



داده کاوی احتمال وقوع خشکسالی در ایران

اسماعیل حیدری علمدارلو^۱ سحر نسب پور^{۲*}، حمیدرضا کشتکار^۳

۱. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
 ۲. دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
 ۳. دکتری سنجش از دور و GIS، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- * نویسنده مسئول: saharnasabpour@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۲۰

چکیده

خشکسالی در سال‌های اخیر خسارات زیادی به کشور وارد ساخته است که باید تلاش کرد تا بابت بهره‌گیری از مدیریت منطقی، در حد امکان خسارات ناشی از آن را کاهش داد. بدین منظور لازم است تا مناطق متأثر از این پدیده مقایسه شوند و در اولویت اقدامات مدیریتی قرار گیرند. هدف از انجام این مطالعه مشخص کردن الگوهای مکانی و زمانی خطرات خشکسالی و تهیه نقشه شاخص خطر خشکسالی ایران است. در این تحقیق داده‌های بارش ماهانه ۴۶ ایستگاه انتخاب شدند. به منظور تهیه نقشه شاخص خطر خشکسالی یا DHI ابتدا اقدام به محاسبه درصد احتمال وقوع خشکسالی با استفاده از داده‌های SPI در دو گام زمانی ۶ و ۱۲ ماهه گردید. در مرحله بعد با استفاده از روش IDW احتمال وقوع طبقات مختلف خشکسالی پهنه‌بندی شد. سپس به هر طبقه خشکسالی وزن داده شد بدین صورت که به طبقه خشکسالی نرمال وزن یک و به خشکسالی خیلی شدید که بیشترین خطر را هنگام وقوع ایجاد می‌کند وزن چهار داده شد. همچنین برای رتبه‌بندی هر یک از طبقات خشکسالی از روش شکست طبیعی در محیط GIS استفاده گردید. در نهایت مجموع حاصل ضرب نقشه رتبه‌بندی شده در وزن هر یک از طبقات، شاخص خطر خشکسالی محاسبه شد. نتایج نشان داد که به ترتیب برای خشکسالی شش ماهه بیشترین درصد مساحت مربوط به طبقه خطر زیاد و کمترین نیز مربوط به طبقه خطر متوسط است. برای خشکسالی ۱۲ ماهه تقریباً نیمی از کشور در طبقه خطر خیلی زیاد قرار می‌گیرد کمترین درصد مساحت نیز مربوط به طبقه خطر کم است. به‌طور کلی بررسی احتمال وقوع خشکسالی در این تحقیق نشان داد که با افزایش شدت خشکسالی احتمال وقوع آن کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: خشکسالی؛ شاخص بارش استاندارد شده؛ شاخص خطر خشکسالی؛ روش شکست طبیعی؛ روش معکوس وزنی فاصله

■ مقدمه

خشکسالی پدیده‌ای است که در تمام نواحی اقلیمی جهان از خیلی خشک تا خیلی مرطوب رخ می‌دهد و به کاهش در مقدار متغیرهای هیدرومتئورولوژی در مقایسه با میانگین طولانی مدت آن‌ها مربوط می‌شود (۲۵، ۸، ۱۹). ابعاد این فاجعه در مناطق خشک و نیمه‌خشک حادث‌تر بوده و اثرات آن ممکن است سال‌ها بعد از خشکسالی تداوم داشته باشد. در دهه‌های اخیر به دلیل مصرف روزافزون منابع آبی، پدیده خشکسالی ابعاد تازه‌ای پیدا کرده است و جمعیت‌های انسانی زیادی را تحت تأثیر قرار داده است (۱۵).

در طول یک دهه گذشته، خشکسالی که یکی از پرهزینه‌ترین بلایای طبیعی است، چالش بزرگی در مدیریت منابع آب ایران ایجاد کرده است (۹). این پدیده از بارندگی، درجه حرارت، تبخیر و تعرق، محتوای رطوبت قابل دسترس خاک و وضعیت آب زیرزمینی تأثیر می‌پذیرد (۲۱ و ۲۸) و در بین بلاهای طبیعی تهدیدکننده‌ی انسان و محیط‌زیست، خشکسالی هم از نظر فراوانی رخ دادن و هم از جنبه اندازه زیان‌های وارده در صدر قرار دارد (۱۴).

