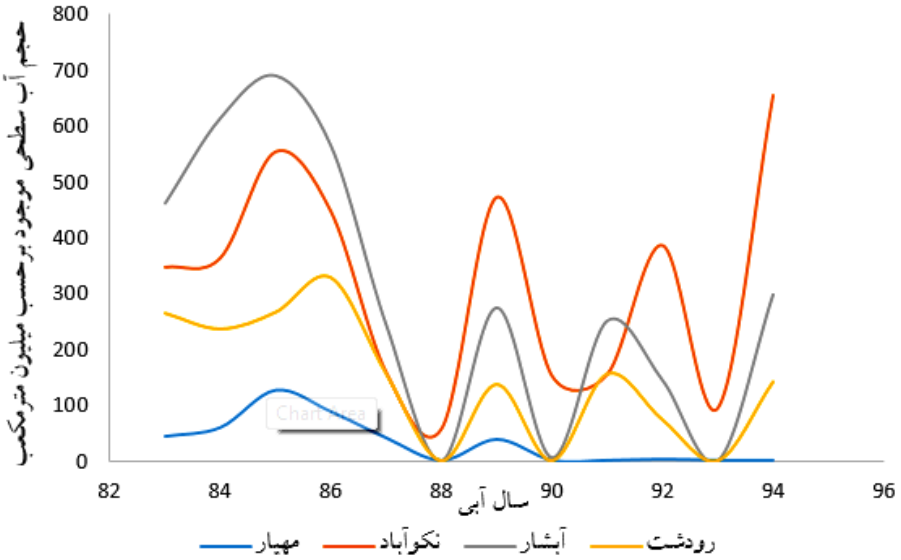
آب زیرزمینی دردسترس: لایه آب زیرزمینی در دسترس، یکی دیگر از لایه‌های دینامیکی در طراحی شاخص یکپارچه خشکسالی است. داده‌های مربوط به کاهش حجم سالانه آب زیرزمینی در هر یک از آبخوان‌های موجود در استان اصفهان از شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان دریافت شد. بازه داده‌های موجود از سال آبی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ است. سپس براساس درصد مساحت موجود هر آبخوان در شهرستان‌های استان، متوسط افت حجم سالانه آب زیرزمینی در شهرستان‌های اردستان، اصفهان، آران و بیدگل، برخوار و تیران و کرون در سال‌های آبی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ در شکل ۱۳ نمایش داده شده است.

هرچه میزان کاهش حجم آب زیرزمینی بیشتر باشد، آسیب‌پذیری خشکسالی بیشتر می‌شود. رتبه‌بندی این شاخص براساس کاهش حجم آب زیرزمینی است. در جدول ۷ زیرکلاس‌های لایه افت حجم آب زیرزمینی و رتبه هرکدام نمایش داده شده است.

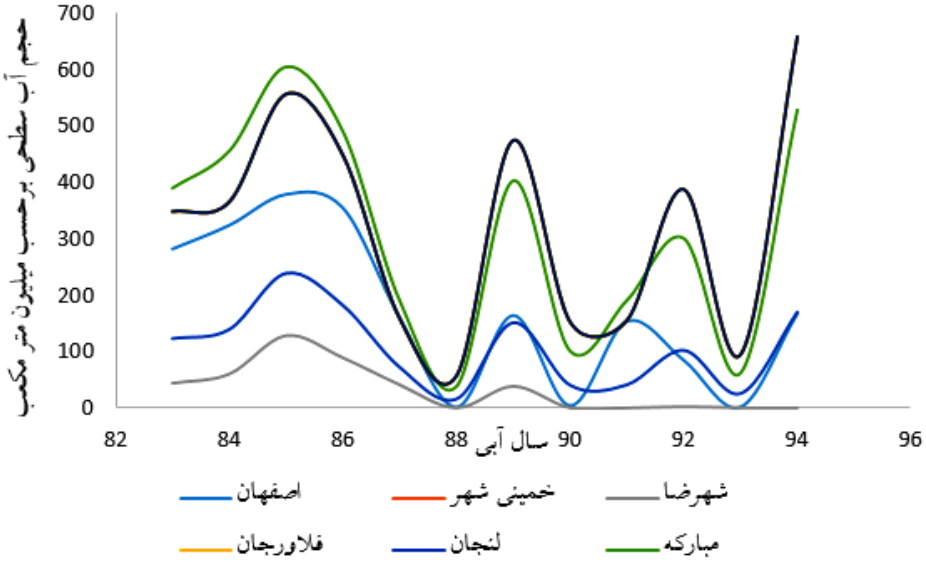
کیفیت آب زیرزمینی: لایه کیفیت آب زیرزمینی، یکی دیگر از لایه‌های دینامیکی در طراحی شاخص یکپارچه خشکسالی است. داده‌های مربوط به پارامتر هدایت الکتریکی آب زیرزمینی (EC) در هر یک از آبخوان‌های موجود در استان اصفهان از شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان دریافت شد. بازه داده‌های موجود از سال آبی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ است. سپس

جدول ۵. رتبه‌بندی زیرکلاس‌های لایه دمای میانگین

زیر کلاس‌ها (مقادیر R)	رتبه
کمتر از ۲ درصد	۰
بین ۲ تا ۴ درصد	۲
بین ۴ تا ۶ درصد	۴
بین ۶ تا ۸ درصد	۶
بین ۸ تا ۱۰ درصد	۸
بیشتر از ۱۰ درصد	۱۰



