

## طراحی سیستم پایش خشکسالی براساس شاخص یکپارچه در حوضه آبریز زاینده رود

مهرداد خشوعی اصفهانی<sup>۱\*</sup>، حمیدرضا صفوی<sup>۱</sup> و احمد رضا زمانی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۵/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۹/۱۰)

### چکیده

خشکسالی عبارت است از یک دوره ممتد کمبود بارش که منجر به صدمه زدن به انواع مصرف کنندگان آب، به ویژه بخش کشاورزی و کاهش عملکرد آنها می شود. شاخص های مختلفی برای ارزیابی خشکسالی پیشنهاد شده که براساس یکی از انواع خشکسالی های هواشناسی، هیدرولوژی یا کشاورزی بوده و تاکنون شاخصی که دربرگیرنده کلیه عوامل مورد نظر باشد، معرفی نشده است. هدف از این تحقیق، ارزیابی شاخص های موجود در پایش خشکسالی و ارائه یک شاخص یکپارچه و دربرگیرنده عوامل اصلی خشکسالی است که به دلیل موقعیت حساس حوضه آبریز زاینده رود در فلات مرکزی ایران، این حوضه به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب گردیده است. شاخص یکپارچه دربرگیرنده عوامل مختلف خشکسالی مانند هواشناسی، هیدرولوژیک، کشاورزی، اجتماعی - اقتصادی و زیست محیطی می باشد. در طراحی شاخص یکپارچه، از تلفیق لایه های استاتیک و دینامیک استفاده شده است. لایه های استاتیک شامل کاربری زمین، شیب و جنس خاک حوضه می باشد. لایه های دینامیک شامل بارش، تبخیر، دما، ذخیره آب سطحی، موقعیت سطح آب زیرزمینی و نیاز زیست محیطی می باشد. هر یک از این لایه ها با ضریب وزنی خود وارد نرم افزار GIS می شود و نقشه های پهنه بندی خشکسالی به دست می آید. به عنوان نتیجه ای از این شاخص سال آبی ۱۳۷۲ به عنوان سال تر سالی و سال آبی ۱۳۷۸ به عنوان بحرانی ترین سال از لحاظ خشکسالی انتخاب شد. بر این اساس، در نهایت، یک سیستم به روز پایش خشکسالی ارائه شده است.

واژه های کلیدی: آسیب پذیری، خشکسالی، شاخص، حوضه آبریز

۱. دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. پژوهشکده علوم و فنون زيردریا، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mehrdad\_khoshoei\_esfahani@yahoo.com

## مقدمه

همان‌طور که آب اساسی‌ترین نیاز بشر است، خشکسالی و کمبود آب می‌تواند موجب بروز بحران‌های جدی در زندگی انسان‌ها شود. برای خشکسالی تعاریف متعددی ارائه شده است. در یک تعریف کلی، خشکسالی به صورت وقوع کمبود شدید در منابع آب نسبت به شرایط نرمال متناظر با زمان و مکان تعریف می‌گردد. کلمه شدید بدین مفهوم است که کمبود حادث شده، عمیق و پیوسته بوده و در یک منطقه وسیع، گسترده شده است. اگرچه کمبود اصلی بارش است، ولی یک کمبود شدید در منابع آب هیدرولوژیک یا در میزان تأمین آب برای کشاورزی، لزوماً با یک کمبود شدید در بارش متناسب نیست. علت این امر در پیچیدگی فرایندهایی است که آب حاصل از بارندگی را به منابع آب برای مصارف هیدرولوژیک و کشاورزی تبدیل می‌کند (۱). خشکسالی یک بلای طبیعی خزننده است. این پدیده موجب کمبود آب برای برخی فعالیت‌ها، گروه‌ها و محیط زیست می‌شود. خشکسالی را نبایستی تنها به عنوان یک پدیده فیزیکی یا طبیعی در نظر گرفت. اثر خشکسالی بر اجتماع حاصل اندرکنش میان یک پدیده طبیعی و نیاز آبی مردم می‌باشد. خشکسالی‌های اخیر هم در کشورهای توسعه یافته و هم در حال توسعه اتفاق افتاده است و عواقب اقتصادی و زیست محیطی آنها به وضوح آسیب‌پذیری تمامی جوامع را به یک خطر طبیعی نشان می‌دهد (۸). تأثیر خشکسالی بر بخش‌های مختلف به‌طور یکسان نمی‌باشد. 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 (۲).

ویلهایت در سال ۱۹۸۵ بیش از ۱۵۰ مورد تعریف خشکسالی را مورد تحلیل قرار داد و سپس این تعاریف را به‌طور کلی تحت چهار دسته طبقه‌بندی نمود: خشکسالی هواشناسی یا اقلیمی، خشکسالی هیدرولوژیک، خشکسالی

کشاورزی یا زراعی و خشکسالی اقتصادی-اجتماعی (۱۸).

از جمله مشخصات پدیده خشکسالی که آنرا از بسیاری پدیده‌های طبیعی دیگر مجزا می‌سازد، زمان شروع و خاتمه آن است که با دقت زیادی قابل پیش‌بینی نمی‌باشد. بنابراین تشخیص واقع شدن در یک دوره خشک پیش‌نیازی برای اعمال تمهیدات مدیریتی در مقابله با این پدیده می‌باشد که نشانگر ضرورت انجام مطالعات خشکی در قالب بررسی‌های جامع مدیریت خشکسالی می‌باشد (۲). بر پایه معیارهای خشکسالی مورد نظر، شدت، مدت و فراوانی خشکسالی با یک شاخص بیان می‌شود. یک شاخص، پارامترهای مختلف هواشناسی و هیدرولوژیک مانند بارندگی، دما، تبخیر-تعرق، رواناب و دیگر شاخص‌های تأمین آب را در یک قالب یا فرمول جمع می‌کند و یک تصویر جامع برای تصمیم‌گیری ارائه می‌دهد. این شاخص‌ها به منظور استفاده بیشتر از داده‌های خام و قابل فهم بودن آنها و همچنین ایجاد قدرت تصمیم‌گیری برای طراحان و برنامه‌ریزان معمولاً تنها به صورت یک عدد بیان می‌شوند (۳).

معروف‌ترین و پرکاربردترین این شاخص‌ها شامل شاخص‌های SPI (هواشناسی)، RDI (هواشناسی)، SWSI (هیدرولوژی) و PDSI (کشاورزی) می‌باشد. شاخص SPI در سال ۱۹۹۳ توسط مک‌کی و همکاران، شاخص SWSI در سال ۱۹۸۲ توسط دزمن و شیفر و شاخص PDSI در سال ۱۹۶۵ توسط پالمر ارائه شدند. معمولاً شاخص‌های خشکسالی براساس نوع شدت وابسته به آنها طبقه‌بندی می‌شوند.

نیمیر در سال ۲۰۰۸ سه طبقه دیگر به این فهرست اضافه کرد که شامل شاخص‌های جامع خشکسالی (Comprehensive Drought Indices)، شاخص‌های ترکیبی (Combined Drought Indices) و شاخص‌های سنجش از راه دور (Remote-sensing based Drought Indices) می‌باشد. شاخص خشکسالی جامع از متغیرهای هواشناسی، هیدرولوژی و کشاورزی گوناگون برای نمایش تصویر جامعی از خشکسالی استفاده می‌کند (۱۴). شاخص‌های یکپارچه معرفی شده به منظور ارزیابی شدت خشکسالی عبارتند از: سیستم اطلاعات

خشکسالی یکپارچه تگزاس توسط اسمیت و میدمنت (۱۷)، توسعه شاخص ترکیبی برای پیش‌بینی خشکسالی توسط کارآموز و همکاران (۱۲)، یکپارچه‌سازی عوامل آب و هوایی و فیزیوگرافیک برای ارزیابی آسیب‌پذیری خشکسالی توسط پاندی و همکاران (۱۵) و ارزیابی مخاطرات خشکسالی با استفاده از اطلاع‌رسانی زمینی توسط پاندی و همکاران (۱۶).