خشکسالی هواشناسی به‌عنوان منشأ انواع خشکسالی‌های دیگر شناخته می‌شود. در واقع خشکسالی‌های هیدرولوژیکی و کشاورزی از خشکسالی هواشناسی به وجود می‌آیند (۲). بنابراین استفاده از متغیرهای هواشناسی برای مطالعه انواع خشکسالی‌ها می‌تواند مناسب باشد، مخصوصاً در مناطقی که سایر متغیرها اندازه‌گیری نشده‌اند (۹).

اقدامات اولیه پایش خشکسالی بیشتر با تحلیل فراوانی منطقه‌ای خشکسالی در مقیاس کوچک آغاز شد (۳۱). سپس توسط سایر محققین دنبال گردید. اصولاً برای تحلیل کمی خشکسالی، وجود یک شاخص مشخص جهت تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است (۳۰). شاخص‌های خشکسالی به‌عنوان کلیدی جهت کمی‌سازی تعریف

خشکسالی در اجرای برنامه‌های خشکسالی به‌شمار می‌روند (۳۳، ۳۲).

آغاز بررسی وضعیت خشکسالی به‌صورت کمی به سال ۱۸۸۷ میلادی مربوط است که سازمان هواشناسی انگلستان بین خشکسالی مطلق و خشکسالی جزئی تفاوت قائل شد (۲۶). مک کی و همکاران شاخص بارش استاندارد شده یا SPI را به منظور تعریف و پایش خشکسالی و تعیین کمبود بارش برای مقیاس‌های زمانی ۴۸، ۲۴، ۱۲، ۹، ۶، ۳ ماهه توسعه دادند (۱۷). شاخص SPI از طرف سازمان اقلیم جهانی به‌عنوان شاخص خشکسالی مرجع برای توصیف خشکسالی پذیرفته شده است (۲۴). بسیاری از محققین به انعطاف‌پذیری این شاخص و توانایی آن در تحلیل جنبه‌های مختلف خشکسالی اذعان داشته‌اند (۱، ۱۱). شاخص SPI قادر به تعیین خشکسالی و ترسالی در یک مقیاس زمانی خاص برای هر مکان با دارا بودن داده‌های بارندگی است (۲۰).

Heydari و همکاران (۲۰۱۴) به‌منظور بررسی خشکسالی‌های دشت یزد - اردکان از شاخص SPI در سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که ضمن افزایش تداوم خشکسالی‌ها تا حدودی از شدت آن‌ها کاسته شده است (۱۲).

Pei و همکاران (۲۰۱۳) برای بررسی اثرات خشکسالی در چین خشکسالی را در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه از شاخص SPI استفاده کردند. آن‌ها توانستند ارتباط قوی بین خشکسالی و ناهنجاری‌های آب و هوایی پیدا کنند (۲۳). Xia و همکاران (۲۰۱۳) از شاخص SPI برای تجزیه و تحلیل تنوع فضایی و زمانی خشکسالی در پاکستان طی دوره آماری ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۷ در مقیاس ۳، ۶ و ۱۲ ماهه استفاده کردند. نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که خشکسالی‌های بزرگ و گسترده در نواحی بزرگ پاکستان در حال رخ دادن است.

متمرکز شده است. همچنین نقشه شاخص خطر خشکسالی در بازه زمانی ۱۲ ماهه نشان داد که تقریباً بیشتر نواحی استان اصفهان در طبقه خطر شدید خشکسالی قرار می‌گیرند (۷).

Nasrollahi و همکاران (۲۰۱۵) شاخص خطر خشکسالی را در استان سمنان با استفاده از شاخص SPI انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که در گام زمانی ۳ ماهه مناطق شمالی و مرکزی و در گام زمانی ۱۲ ماهه مناطق جنوبی استان از خطر خشکسالی بیشتری برخوردارند (۲۲).

هدف از انجام مطالعه حاضر مشخص کردن الگوهای مکانی و زمانی خشکسالی و تهیه نقشه خطر خشکسالی ایران است.

■ مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

کشور ایران با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱).