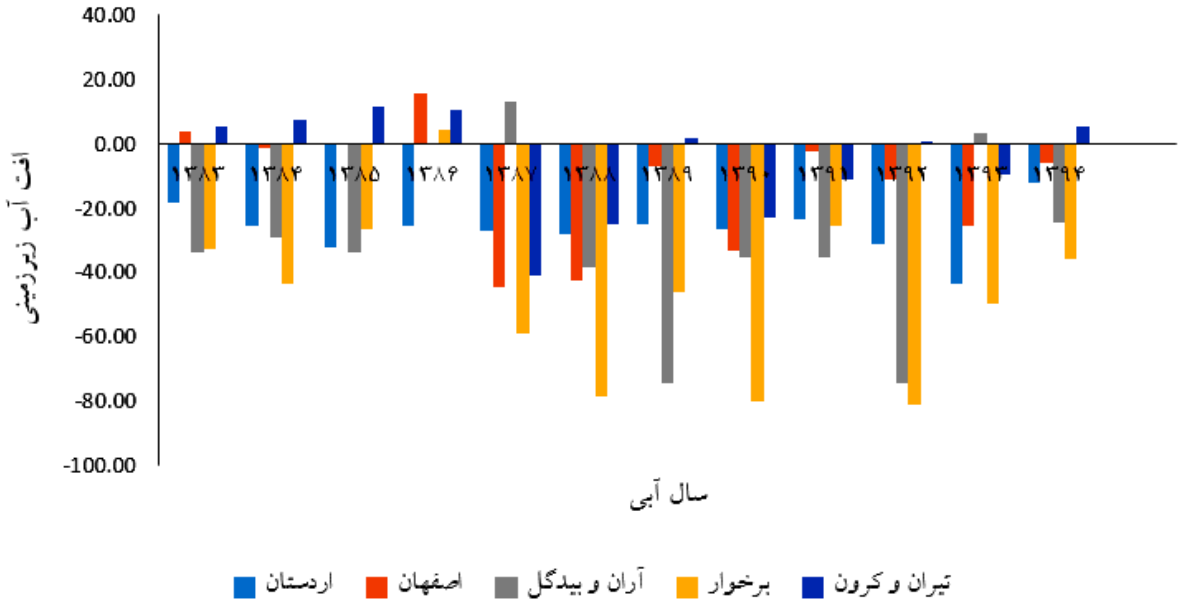
شکل ۱۱. حجم آب سطحی موجود در شبکه‌های انتقال آب برحسب میلیون متر مکعب (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۱۲. حجم آب سطحی شهرستان‌های استان (میلیون مترمکعب) (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۶. رتبه‌بندی زیرکلاس‌های لایه آب سطحی دردسترس

زیر کلاس‌ها (مقادیر R)	رتبه
کمتر از ۲۰- درصد	۰
بین ۲۰- و ۴۰- درصد	۲
بین ۴۰- و ۶۰- درصد	۴
بین ۶۰- و ۸۰- درصد	۶
بین ۸۰- و ۱۰۰- درصد	۸
بیشتر از ۱۰۰- درصد	۱۰



شکل ۱۳. متوسط افت سالانه حجم آب زیرزمینی شهرستان‌های استان (میلیون متر مکعب) (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۷. رتبه‌بندی زیرکلاس‌های لایه آب زیرزمینی در دسترس

زیر کلاس‌ها (مقادیر R)	رتبه
کمتر از ۵ میلیون متر مکعب	۰
بین ۵ و ۱۵ میلیون متر مکعب	۲
بین ۱۵ و ۲۵ میلیون متر مکعب	۴
بین ۲۵ و ۳۵ میلیون متر مکعب	۶
بین ۳۵ و ۴۵ میلیون متر مکعب	۸
بیشتر از ۴۵ میلیون متر مکعب	۱۰

براساس درصد مساحت موجود هر آبخوان در شهرستان‌های استان، متوسط مقدار سالانه EC در هریک از شهرستان‌های استان بدست خواهد آمد.

هرچه میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی بیشتر باشد، آسیب‌پذیری خشکسالی بیشتر می‌شود. رتبه‌بندی این شاخص براساس درصد انحراف میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی از متوسط طولانی مدت هدایت الکتریکی آب زیرزمینی براساس بازه‌بندی شاخص یعنی سال آبی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ است. هرچه این درصد مثبت بیشتر شود آسیب‌پذیری خشکسالی هم بیشتر می‌شود. بر طبق رابطه (۱) می‌توان درصد انحراف از متوسط هدایت الکتریکی آب زیرزمینی را بدست آورد. در رابطه (۱)، X برابر با مقدار متوسط هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در یک سال آبی مورد نظر برای هرکدام از شهرستان‌ها، $\overline{X}$ برابر با میانگین مقادیر متوسط هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در سال‌های آبی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ برای هرکدام از شهرستان‌ها است و R درصد انحراف هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در هر سال آبی از مقدار متوسط بلند مدت هدایت الکتریکی آب زیرزمینی است. در جدول ۸ زیرکلاس‌های لایه کیفیت آب زیرزمینی و رتبه هرکدام نمایش داده شده است.