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 و کشاورزی باشند و تاکنون شاخصی که در برگیرنده کلیه عوامل شامل هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی و همچنین عواملی مانند زیست محیطی و اقتصادی-اجتماعی باشد معرفی نشده است. به‌طور کلی ارزیابی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخصی که دربرگیرنده کلیه عوامل ذکر 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 تحقیق مد نظر است دارای عوامل و در واقع معرف‌های هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی، زیست محیطی و اقتصادی-اجتماعی می‌باشد.

در راستای تدوین طرح‌های مقابله با خشکسالی و مدیریت فعال آن، از ضروری‌ترین ابزارها طراحی سیستم پایش خشکسالی می‌باشد که اطلاعات استخراج شده از آن تعیین‌کننده نوع عملیات مقابله با خشکسالی و زمان شروع آن می‌باشد. چنین سیستم‌هایی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی طراحی می‌گردند و تاکنون شاخص‌های متفاوتی برای آن تعریف شده است (۵). از آنجا که عوامل بسیاری در به وقوع پیوستن یک رخداد دخالت دارد، شاخص‌های مختلفی برای پایش خشکسالی تعریف شده‌اند که هر شاخص تنها یک یا چند پارامتر خشکسالی به‌وقوع پیوسته را می‌سنجد. برای پایش خشکسالی به‌صورت جامع و فراگیر معمولاً لازم است شاخص‌های مختلفی محاسبه گردند (۲).

شاخص PDSI به‌عنوان اولین شاخص بیشترین توجه را به‌خود اختصاص داده است (۱۳). هیز (۱۰) در سال ۲۰۰۰، شاخص درصد از نرمال (PN) را مورد بررسی و ارزیابی قرار داد و محاسن و معایب این شاخص را برشمرد. بیان و ویلهایت (۹) در سال ۱۹۹۹ نقدی بر شاخص‌های خشکسالی ارائه دادند که مهم‌ترین آنها عبارت بودند از این‌که شاخص‌های مرسوم نمی‌توانند به‌طور دقیق شروع و خاتمه خشکسالی را تعیین کنند، تأثیر تجمعی بارش را در پایش خشکسالی نمی‌بینند و مقیاس زمانی آنها که حداقل ماهانه است نمی‌گذارد تا خشکسالی به‌طور پیوسته پایش گردد و همین یکی از انگیزه‌های ارائه شاخص EDI بوده است. هونگ و همکاران (۱۱) در سال ۲۰۰۱ سه شاخص خشکسالی SPI، CZI و ZSI را در چهار نقطه چین که شرایط خشک تا مرطوب داشتند با استفاده از ۴۸ سال آمار بارندگی (۱۹۵۱ تا ۱۹۹۸) در دوره‌های ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه، ارزیابی کردند. در این تحقیق شاخص SPI مبنای قرار داده شد و سایر شاخص‌ها و عکس‌العمل آنها در سال‌های خشک و تر نسبت به این شاخص ارزیابی گردید. برای این بررسی از همبستگی خطی بین مقادیر این شاخص‌ها با SPI استفاده شد. این همبستگی بین مقادیر SPI و CZI نشان داد که SPI و CZI معمولاً رابطه خوبی در مقیاس‌های زمانی مختلف دارند، به‌جز در مقیاس زمانی ۳ ماهه و در شرایط بسیار خشک. آنها نشان دادند که CZI شرایط بسیار خشک را بهتر از SPI نشان می‌دهد. مقایسه رابطه SPI و CZI با رابطه SPI و ZSI نشان داد که رابطه SPI و ZSI قوی‌تر می‌باشد، هرچند که ZSI قدری شرایط را مرطوب‌تر نسبت به SPI گزارش می‌کند. علاوه بر مقایسه نتایج ۴۸ سال، آنها عملکرد این ۳ شاخص را به‌طور مشخص برای پایش خشکسالی گسترده‌ای که طی سال‌های ۱۹۶۱ لغایت ۱۹۷۳ در این مناطق رخ داد نیز بررسی کردند. تمامی شاخص‌ها نشان دادند که در مقیاس ۹ و ۱۲ ماهه از اواسط ۱۹۷۲ تا اوایل ۱۹۷۳ دوره خشکی در این مناطق بوقوع پیوسته است و شاخص CZI شرایط سخت‌تری را نسبت به



شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز زاینده‌رود در استان اصفهان

سیاه کوه و از جنوب به حوضه آبریز شهرضا محدود می‌گردد. مرتفع‌ترین نقطه حوضه کوه کربوش با ارتفاع ۳۹۷۴ متر از سطح دریا و کم ارتفاع‌ترین نقطه نزدیک تالاب گاوخونی با ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریا می‌باشد (۶ و ۷).

حوضه آبریز زاینده‌رود، محدود بین  $2^{\circ} 50'$  تا  $20^{\circ} 53'$  طول شرقی و  $15^{\circ} 31'$  تا  $45^{\circ} 33'$  عرض شمالی، حوضه بسته‌ای است که با ارتفاع متوسط ۲۷۰۰ متر از سطح دریا شامل طیف متنوع آب و هوایی از فراخشک تا بسیار مرطوب می‌باشد (شکل ۱). درحالی که ناحیه چلگرد در قسمت غرب حوضه دارای بارش متوسط سالانه بیش از ۱۴۰۰ میلی‌متر می‌باشد، در شرق حوضه در کنار تالاب گاوخونی بارش متوسط سالانه از ۱۰۰ میلی‌متر تجاوز نمی‌کند. منشأ عمده بارندگی‌های حوضه زاینده‌رود جریان‌های کم فشار بارانزای غربی بوده که از سمت مدیترانه (۵/۶۴ درصد) و اطلس شمالی و دریای سیاه (۶/۱۲ درصد) به منطقه می‌رسند و اثر آنها با اثر صعود کوهستانی در بخش‌های غربی حوضه تلفیق می‌گردد و بارش‌های سنگین در شاخه‌های زاینده‌رود و بارندگی‌های متعارف جبهه‌ها را در بخش‌های دیگر حوضه ایجاد می‌نماید (۴).

#### ساختار شاخص یکپارچه خشکسالی در حوضه

شدت وقوع خشکسالی به عوامل متفاوتی بستگی دارد. شاخص

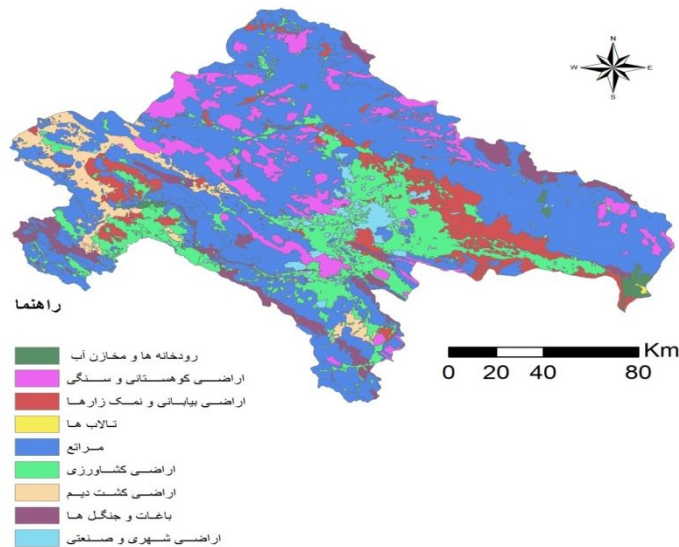
SPI و ZSI گزارش می‌کند و در این مدت ZSI کمترین حساسیت و CZI بیشترین حساسیت را از خود نشان داده‌اند. شاخص‌ها در مقیاس ۱ تا ۳ ماهه برای خشکسالی ۷۳-۱۹۷۲ نشان می‌دهند که مجموعه‌ای از خشکسالی‌های شدید طی این دوره اتفاق افتاد. ولی در بین آنها به‌طور کوتاه مدت شرایط نرمال و تر نیز بوقوع پیوسته است (۱۱).

در این مقاله ابتدا به معرفی روشی برای ارزیابی یکپارچه پایش خشکسالی در دامنه زمانی و مکانی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداخته می‌شود. با توجه به خشکسالی‌های اخیر در حوضه آبریز زاینده‌رود و اثرات سوء بر کشاورزی، آلودگی آب و هوا و همچنین اثرات زیست محیطی، این حوضه به‌عنوان مطالعه موردی در این تحقیق انتخاب شده است.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز زاینده‌رود با مساحت تقریبی ۲۶۹۱۷ کیلومترمربع در برگیرنده قسمت عمده‌ای از حوضه آبریز تالاب گاوخونی می‌باشد که حوضه آبریز تالاب گاوخونی خود جزئی از حوضه آبریز کویر مرکزی ایران است. حوضه زاینده‌رود از شمال به حوضه آبریز دریاچه نمک، از غرب و جنوب غرب به حوضه آبریز کارون و دز، از شرق به حوضه آبریز دق سرخ و کویر



شکل ۲. لایه کاربری اراضی در حوضه آبریز زاینده‌رود

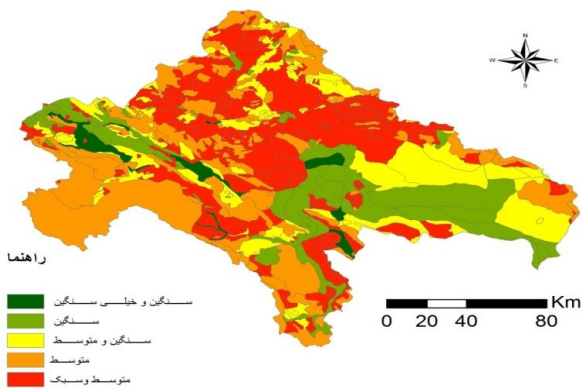
طبقه‌بندی می‌شوند. شیب زمین و نوع خاک حوضه در دسته خشکسالی‌های کشاورزی می‌باشند. کاربری اراضی در گروه خشکسالی‌های اقتصادی- اجتماعی و همچنین نیاز زیست محیطی در دسته خشکسالی‌های زیست محیطی می‌باشند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شاخص یکپارچه خشکسالی، انواع خشکسالی‌های هواشناسی، هیدرولوژیک، کشاورزی، اقتصادی اجتماعی و زیست محیطی را لحاظ کرده است. در این مطالعه، از ۲۱ سال (از سال آبی ۱۳۷۰ تا سال آبی ۱۳۹۰) داده‌های استاتیک و دینامیک استفاده شده است.

### کاربری اراضی

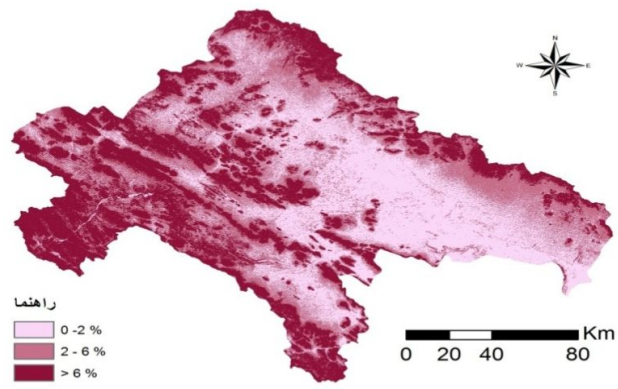
کاربری زمین یکی از لایه‌های استاتیک می‌باشد. نقشه کاربری اراضی در حوضه آبریز زاینده‌رود به کاربری‌های اراضی شهری و صنعتی، باغ‌ها و جنگل‌ها، اراضی کشت دیم، اراضی کشاورزی، مراتع، تالاب‌ها، اراضی بیابانی و نمک‌زارها، اراضی کوهستانی و سنگی، و رودخانه‌ها و مخازن آب تقسیم می‌شود. اراضی شهری و صنعتی بیشترین آسیب‌پذیری خشکسالی را دارند. پس از آن به ترتیب باغ‌ها و جنگل‌ها، اراضی کشت دیم، اراضی کشاورزی و مراتع دارای آسیب‌پذیری در برابر خشکسالی به‌وقوع پیوسته دارند. نقشه کاربری اراضی و

یکپارچه خشکسالی شامل عوامل مختلف خشکسالی مانند خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی، اجتماعی- اقتصادی و زیست محیطی می‌باشد. شاخص یکپارچه به دلیل جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های گوناگون از منابع مختلف، یکتا می‌باشد. شاخص یکپارچه خشکسالی از تلفیق دو دسته داده‌های استاتیک و دینامیک به دست می‌آید. داده‌های استاتیک شامل داده‌هایی می‌باشند که در طول زمان تغییر محسوسی ندارند، ولی در مقیاس مکانی متغیر می‌باشند. داده‌های دینامیک شامل داده‌هایی هستند که می‌توانند در هر دو مقیاس زمانی و مکانی متغیر باشند. داده‌های استاتیک شامل لایه‌های کاربری اراضی حوضه، شیب حوضه و جنس خاک سطحی حوضه می‌باشد. داده‌های دینامیک شامل لایه‌های بارندگی حوضه، دمای متوسط، تبخیر از سطح حوضه، سطح ایستابی آب زیرزمینی، ذخیره آب سطحی و نیاز زیست محیطی حوضه می‌باشد.

می‌توان گفت که هر لایه استاتیک و دینامیک در شاخص یکپارچه فوق می‌تواند نمایان‌گر یکی از انواع خشکسالی‌ها می‌باشد. لایه‌های بارندگی، دمای متوسط و تبخیر در گروه خشکسالی‌های هواشناسی می‌باشند. لایه‌های ذخیره آب سطحی و سطح ایستابی در گروه خشکسالی‌های هیدرولوژیک



شکل ۴. لایه جنس خاک در حوضه آبریز زاینده‌رود



شکل ۳. لایه تقسیم‌بندی شیب زمین در حوضه آبریز زاینده‌رود

پایین دست حوضه در معرض خطر آسیب‌پذیری خشکسالی قرار دارند. نقشه شیب حوضه زاینده‌رود در شکل ۳ ارائه شده است.

تقسیم‌بندی آن در حوضه آبریز زاینده‌رود در شکل ۲ نشان داده شده است.

### شیب حوضه

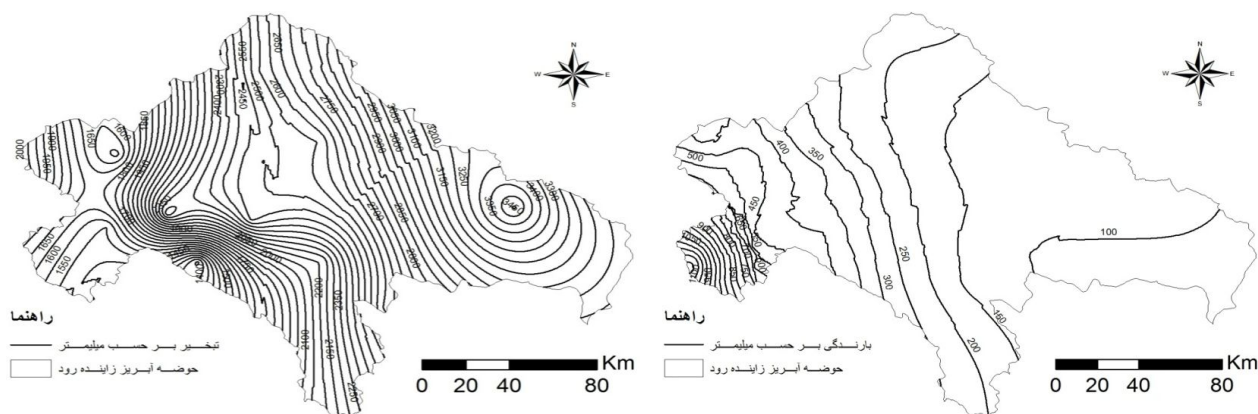
شیب حوضه یکی دیگر از لایه‌های استاتیک می‌باشد. نقشه شیب حوضه براساس آنالیز slope در نرم‌افزار GIS با استفاده از نقشه dem 90 حوضه آبریز زاینده‌رود به دست آمده است. جغرافیای حوضه به سه زیرکلاس: مناطق بالا، وسط و پست حوضه تقسیم‌بندی می‌شود. بازه‌های بالا، وسط و پایین حوضه با توجه به ویژگی‌های توپوگرافی (به‌عنوان مثال شیب متوسط)، درجه آبراهه و ویژگی‌های جریان مشخص شده است. مناطق بالادست حوضه اشاره به توپوگرافی کوهستانی و موجودات با شیب متوسط بیشتر از ۶ درصد و درجه آبراهه ۱ و ۲ دارای ویژگی‌های جریان بی‌دوام می‌باشند. مناطق وسط حوضه دربرگیرنده مناطقی با شیب متوسط ۲ تا ۶ درصد و درجه آبراهه ۳ و ۴ دارای ویژگی‌های جریان بدون‌دوام به‌صورت متناوب می‌باشد. 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 می‌باشد. همچنین، مناطق پایین‌دست حوضه اغلب زمان بیشتری را برای حفظ آب نسبت به قسمت‌های بالایی و میانی حوضه دارند. بنابراین مناطق بالادست حوضه بیشتر از مناطق میانی و