سطح زیرکشت: لایه سطح زیر کشت، یکی دیگر از لایه‌های دینامیکی در طراحی شاخص یکپارچه خشکسالی است. داده‌های مربوط به سطح زیر کشت در هر یک شهرستان‌های استان اصفهان از سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان دریافت شد. بازه داده‌های موجود از سال آبی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ است. در شکل ۱۴ متوسط سطح زیرکشت سالانه در هریک از شهرستان‌های استان نمایش داده شده است.

هرچه میزان سطوح زیر کشت کمتر باشد، آسیب‌پذیری خشکسالی بیشتر می‌شود. رتبه‌بندی این شاخص براساس درصد انحراف میزان سطوح زیر کشت از متوسط طولانی مدت سطوح زیر کشت براساس بازه‌بندی شاخص یعنی سال آبی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ است. هرچه این درصد منفی بیشتر شود آسیب‌پذیری خشکسالی هم بیشتر می‌شود. بر طبق رابطه (۱) می‌توان درصد انحراف از متوسط سطوح زیر کشت را بدست آورد. در رابطه (۱)، X برابر با مقدار متوسط سطوح زیر کشت در یک سال آبی مورد نظر برای هرکدام از شهرستان‌ها، $\overline{X}$ برابر با میانگین مقادیر متوسط سطوح زیر کشت در سال‌های آبی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ برای هرکدام از شهرستان‌ها است و R درصد انحراف سطوح زیر کشت در هر سال آبی از مقدار متوسط بلندمدت سطوح زیر کشت است. در جدول ۹ زیرکلاس‌های لایه سطوح زیر کشت و رتبه هرکدام نمایش داده شده است.

تعیین آستانه‌ها یا محرک‌های خشکسالی

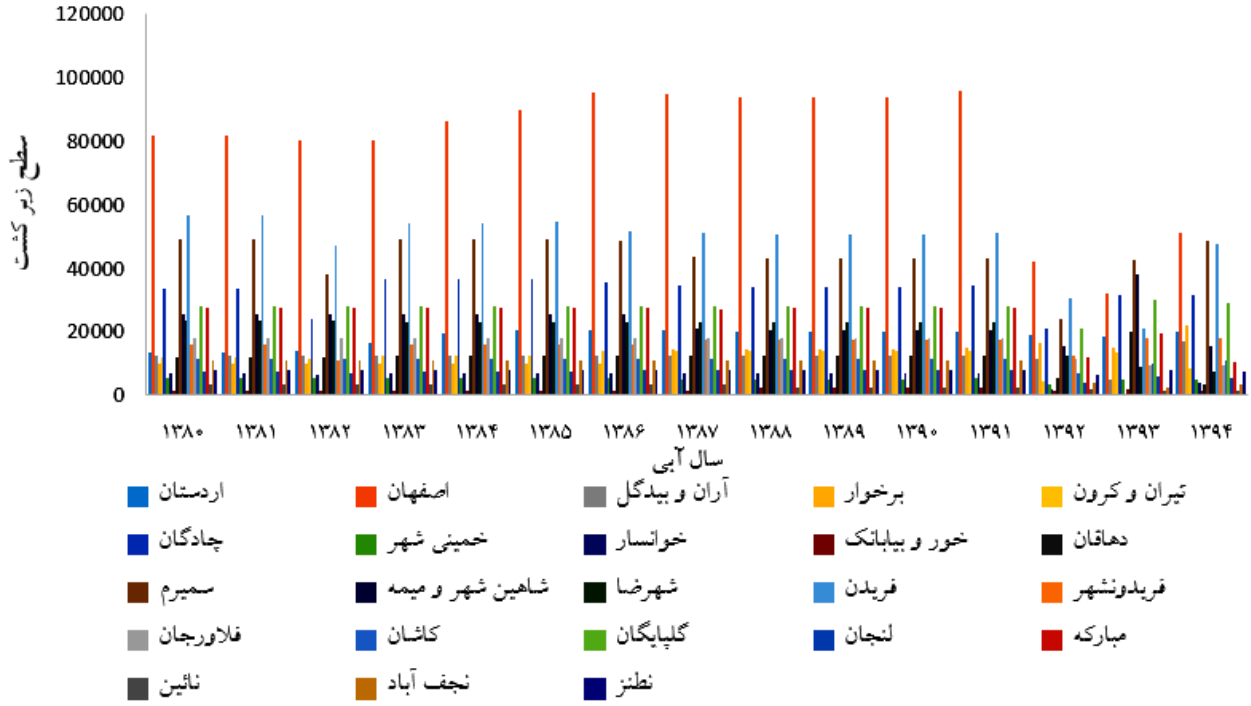
در قسمت‌های قبلی معرف‌های خشکسالی یا لایه‌های آن اعم از استاتیکی و دینامیکی و حدود آنها به همراه رتبه آنها بیان شد. در کل ۹ معرف یا لایه وجود دارند و هر کدام از این لایه‌ها دارای رتبه از ۰ تا ۱۰ هستند. ضریب همه این لایه‌ها برابر با یک است. بنابراین با جمع کردن این اعداد برای شهرستان‌های استان اصفهان یک عدد در بازه ۰ تا ۹۰ بوجود می‌آید. با نرمال‌سازی اعداد بدست آمده در هریک از شهرستان‌های استان اصفهان براساس رابطه شاخص خشکسالی بارش استاندارد می‌توان وضعیت اقلیمی منطقه را بدست آورد. در جدول ۱۰ حدود آستانه‌ها یا محرک‌های شاخص یکپارچه نشان داده شده است.