### نوع خاک

آخرین لایه استاتیک در شاخص یکپارچه خشکسالی، نوع خاک حوضه می‌باشد. با توجه به نقشه خاک حوضه، پنج نوع خاک در حوضه وجود دارد. این پنج نوع عبارتند از: سنگین و خیلی سنگین، سنگین و متوسط، متوسط و متوسط و سبک. خاک‌های سبک در کشاورزی استفاده می‌شوند و بنابراین آسیب‌پذیری بیشتری در مقابل خشکسالی دارند. خاک‌های سنگین و خیلی سنگین کمترین آسیب‌پذیری خشکسالی را دارند. نقشه نوع خاک در حوضه آبریز زاینده‌رود در شکل ۴ نمایش داده شده است.

### بارندگی

لایه بارندگی، اولین لایه دینامیک در طراحی شاخص یکپارچه خشکسالی می‌باشد. این لایه مهم‌ترین عامل در ارزیابی آسیب‌پذیری خشکسالی می‌باشد. نقشه بارش سالانه برای حوضه با استفاده از آنالیز کریجینگ در نرم‌افزار GIS برای هر سال آبی تهیه شد. سپس با استفاده از نقشه ذکر شده و آنالیز منحنی‌های هم‌باران، نقشه منحنی‌های هم‌باران حوضه برای هر



شکل ۵. نقشه هم‌بارش حوضه زاینده‌رود در سال آبی ۱۳۸۴ شکل ۶. نقشه منحنی‌های هم‌تبخیر حوضه زاینده‌رود در سال آبی ۱۳۸۸

منحنی‌های هم‌دما، نقشه منحنی‌های هم‌دمای حوضه برای هر سال آبی در نرم‌افزار GIS رسم گردید. مناطق با دمای متوسط بیشتر نسبت به میانگین دمای متوسط، آسیب‌پذیری بیشتری در برابر خشکسالی دارند. به‌عنوان مثال، نقشه هم‌دمای متوسط حوضه در سال آبی ۱۳۷۷ در شکل ۷ نشان‌داده شده است.

#### سطح آب زیرزمینی

لایه سطح آب زیرزمینی یکی دیگر از لایه‌های دینامیک در طراحی شاخص یکپارچه خشکسالی می‌باشد. نقشه سطح ایستابی سالانه برای حوضه با استفاده از آنالیز کریجینگ در نرم‌افزار GIS برای هر سال آبی تهیه شد. سپس با استفاده از نقشه ذکر شده و آنالیز منحنی‌های هم‌سطح آب زیرزمینی، نقشه منحنی‌های هم‌سطح آب زیرزمینی حوضه برای هر سال آبی در نرم‌افزار GIS رسم گردید. مناطق با سطح ایستابی پائین، نسبت به سطح ایستابی متوسط، آسیب‌پذیری بیشتری در برابر خشکسالی دارند. به‌عنوان مثال، نقشه منحنی‌های هم‌سطح آب زیرزمینی حوضه در سال آبی ۱۳۹۰ در شکل ۸ نشان‌داده شده است.

#### ذخیره آب سطحی

لایه ذخیره آب سطحی یکی دیگر از لایه‌های دینامیک در

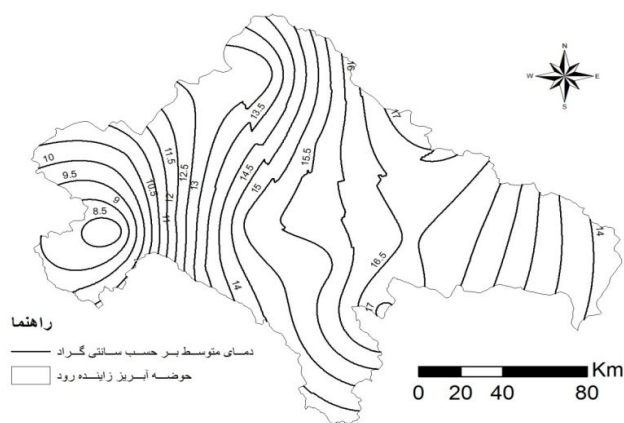
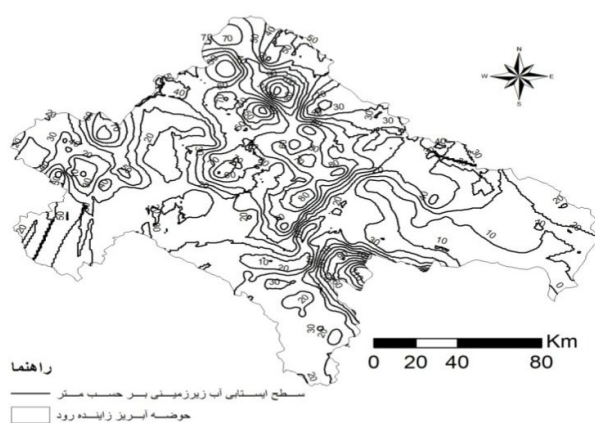
سال آبی در نرم‌افزار GIS رسم گردید. مناطق با بارش کمتر نسبت به بارش متوسط، آسیب‌پذیری بیشتری در برابر خشکسالی دارند. به‌عنوان مثال، نقشه هم‌بارش حوضه در سال آبی ۱۳۸۴ در شکل ۵ نشان‌داده شده است.

#### تبخیر

لایه تبخیر، یکی دیگر از لایه‌های دینامیک در طراحی شاخص یکپارچه خشکسالی می‌باشد. نقشه تبخیر سالانه برای حوضه زاینده‌رود با استفاده از آنالیز کریجینگ در نرم‌افزار GIS برای هر سال آبی تهیه شد. سپس با استفاده از نقشه ذکر شده و آنالیز منحنی‌های هم‌تبخیر، نقشه هم‌تبخیر حوضه برای هر سال آبی در نرم‌افزار GIS رسم گردید. مناطق با تبخیر بیشتر نسبت به تبخیر متوسط، آسیب‌پذیری بیشتری در برابر خشکسالی دارند. به‌عنوان مثال، نقشه هم‌تبخیر حوضه در سال آبی ۱۳۸۸ در شکل ۶ نشان‌داده شده است.

#### دمای متوسط

لایه دمای متوسط، یکی دیگر از لایه‌های دینامیک در طراحی شاخص یکپارچه خشکسالی می‌باشد. نقشه دمای متوسط سالانه برای حوضه با استفاده از آنالیز کریجینگ در نرم‌افزار GIS برای هر سال آبی تهیه شد. سپس با استفاده از نقشه ذکر شده و آنالیز



شکل ۸. نقشه هم‌سطح آب زیرزمینی حوضه زاینده‌رود در سال آبی ۱۳۹۰

شکل ۷. نقشه هم‌دمای متوسط حوضه زاینده‌رود در سال آبی ۱۳۷۷

جدول ۱. حجم آب ذخیره شده در سد زاینده‌رود در بازه ۲۱ ساله (سال آبی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰)

سال آبی	ذخیره آب سطحی (MCM)	سال آبی	ذخیره آب سطحی (MCM)	سال آبی	ذخیره آب سطحی (MCM)
۱۳۷۰	۸۴۲/۷	۱۳۷۷	۷۷۹/۹	۱۳۸۴	۷۱۳/۲
۱۳۷۱	۹۲۶/۲	۱۳۷۸	۶۱۸/۲	۱۳۸۵	۸۵۷/۵
۱۳۷۲	۱۱۸۹/۸	۱۳۷۹	۲۷۸/۸	۱۳۸۶	۹۹۶/۲
۱۳۷۳	۱۰۳۵/۳	۱۳۸۰	۲۶۸/۶	۱۳۸۷	۶۴۷/۶
۱۳۷۴	۱۱۴۳/۴	۱۳۸۱	۶۱۹/۹	۱۳۸۸	۴۲۹/۳
۱۳۷۵	۱۱۵۸/۳	۱۳۸۲	۷۸۵/۵	۱۳۸۹	۴۶۴/۱
۱۳۷۶	۸۸۱/۷	۱۳۸۳	۷۲۶	۱۳۹۰	۳۷۷/۱

مخزن سد که برابر با میانگین مقادیر روزانه می‌باشد، به‌دست آمد. هرچه حجم سالانه از میانگین ذخیره در طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ کمتر باشد آسیب‌پذیری خشکسالی بیشتر می‌باشد. در جدول ۱ متوسط حجم سالیانه برای سال‌های آبی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ نشان داده شده است.

طراحی شاخص یکپارچه خشکسالی می‌باشد. حجم آب ورودی به رودخانه زاینده‌رود توسط سد زاینده‌رود در بالادست این رودخانه کنترل می‌شود. بنابراین حجم آب ذخیره‌شده در سد عامل مناسبی برای ارزیابی خشکسالی می‌باشد. در این مطالعه، داده‌های حجم مخزن سد زاینده‌رود به‌صورت روزانه از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان جمع‌آوری شد. سپس حجم سالانه



جدول ۲. حجم آب ورودی به تالاب گاوخونی در بازه ۲۱ ساله (سال آبی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰)

سال آبی	حجم آب ورودی به تالاب (MCM)	سال آبی	حجم آب ورودی به تالاب (MCM)	سال آبی	حجم آب ورودی به تالاب (MCM)
۱۳۷۰	۴۴/۵	۱۳۷۷	۴۶/۵	۱۳۸۴	۱۶/۵
۱۳۷۱	۱۱۷/۹	۱۳۷۸	۹/۸	۱۳۸۵	۷۰/۴
۱۳۷۲	۹۴۱/۸	۱۳۷۹	۴/۸	۱۳۸۶	۷۷/۲
۱۳۷۳	۳۹۱/۵	۱۳۸۰	۱/۲	۱۳۸۷	۳۵/۷
۱۳۷۴	۶۷/۴	۱۳۸۱	۱/۷	۱۳۸۸	۴/۳
۱۳۷۵	۱۰۴/۳	۱۳۸۲	۵/۱	۱۳۸۹	۴/۸
۱۳۷۶	۸۷/۸	۱۳۸۳	۱۰/۲	۱۳۹۰	۰/۸

#### نیاز زیست محیطی

لایه نیاز زیست محیطی، آخرین لایه دینامیک در طراحی شاخص یکپارچه خشکسالی می‌باشد. حوضه آبریز زاینده‌رود حوضه‌ای بسته و درون‌ریز می‌باشد و در انتهای حوضه آب رودخانه زاینده‌رود به تالاب گاوخونی می‌ریزد. به‌منظور بررسی نیاز زیست محیطی در حوضه آبریز زاینده‌رود، مقدار حجم آب ورودی به تالاب گاوخونی مد نظر قرار گرفته است. براساس مطالعات گذشته، نیاز زیست محیطی این تالاب ۱۶۰ میلیون مترمکعب می‌باشد (۶). در جدول ۲ حجم سالانه آب ورودی به تالاب در سال‌های آبی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ نشان داده شده است.

#### روش وزن‌دهی شاخص یکپارچه خشکسالی

شاخص یکپارچه خشکسالی ترکیبی از داده‌ها یا لایه‌های استاتیک و دینامیک می‌باشد. عوامل فیزیوگرافیک یا استاتیک که در این مطالعه در نظر گرفته شده عبارتند از: کاربری اراضی، نوع خاک و شیب زمین. عوامل دینامیک یا متغیر در مکان و زمان در نظر گرفته شده در این مطالعه عبارتند از: بارش، تبخیر، دمای متوسط، سطح آب زیرزمینی، حجم مخزن و نیاز

زیست محیطی. به‌منظور تشخیص آسیب‌پذیری هر یک از عوامل استاتیک و دینامیک نسبت به خشکسالی، به زیرکلاس‌هایی تقسیم می‌شوند. هر زیرکلاس با یک وزن عددی بین صفر تا ۱۰ مشخص شده است. مقدار وزن، به رابطه زیرکلاس‌های معین در تشدید ذخایر نسبی آب و آسیب‌پذیری خشکسالی، بستگی دارد. وزن صفر نشان دهنده این است که زیرکلاس یک عامل معین کمترین آسیب‌پذیری را به خشکسالی دارد. وزن ۱۰ نشان دهنده این است که این زیرکلاس بیشترین آسیب‌پذیری را به خشکسالی دارد. مقدار وزن اختصاص داده شده به لایه‌های استاتیک در طول بازه ۲۱ ساله در این تحقیق (سال آبی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰) ثابت در نظر گرفته شد. اما مقدار وزن اختصاص داده شده به لایه‌های دینامیک متغیر است. رتبه‌های اختصاص داده شده به هر یک از لایه‌های استاتیک و دینامیک در جدول ۳ نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که در لایه‌های بارندگی، تبخیر، دمای متوسط، سطح آب زیرزمینی و ذخیره آب سطحی، رتبه اختصاص داده شده براساس درصد انحراف از میانگین نرمال سالانه رای هر یک از عوامل می‌باشد. برای تولید نقشه شاخص یکپارچه خشکسالی، لایه‌های استاتیک و

جدول ۳. رتبه‌بندی زیرکلاس‌های عوامل مؤثر در خشکسالی

رتبه	زیر کلاس‌ها	عوامل	شماره
۲	رودخانه‌ها و مخازن آب	کاربری اراضی	۱
۳	اراضی کوهستانی و سنگی		
۴	اراضی بیابانی و نمک‌زارها		
۵	تالاب‌ها		
۶	مراعت		
۷	اراضی کشاورزی		
۸	اراضی کشت دیم		
۹	باغات و جنگل‌ها		
۱۰	اراضی شهری و صنعتی		
۱	شیب کمتر از ۲ درصد	شیب حوضه	۲
۵	شیب بین ۲ تا ۶ درصد		
۱۰	شیب بیشتر از ۶ درصد		
۱	ترکیب خاک سنگین و خیلی سنگین	نوع خاک	۳
۳	خاک سنگین		
۵	ترکیب خاک متوسط و سنگین		
۷	خاک متوسط		
۱۰	ترکیب خاک سبک و متوسط		
۰	بیشتر از ۱۰- درصد	بارندگی	۴
۲	بین ۱۰- و ۱۵- درصد		
۴	بین ۱۵- و ۲۵- درصد		
۶	بین ۲۵- و ۳۵- درصد		
۸	بین ۳۵- و ۵۰- درصد		
۱۰	کمتر از ۵۰- درصد		
۰	کمتر از ۲ درصد	تبخیر	۵
۲	بین ۲ تا ۴ درصد		
۴	بین ۴ تا ۶ درصد		
۶	بین ۶ تا ۸ درصد		
۸	بین ۸ تا ۱۰ درصد		
۱۰	بیشتر از ۱۰ درصد		
۰	کمتر از ۲ درصد	دمای متوسط	۶
۲	بین ۲ تا ۴ درصد		
۴	بین ۴ تا ۶ درصد		
۶	بین ۶ تا ۸ درصد		