نتایج

در هریک از شهرستان‌های استان اصفهان از سال آبی ۱۳۸۳ تا سال آبی ۱۳۹۴، با استفاده از روش توضیح داده شده به ۹ لایه استاتیکی و دینامیکی تلفیق شده‌اند و شاخص یکپارچه خشکسالی در هریک از شهرستان‌های استان اصفهان براساس مقدار نرمال شده در هر یک از شهرستان‌ها با توجه به جدول ۱۰ بدست خواهد آمد. شاخص یکپارچه خشکسالی در شهرستان‌های استان اصفهان در شکل ۱۵ نشان داده شده است. براساس مقدار شاخص یکپارچه در شکل ۱۵ و همچنین

جدول ۸. رتبه‌بندی زیرکلاس‌های لایه کیفیت آب زیرزمینی

زیر کلاس‌ها (مقادیر R)	رتبه
کمتر از ۵ درصد	۰
بین ۵ تا ۱۰ درصد	۲
بین ۱۰ تا ۱۵ درصد	۴
بین ۱۵ تا ۲۰ درصد	۶
بین ۲۰ تا ۲۵ درصد	۸
بیشتر از ۲۵ درصد	۱۰



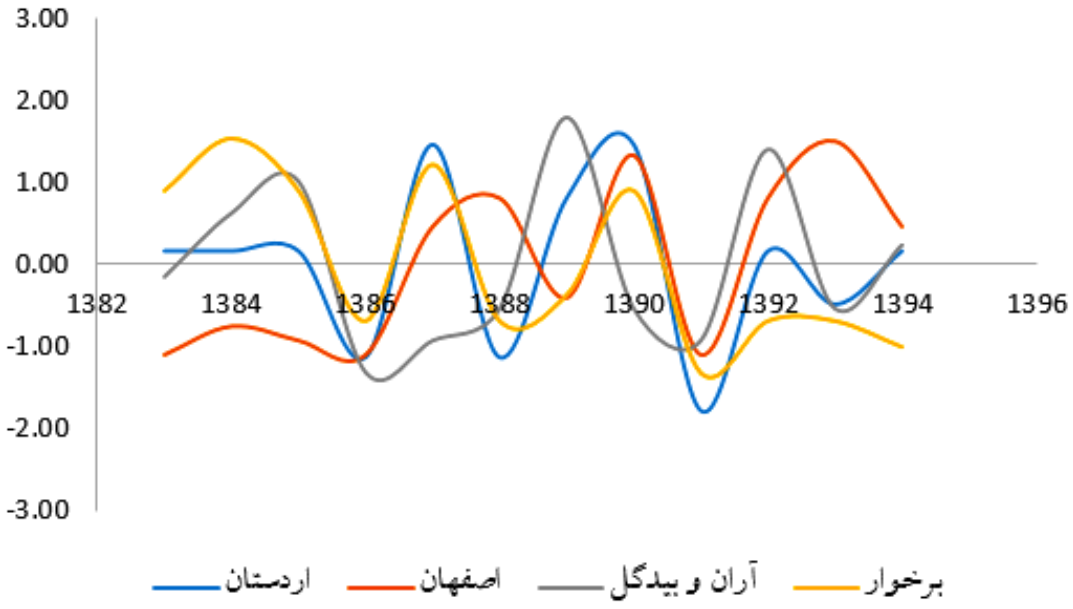
شکل ۱۴. متوسط سطح زیرکشت سالانه شهرستانهای استان اصفهان (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۹. رتبه‌بندی زیرکلاس‌های لایه سطوح زیر کشت