ادامه جدول ۳. رتبه‌بندی زیرکلاس‌های عوامل مؤثر در خشکسالی		
۸	بین ۸ تا ۱۰ درصد	
۱۰	بیشتر از ۱۰ درصد	
۰	کمتر از ۴ درصد	سطح ایستابی
۲	بین ۴ تا ۸ درصد	
۴	بین ۸ تا ۱۲ درصد	
۶	بین ۱۲ تا ۱۶ درصد	
۸	بین ۱۶ تا ۲۰ درصد	
۱۰	بیشتر از ۲۰ درصد	
۲	بیشتر از ۱۰- درصد	ذخیره آب سطحی
۴	بین ۱۰- و ۲۰- درصد	
۶	بین ۲۰- و ۳۰- درصد	
۸	بین ۳۰- و ۴۰- درصد	
۱۰	کمتر از ۴۰- درصد	
۰	کمتر از ۷۰ میلیون متر مکعب	نیاز زیست محیطی
۱	بین ۷۰ و ۸۰ میلیون متر مکعب	
۲	بین ۸۰ و ۹۰ میلیون متر مکعب	
۳	بین ۹۰ و ۱۰۰ میلیون متر مکعب	
۴	بین ۱۰۰ و ۱۱۰ میلیون متر مکعب	
۵	بین ۱۱۰ و ۱۲۰ میلیون متر مکعب	
۶	بین ۱۲۰ و ۱۳۰ میلیون متر مکعب	
۷	بین ۱۳۰ و ۱۴۰ میلیون متر مکعب	
۸	بین ۱۴۰ و ۱۵۰ میلیون متر مکعب	
۹	بین ۱۵۰ و ۱۶۰ میلیون متر مکعب	
۱۰	بیشتر از ۱۶۰ میلیون متر مکعب	

حوضه و هرکدام از زیر حوضه‌ها به‌دست آمده که در ادامه محرک‌ها و یا آستانه‌های خشکسالی و ترسالی براساس این بازه ۰ تا ۱۰۰ ارائه شده است.

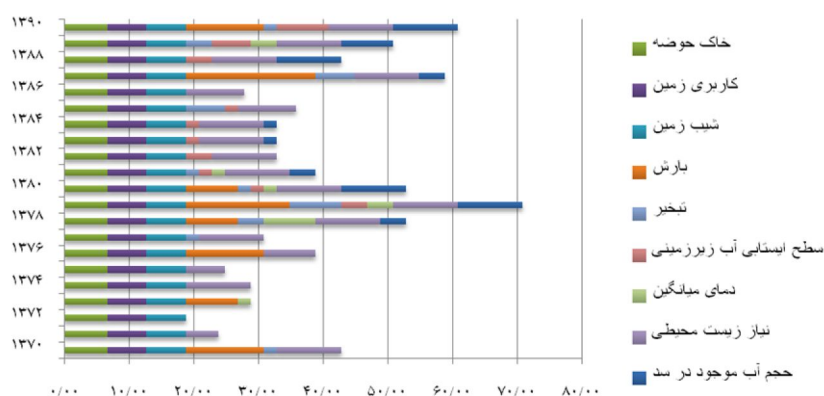
#### تعیین آستانه‌ها یا محرک‌های خشکسالی

با جمع کردن ضرایب لایه‌ها برای کل حوضه آبریز زاینده‌رود و یا زیرحوضه‌های آن، یک عدد در بازه صفر تا ۱۰۰ به‌دست می‌آید. با توجه به تجربیات خشکسالی در حوضه آبریز زاینده‌رود، این اعداد به دسته‌های متفاوت تقسیم‌بندی می‌شوند.

دینامیک با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تلفیق شدند. ضریب کلیه لایه‌های در نظر گرفته شده، به‌جز لایه بارش، برابر با ۱ می‌باشد. ضریب لایه بارش به‌علت اهمیت زیاد در آنالیز حساسیت خشکسالی و اینکه کلیه خشکسالی‌های نام برده شده از خشکسالی هواشناسی به‌وجود می‌آیند و عامل اصلی در خشکسالی هواشناسی کمبود بارش می‌باشد، ضریب این لایه برابر با ۲ در نظر گرفته می‌شود. در نهایت، با تلفیق لایه‌های استاتیکی و دینامیکی یک عدد یا رتبه از ۰ تا ۱۰۰ برای کل

جدول ۴. آستانه‌ها یا محرک‌های خشکسالی

شماره	آستانه‌ها	نوع	مقدار
۱	خشکسالی	بسیار شدید	۷۰-۱۰۰
		شدید	۵۰-۷۰
		متوسط	۴۰-۵۰
		ضعیف	۳۵-۴۰
۲	نرمال		۳۰-۳۵
۳	ترسالی	ضعیف	۲۵-۳۰
		متوسط	۲۰-۲۵
		شدید	۱۵-۲۰
		بسیار شدید	۰-۱۵



شکل ۹. رتبه‌های مربوط به هر لایه در حوضه آبریز زاینده‌رود

در جدول ۴ این آستانه‌ها نشان داده شده است.

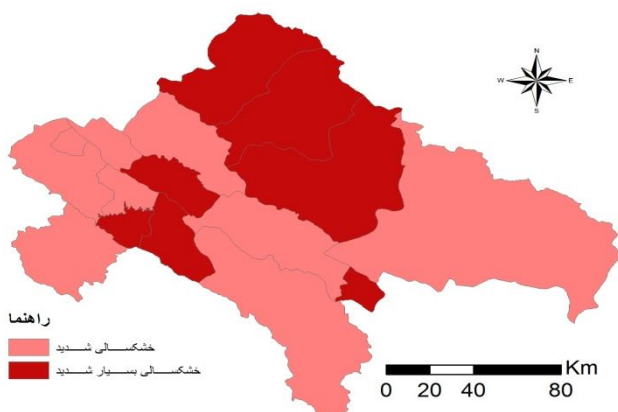
## نتایج

### نتایج ارزیابی شاخص یکپارچه در حوضه آبریز زاینده‌رود

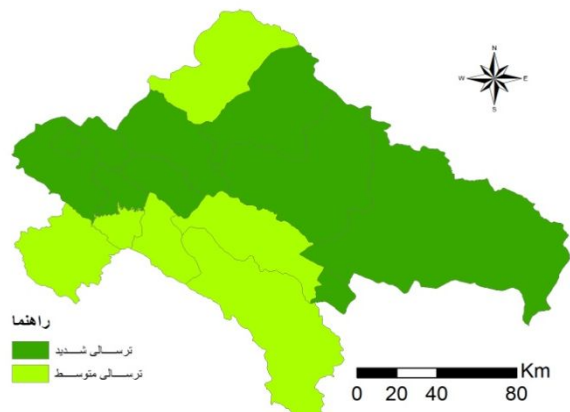
در حوضه آبریز زاینده‌رود، از سال آبی ۱۳۷۰ تا سال آبی ۱۳۹۰، با استفاده از روش توضیح داده شده، ۹ لایه استاتیک و دینامیک تلفیق شده که در شکل ۹ رتبه‌های مربوط به هر لایه و مجموع آنها ارائه گشته است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، رتبه‌های لایه‌های استاتیک در کلیه سال‌های آبی یکسان می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، بیشترین رتبه (۷۰/۸) مربوط به سال آبی ۱۳۷۹ و کمترین رتبه (۱۸/۸) مربوط به سال آبی ۱۳۷۲ می‌باشد. این بدین معنی می‌باشد که ۱۳۷۲ ترسال‌ترین و ۱۳۷۹ خشکسال‌ترین سال آبی

### پایش خشکسالی

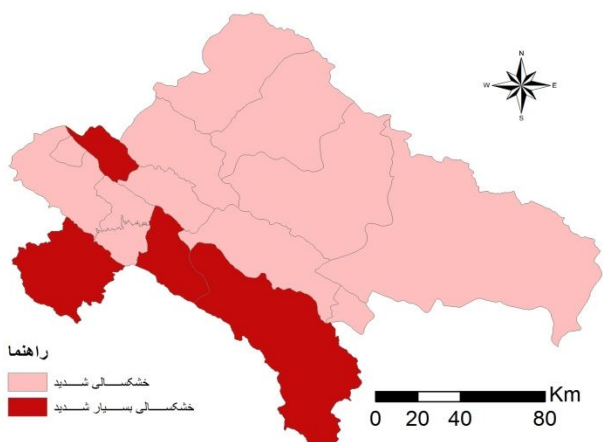
در راستای تدوین طرح‌های مقابله با خشکسالی و مدیریت فعال آن، از ضروری‌ترین ابزارها طراحی سیستم پایش خشکسالی می‌باشد که اطلاعات استخراج شده از آنها تعیین کننده نوع عملیات مقابله با خشکسالی و زمان شروع آن می‌باشد. چنین سیستم‌هایی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی طراحی می‌گردند و تاکنون شاخص‌های متفاوتی برای آن تعریف شده است. در ادامه سیستم پایش براساس شاخص یکپارچه بررسی خواهد شد.



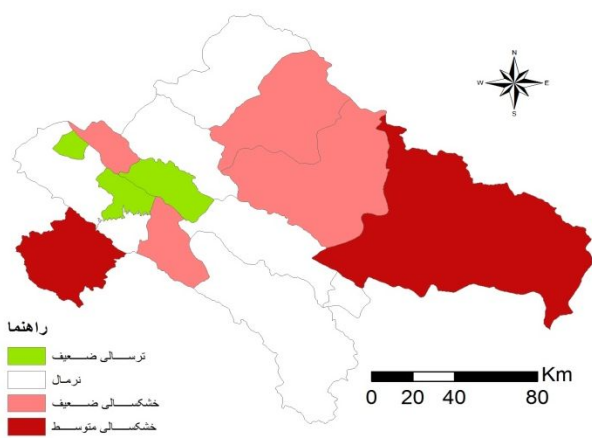
شکل ۱۱. نقشه خشکسالی حوضه در سال آبی ۱۳۷۹



شکل ۱۰. نقشه خشکسالی حوضه در سال آبی ۱۳۷۲



شکل ۱۳. نقشه خشکسالی حوضه در سال آبی ۱۳۹۰



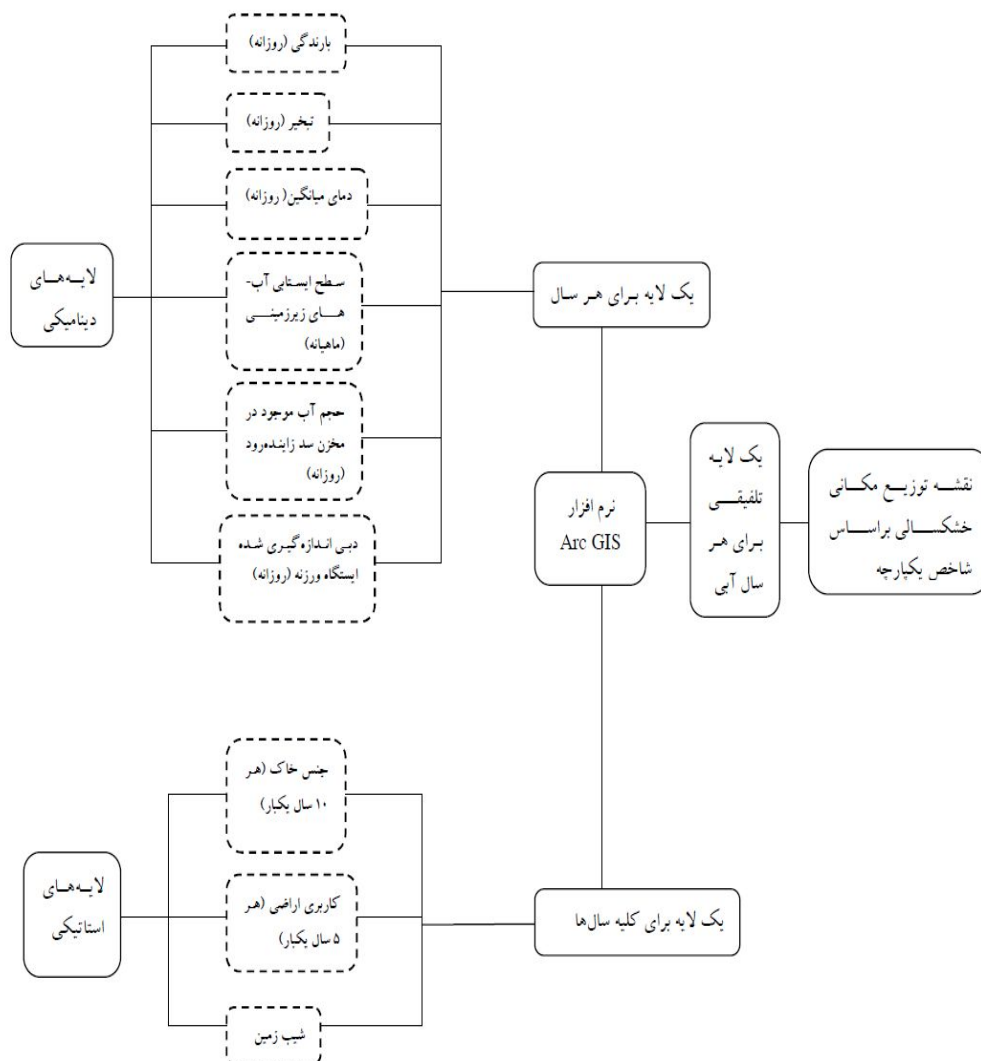
شکل ۱۲. نقشه خشکسالی حوضه در سال آبی ۱۳۸۵

اجتماعی- اقتصادی و زیست محیطی بر شدت خشکسالی تأثیر دارند.

### سیستم پایش خشکسالی

تنوع و تعدد اطلاعات، گستردگی بررسی‌ها و لزوم تداوم آنها در مطالعات خشکسالی، لزوم ایجاد یک سیستم پشتیبانی در تصمیم‌گیری جهت ذخیره، به‌روز کردن و گزارش‌گیری از اطلاعات هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی، اجتماعی و اقتصادی و زیست محیطی و ارائه و تحلیل نتایج پایش و پیش‌بینی را ایجاب می‌کند. به‌همین منظور، تهیه سیستم پشتیبانی در تصمیم‌گیری برای مدیریت خشکسالی با ظرفیت‌سازی برای مدیریت حوضه به‌عنوان یکی از ابزارهای مقابله و کاهش اثرات

می‌باشد. از ۲۱ سال بررسی انجام شده در این حوضه، ۱۱ سال خشکسالی، ۴ سال نرمال و ۶ سال ترسالی بوده و نشان می‌دهد که تقریباً در دو دهه اخیر نیمی از سال‌ها جزو سال‌های خشک بوده که این نشان از این دارد که حوضه آبریز زاینده‌رود با مشکل جدی خشکسالی روبرو است. به‌عنوان مثال، نقشه یکپارچه خشکسالی در سال‌های آبی ۱۳۷۲، ۱۳۷۹، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ در شکل‌های ۱۰ تا ۱۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل‌هایی که در ادامه نشان داده شده‌اند می‌توان بیان کرد که هرچه به سال‌های انتهایی نزدیک می‌شویم، خشکسالی در حوضه آبریز زاینده‌رود شدیدتر می‌شود. با توجه به شاخص یکپارچه استنباط می‌شود که تنها بارش بر خشکسالی تأثیر گذار نیست و کلیه عوامل هواشناسی، هیدرولوژیک، کشاورزی،