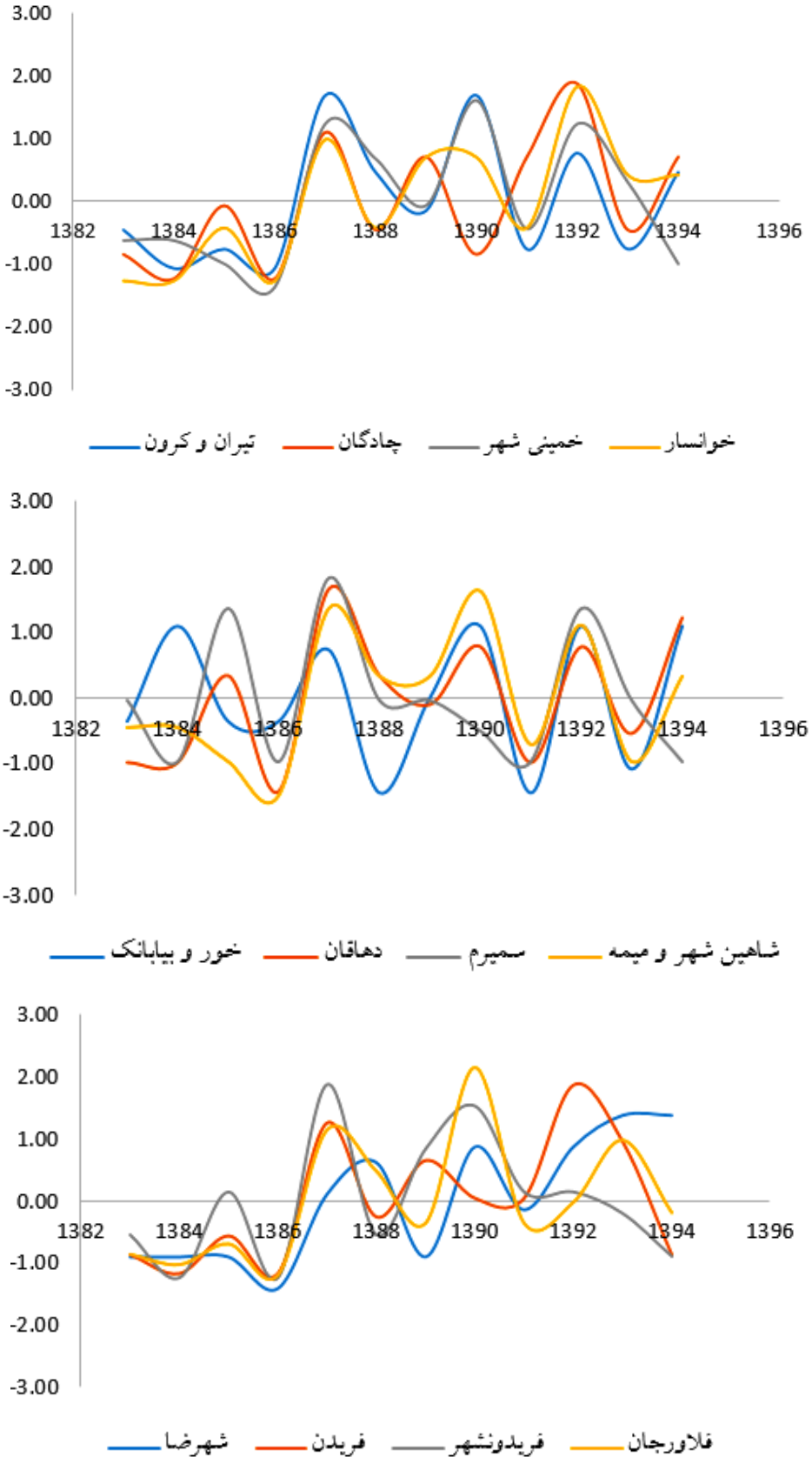
زیر کلاس‌ها (مقادیر R)	رتبه
بیشتر از ۵- درصد	۰
بین ۵- تا ۱۰- درصد	۲
بین ۱۰- تا ۱۵- درصد	۴
بین ۱۵- تا ۲۰- درصد	۶
بین ۲۰- تا ۲۵- درصد	۸
کمتر از ۲۵- درصد	۱۰

جدول ۱۰. محرک‌های شاخص یکپارچه خشکسالی

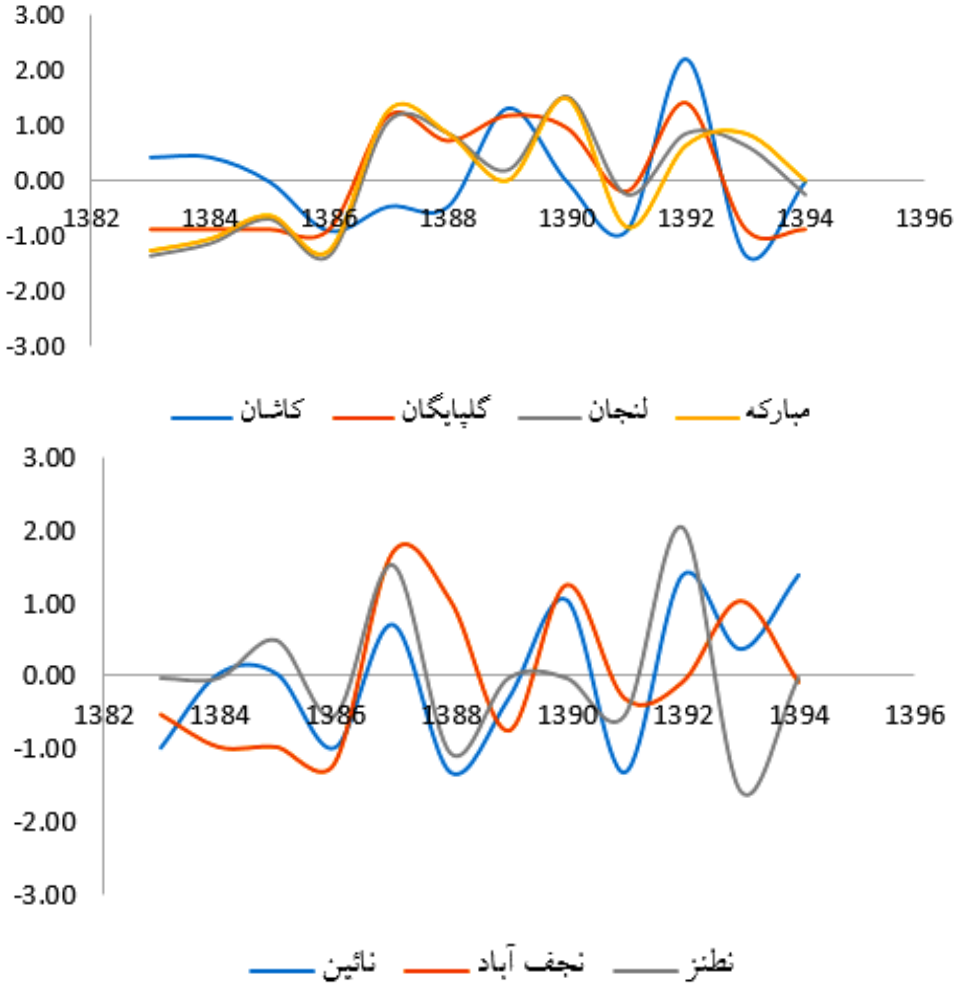
وضعیت خشکسالی	شاخص یکپارچه خشکسالی
خشکسالی بسیار شدید	-۳
خشکسالی شدید	-۲/۵
خشکسالی متوسط	-۲
خشکسالی ضعیف	-۱/۵
نزدیک به نرمال	-۱
	-۰/۵
نرمال	۰/۰
	۰/۵
نزدیک به نرمال	۱
ترسالی ضعیف	۱/۵
ترسالی متوسط	۲
ترسالی شدید	۲/۵
ترسالی بسیار شدید	۳