شکل ۱۴. نحوه ارتباط بانک اطلاعاتی، GIS و سیستم پایش خشکسالی براساس شاخص یکپارچه

تصمیم‌گیری ارائه شده است. همانگونه که در این شکل نشان داده شده، پارامترهای بارندگی، تبخیر، دمای میانگین و حجم آب موجود در مخزن سد زاینده‌رود به صورت روزانه و سطح آب‌های زیرزمینی به صورت ماهانه مورد نیاز است. این عوامل می‌توانند به صورت خودکار و توسط سیستم یکپارچه جمع‌آوری و ذخیره‌سازی گردند. از طرف دیگر، داده‌های مربوط به جنس خاک، کاربری اراضی و شیب زمین که تقریباً ثابت هستند، هر ۵ تا ۱۰ سال یکبار به روز می‌گردند. براین اساس می‌توان با محاسبه شاخص یکپارچه خشکسالی به صورت ماهیانه و

خشکسالی عمل می‌کند. در حالت کلی یک سیستم پشتیبانی در تصمیم‌گیری شامل بانک اطلاعاتی کامل اطلاعات هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی، اجتماعی و اقتصادی و زیست محیطی، الگوریتم‌ها و برنامه‌های اجرایی پایش و پیش‌بینی خشکسالی، تحلیل‌های منطقه‌ای و تصمیم‌گیری و توانایی نمایش گرافیکی و ارتباط مناسب با کاربر می‌باشد. به منظور طراحی سیستم پایش خشکسالی براساس شاخص یکپارچه خشکسالی، می‌بایست یک سری اطلاعات یا داده‌ها جمع‌آوری شوند. در شکل ۱۴ نحوه ارتباط بانک اطلاعاتی، GIS و پایش خشکسالی در یک سیستم پشتیبانی در

فصلی نیز توزیع مکانی خشکسالی را رصد نمود.

### جمع بندی

آستانه های خشکسالی ارائه شد. این آستانه ها با استفاده از تجربیات و گزارش ها و همچنین مشاهده عینی در حوضه تعیین شده اند. با پیاده سازی شاخص یکپارچه در حوضه آبریز زاینده رود مشاهده شد که در سال های اولیه بازه زمانی مورد مطالعه، یعنی در سال های ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۵، در بیشتر نقاط حوضه ترسالی وجود داشته اما در سال های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ در بیشتر نقاط حوضه خشکسالی وجود داشته است. ترسال ترین سال حوضه سال آبی ۱۳۷۲ و خشکسال ترین آن سال ۱۳۷۸ و پس از آن سال ۱۳۹۰ و ۱۳۸۷ می باشد. در ادامه این تحقیق می توان به معرف های دیگری که در تحلیل خشکسالی وجود دارند، نظیر رطوبت در لایه های مختلف خاک، پرداخته و آنها را به لایه های اطلاعاتی اضافه نمود.

در این تحقیق یک شاخص یکپارچه برای ارزیابی و آنالیز خشکسالی ارائه و به صورت موردی در حوضه آبریز زاینده رود در بازه زمانی سال های ۱۳۷۰ لغایت ۱۳۹۰ به کار رفت. شاخص یکپارچه خشکسالی تلفیقی از انواع مختلف خشکسالی می باشد که عبارتند از: خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیک، خشکسالی کشاورزی، خشکسالی اجتماعی- اقتصادی و خشکسالی زیست محیطی. پارامترها یا لایه های مختلفی که در یکی از انواع خشکسالی وجود دارند، وزن دهی شدند. وزن های اختصاص داده شده به هر یک از لایه ها براساس تجربه و نیز مراجع و مقالات مختلف می باشد. همچنین محرک ها و یا

### منابع مورد استفاده

۱. اداره کل مدیریت بحران استانداری اصفهان. ۱۳۹۰. خشکسالی، زاینده رود، راهکارها و چالش ها.
۲. کارآموز، م و ش. عراقی نژاد. ۱۳۸۹. هیدرولوژی پیشرفته، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۳. عابدی کوپایی، ج. ۱۳۹۰. پهنه بندی خشکسالی استان اصفهان و راهکارهای کاهش اثر کم آبی. خشکسالی، زاینده رود، راهکارها و چالش ها، اداره کل مدیریت بحران استانداری اصفهان.
۴. صفایی، م. ۱۳۹۰. مدیریت جامع منابع آب حوضه آبریز زاینده رود. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۵. مرید، س.، م. مقدسی، ش. پایمزد و ه. قائمی. ۱۳۸۴. گزارش طراحی سیستم پایش خشکسالی استان تهران. شرکت سهامی مدیریت منابع آب، معاونت پژوهش و مطالعات پایه، طرح تحقیقات کاربردی، گزارش نهایی.
۶. مهندسین مشاور زاینده آب. ۱۳۸۷. گزارش مطالعات منابع و مصارف آب حوضه زاینده رود. مطالعات مرحله اول، جلد اول هواشناسی.
۷. میزبانی، م. ۱۳۸۸. مدل سازی حوضه ای با استفاده از روش پویایی سیستم به منظور بررسی تأثیر جنبه های کمی و کیفی (شوری) آب بر وضعیت کارایی آب در حوضه. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

8. <http://www.drought.iranhydrology.net>

9. Byun, T. R. and D. A. Wilhite. 1999. Objective quantification of drought severity and duration. J. of Climate 12: 2747-2756.

10. Hayes, M. J. 2000. What is drought? National Drought Mitigation Center, URL: [www.drought.unl.edu/whatis/indices.htm](http://www.drought.unl.edu/whatis/indices.htm).

11. Hong, W. U., M. J. Hayes, A. Welss and Q. Hu. 2001. An evaluation the standardized precipitation index, the China-z index and the statistical z-score. International J. of Climatology 21: 745-758.

12. Karamouz, M., Rasouli, K. and Nazif, S. 2009. Development of a hybrid index for drought prediction, J. of Hydrologic Engineering 14(6):617-627.

13. Karl, T. H. R. and R. W. Knight. 1985. Atlas of monthly Palmer hydrological drought index for the contiguous United States. Historical Climatology Series 3-7, National Climate Data Center.
14. Niemeyer, S. 2008. New drought indices. Option Mediterraneennes, Serie A: Seminaires Mediterraneens 80: 267-274.
15. Pandey, R. P., A. Pandey, R. V. Galkate, R. H. Byun and B. C. Mal. 2010. Integrating hydro-meteorological and physiographic factors for assessment of vulnerability to drought, Water Resour. Manage. 24: 4199-4217.
16. Pandey, S., A. C. Pandey, M. S. Nathawat, M. Kumar and N. C. Mhanti. 2012. Drought hazard assessment using geoinformatics over parts of Chotanagpur Plateau region, Jharkhand, India. Nat Hazards 63: 279-303.
17. 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.
18. Wilhite, D. A. and M. H. Glantz. 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water Intl. 10: 111-120.



## Design of Drought Monitoring System Based on Integrated Index In Zayanderood River Basin -Iran

M. Khoshoei Esfahani<sup>1\*</sup>, H.R. Safavi<sup>1</sup> and A. R. Zamani<sup>2</sup>

(Received: Dec. 08-2012 ; Accepted : Dec. 29-2015)

### Abstract

Drought is an extended period of low precipitation which resulted in injuries to consumers of water-and reducing their performance, especially in agriculture. Different indices have already been proposed for evaluating drought, based on one of the varieties of meteorological, hydrological and agricultural droughts, but no indices has been identified yet, encompassing all factors. This study has been carried out to assess existing indices for drought monitoring and proposing an integrated index including main factors of drought and is applied to the Zayandehrood river basin as study area, because of its sensitive situation in the central Iran plateau. An integrated index includes various drought factors such as meteorological, hydrological, agricultural, socio - economical and environmental factors. In designing of this integrated index, a combination of static and dynamic layers has been used. Static layers include land use, slope and soil type. Dynamic layers include precipitation, evaporation, temperature, surface water storage, groundwater levels position, and environmental needs. All these layers are analyzed in GIS software and drought zoning maps is prepared. Results showed that based on values of integrated index, water year 1371-72 was a wet year and water year 1378-79 was the most critical, in terms of drought.

**Keywords:** Vulnerability, Drought, Index, Watershed.

---

1. Dept. of Civil Eng, Isf Univ of Technol, Isfahan, Iran.

2. Subsea Research and Design Center, Isf. Univ. of Technol., Isfahan, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: mehrdad\_khoshoei\_esfahani@yahoo.com