شکل ۱۵. مقدار شاخص یکپارچه در شهرستان‌های استان اصفهان (رنگی در نسخه الکترونیکی)



ادامه شکل ۱۵ (رنگی در نسخه الکترونیکی)

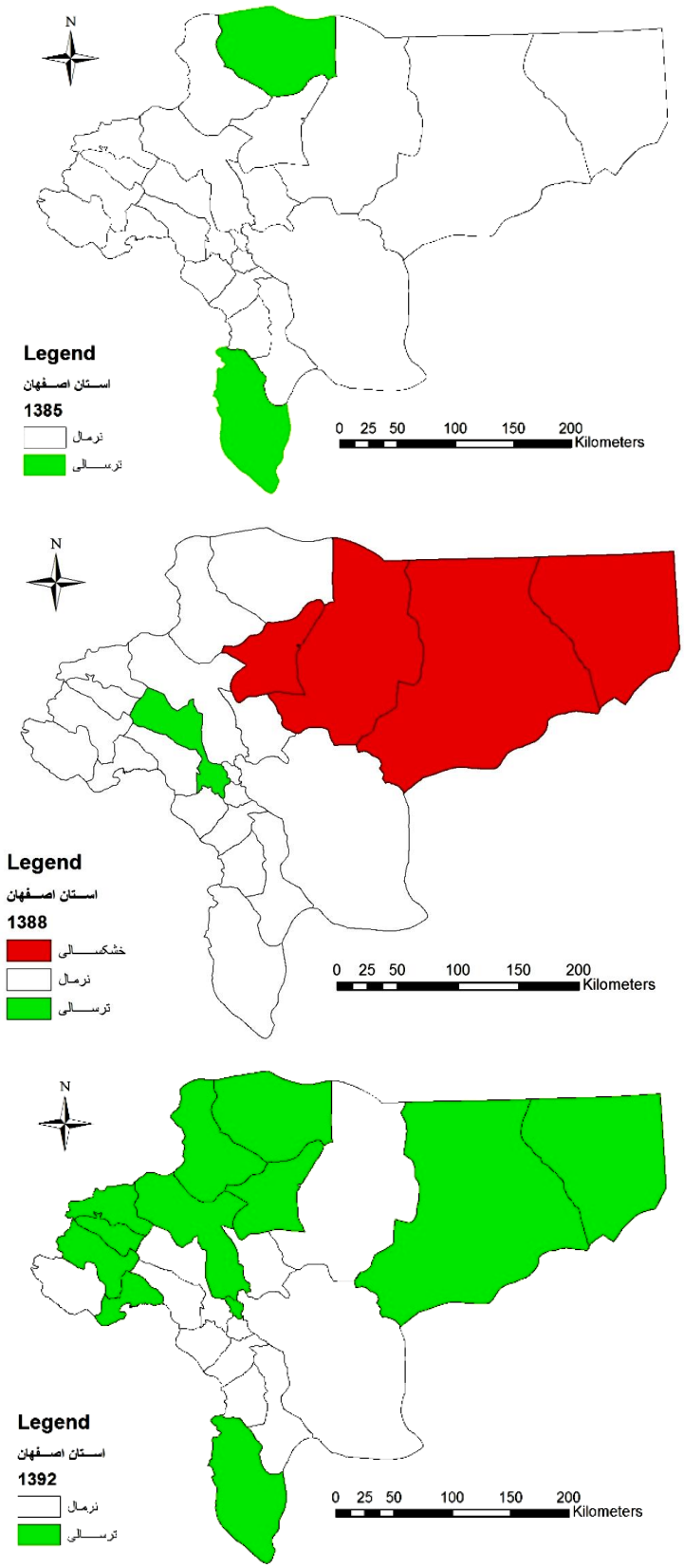


ادامه شکل ۱۵ (رنگی در نسخه الکترونیکی)

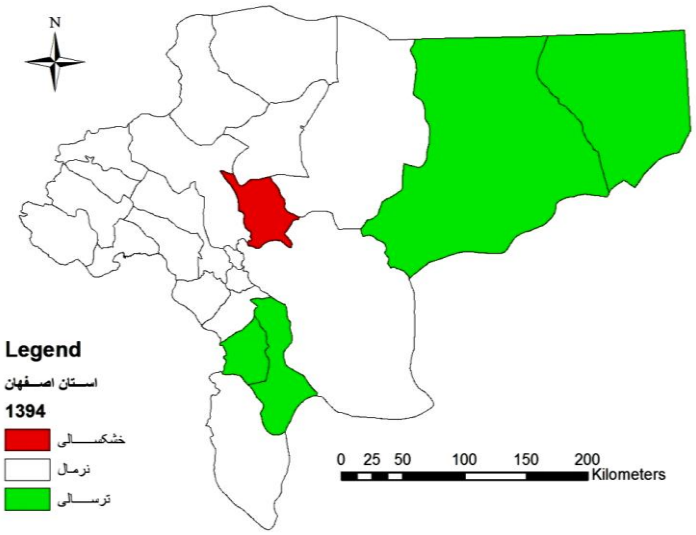
آستانه‌های شاخص یکپارچه، نقشه‌های خشکسالی استان بدست خواهد آمد. در شکل ۱۶ نقشه‌های مکانی خشکسالی استان اصفهان در سال‌های آبی ۱۳۸۵، ۱۳۸۸، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ به‌عنوان نمونه نمایش داده شده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شده است یک شاخص یکپارچه برای ارزیابی و آنالیز خشکسالی ارائه و به صورت موردی در استان اصفهان بکار رود. به این منظور از روش وزن‌دهی به‌عنوان روش پایه‌ی پژوهش استفاده شد. شاخص یکپارچه خشکسالی تلفیقی از انواع مختلف خشکسالی است که عبارتند از: خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیک، خشکسالی کشاورزی، خشکسالی اجتماعی- اقتصادی و خشکسالی زیست‌محیطی. شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی خشکسالی و حساسیت آن وجود دارد. این شاخص‌ها اغلب یک یا دو مورد از انواع خشکسالی‌ها را مدل می‌کنند. به‌طور مثال شاخص SPI فقط از عامل بارش استفاده می‌کند و از انواع شاخص‌های هواشناسی است. مسئله مهمی که در اینجا مطرح است این است که ممکن است در مقطعی از زمان، یک منطقه و یا یک حوضه آبریز از لحاظ بارش وضعیت خوبی داشته باشد و بارندگی در آن منطقه نرمال باشد، اما اگر در همان مقطع زمانی حجم آب پشت سدها و مخازن ذخیره در آن منطقه



شکل ۱۶. نقشه شاخص یکپارچه استان اصفهان سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۸۸، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ (رنگی در نسخه الکترونیکی)



ادامه شکل ۱۶ **(رنگی در نسخه الکترونیکی)**

از حد نرمال کمتر باشد و یا سطح ایستابی و ذخایر آب زیرزمینی کمتر از حد نرمال باشد، در این صورت برآورد خشکسالی منطقه یا حوضه چالش بزرگی است. به‌علاوه کیفیت آب زیرزمینی یا حتی نوع کشت یا سطح زیرکشت از مسائل مهم است. در اینجاست که می‌توان گفت شاخصی که فقط یکی از عوامل خشکسالی مانند بارش، تبخیر، دما، آب سطحی دردسترس، آب زیرزمینی دردسترس و یا ... را در آنالیزهای خود بکار ببرد، نمی‌تواند آنالیز واقعی و دقیقی از حساسیت خشکسالی داشته باشد. بنابراین، شاخص یکپارچه با توجه به در نظرگیری عوامل مختلف خشکسالی می‌تواند ارزیابی واقعی‌تری از خشکسالی داشته باشد. در این پژوهش پارامترها یا لایه‌های مختلفی که کلیه انواع خشکسالی را دربرمی‌گیرند، وزن‌دهی شدند و وزن‌های اختصاص داده شده به هریک از لایه‌ها براساس تجربه و نیز مطالعه مراجع و مقالات مختلف است. در این وزن‌دهی هرچه آسیب‌پذیری خشکسالی بیشتر می‌شود، وزن اختصاص داده شده به فاکتورها نیز بیشتر می‌شود. از مزایای شاخص یکپارچه این است که عوامل بسیاری که دخیل در خشکسالی هستند، را در نظر می‌گیرد. از معایب شاخص یکپارچه خشکسالی می‌توان به این نکات اشاره کرد که: ۱) طول دوره آماری کلیه معرف‌های در نظر گرفته شده ۱۲ سال است. البته در بعضی از این معرف‌ها دوره آماری بیشتر از ۱۲ سال موجود است اما این داده‌ها دارای پراکندگی مناسبی برای برآورد دقیق خشکسالی نیست. ۲) معرف‌های دیگری در تحلیل حساسیت خشکسالی وجود دارند. به‌عنوان مثالی از این معرف‌ها می‌توان به رطوبت در لایه‌های مختلف خاک و ارتفاع مخازن اشاره کرد، اگر اطلاعات معرف‌های بیشتری در دسترس باشد می‌توان محدوده شاخص یکپارچه خشکسالی را وسیع‌تر کرده و برآورد دقیق‌تری از ارزیابی آسیب‌پذیری خشکسالی داشت. هر کدام از لایه‌ها اعم از استاتیکی و دینامیکی پس از ورود به نرم‌افزار رتبه‌بندی شده و نقشه‌های نهایی خشکسالی برای کلیه سال‌های آبی در بازه مورد مطالعه یعنی از سال آبی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ ارائه شده است. براساس نتایج بدست آمده در سال‌های آبی ۱۳۸۶ و ۱۳۹۱ بیشترین تنش آبی در استان و در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۰ کمترین تنش و به عبارت دیگر ترسالی در نقاط مختلف استان حاکم بوده است.در این پژوهش شاخص یکپارچه برای برآورد و ارزیابی خشکسالی ارائه شد. با توجه به اطلاعات مکانی زمانی جمع‌آوری شده در سطح منطقه و یا حوضه آبریز می‌توان پایش خشکسالی را در زمان‌های مختلف هفتگی، ماهانه، فصلی و سالانه انجام داد.

منابع مورد استفاده

1. Abedi Koupai, J. 2011. Drought Zoning of Isfahan Province and Strategies to Reduce the Impact of Water Deficiency. Drought, Zayandehrood, Strategies and Challenges, Isfahan Provincial Crisis Management press, Isfahan, Iran (In Farsi).
2. Bazrafshan, J. 2002. Comparative study of some meteorological drought indicators in some climatic samples of Iran. Master Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Tehran, Iran (In Farsi).
3. Dehghan, M. 2000. Effects and consequences of drought in the agricultural sector and ways to deal with it. Institute of Agricultural Planning and Economics Research press, Tehran, Iran (In Farsi).
4. Karamouz, M. and Sh. Araghinejad. 2010. Advanced Hydrology, Amirkabir University of Technology press, Tehran, Iran (In Farsi).
5. Karamouz, M., Rasouli, K. and S. Nazif. 2009. Development of a hybrid index for drought prediction. *Journal of Hydrologic Engineering* 14(6): 617-627.
6. Mckee, T. B., Doesken, N. J. and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *In:* Preprints 8th Conference on Applied Climatology, Boston, USA.
7. Murid. S. and D. R. Arab. 2009. Documenting the measures taken in regional water organizations to deal with drought, the period from 1999 to 2002, lessons learned and future horizons., Research Institute of Water Engineering, Tarbiat Modares University press, Tehran, Iran (In Farsi).
8. Palmer, W. C. Meteorological drought. 1965. U. S. Weather Bureau, Washington D.C, Research Paper, 45.
9. Pandey, R. P., Pandey, A., Galkate, R. V., Byun, R. H. and B. C. Mal. 2010. Integrating hydro-meteorological and physiographic factors for assessment of vulnerability to drought. *Journal of Water Resources Management* 24: 4199-4217.
10. Pandey, S., Pandey, A. C., Nathawat, M. S., Kumar, M. and N. C. Mahanti. 2012. Drought hazard assessment using geoinformatics over parts of Chotanagpur plateau region, Jharkhand, India. *Journal of Natural Hazards* 63: 279-303.
11. Safavi, H. R., Khoshoei Esfahani, M. and A. R. Zamani. 2014. Integrated Index for Assessment of Vulnerability to Drought, Case Study: Zayandehrood River Basin, Iran. *Journal of Water Resources Management* 28:1671-1688.
12. Safavi, H. R. and M. Shisheforosh. 2011. Drought, Zayandehrood, Strategies and Challenges, Isfahan Provincial Crisis Management press, Isfahan, Iran (In Farsi).
13. Schneider, S. H. 1996. Encyclopedia of Climate and Weather. Oxford University Press, New York, USA.
14. Shafer, B. A. and L. E. Dezman. 1982. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. Proceeding of the western snow conference, Colorado State University, Fort Collins, USA.
15. Smith, V. A. and D. R. Maidment. 2008. Texas Integrated Drought Information System. A Prototype of the Trinity River Basin, University of Texas at Austin.
16. Wilhiate, D. A. and M. H. Glantz. 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water. International* 10: 111-120.
17. www.drought.iranhydrology.net.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 27, No. 1, Spring 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Integrated Index for Drought Assessment in Isfahan Province

M. Khoshoei[1*], H. R. Safavi[2] and A. Kazemi Khoshouei[3]

(Received: April 26-2022 ; Accepted: October 1-2022)

Abstract

Drought is a continuous period of lack of rainfall that leads to damage to a variety of water consumers, especially in the agricultural sector and reduces their yield. Drought is considered one of the unpredictable disasters. Drought is different from other natural disasters such as floods, earthquakes, storms, etc. Based on the type of meteorological, hydrological, or agricultural droughts, various indices are designed to assess droughts such as SPI, PDSI, and SWSI. The objective of this study is to evaluate an integrated index that includes the main causes of drought. The integrated index includes various drought factors such as meteorological, hydrological, agricultural, socio-economic, and environmental. Isfahan province has been selected as a case study due to successive droughts in recent decades. A combination of static and dynamic layers has been used for designing the integrated index. Static layers include land use, slope, and soil type of the basin. Dynamic layers include precipitation, average temperature, available surface water, available groundwater, groundwater quality, and cultivated area. The results showed that the highest water stress occurred in the 1386 and 1391 years in the province and the lowest water stress and wet season in different parts of the province in 1387 and 1390 years.

Keywords: Drought vulnerability, Integrated index, Isfahan province

1. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran.
2. Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
3. Isfahan Regional Water Company, Isfahan, Iran.
*: Corresponding author, Email: m.khoshoei@kashanu.ac.ir