مجاورت ایران با منطقه نزول پرفشارهای جنب مداری باعث شده که نوار بیابانی نیمکره شمالی از قلب این کشور عبور کند و شرایط نامساعد طبیعی را بر وسعت زیادی از این سرزمین حاکم کند. ایران به دلیل گستردگی و تنوع بوم‌شناختی و بلندی‌های متنوع دارای شرایط آب و هوایی بسیار متفاوت است.

با توجه به گردش عمومی جو در نیمکره شمالی، موقعیت ایران به گونه‌ای است که در دوره سرد سال از توده‌های هوایی گوناگون تأثیر می‌پذیرد. با حرکت پرفشار جنب حاره و ورود باد همراه با آن به عرض‌های پایین‌تر، از ماه دسامبر ورود بادهای غربی به ایران آغاز می‌گردد. توده‌های هوایی، به وسیله سامانه‌های چرخندی و واچرخندی و یا گسترش زبانه‌های آن‌ها، به ایران می‌رسند و شرایط رطوبتی و دمایی روزمره ایران را تعیین می‌کنند (۵).

همان‌طور که در سابقه تحقیق گفته شد تحقیقات زیادی در ارتباط با خشکسالی با استفاده از روش‌های مختلف و به‌ویژه SPI صورت گرفته است و نقشه‌های حاصل فقط گستره مکانی وقوع خشکسالی در منطقه را نشان می‌دهند (۳۴). اما در سال‌های اخیر تحقیقاتی در زمینه بررسی شاخص خطر خشکسالی بر اساس درصد احتمال وقوع خشکسالی و در نهایت تهیه نقشه مکانی خطر خشکسالی صورت گرفته است. برای نمونه Islam و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی احتمال خطر خشکسالی مناطق غربی بنگلادش پرداختند. آن‌ها با استفاده از تغییرات شاخص SPEI^۱ در بازه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۳، شدت و فراوانی خشکسالی و در مرحله بعد با بهره‌گیری از انتگرال‌گیری حاصل ضرب شدت در فراوانی، خطر خشکسالی را محاسبه کردند. نتایج نشان داد که مناطق جنوب غربی محدوده مورد مطالعه احتمال خطر خشکسالی بیشتری نسبت به شمال غربی دارد (۱۳).

Geng و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی خطر خشکسالی کشاورزی در مقیاس جهانی از شاخص DHI بر اساس شدت و احتمال وقوع خشکسالی که از شاخص SPI استخراج شده بود و داده فنولوژی محصولات غالب کشاورزی مثل برنج، ذرت، گندم، جو، سورگوم و سویا برای ارزیابی کشاورزی در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۸ استفاده کردند. نتایج نشان داد که ۲۳/۵۷ و ۲۷/۱۹ درصد از اراضی کشاورزی کل جهان به ترتیب در مناطقی با خطر بالا و بسیار بالا قرار می‌گیرد (۶).

در ایران نیز تحقیقات محدودی در این زمینه صورت گرفته است برای مثال Ghaseminejad و همکاران (۲۰۱۴) در ارزیابی ریسک خشکسالی استان با استفاده از شاخص SPI در مقیاس ۱۲ ماهه، به این نتیجه رسیدند که به‌طور عمده مناطق مستعد نسبت به وقوع خشکسالی بسیار شدید در قسمت مرکزی و مناطق مستعد نسبت به وقوع خشکسالی بسیار شدید در قسمت‌های شمال و شمال شرق استان اصفهان

^۱Standardized Precipitation Evapotranspiration Index



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایران و ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده

روش پژوهش

برای انجام پژوهش، داده‌های بارش ماهانه ۴۶ ایستگاه سینوپتیک کشور، که دارای آمار بلندمدت و قابل اعتماد بودند، انتخاب شد که در شکل ۱ پراکنش آن‌ها آورده شده است. ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده از ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ دارای آمار کامل و قابل اعتمادی بودند و اندک داده‌های گمشده آن‌ها با استفاده از نزدیک‌ترین ایستگاه همسایه و به کمک رابطه رگرسیون خطی برآورد شد. سپس به منظور برآورد شاخص خطر خشکسالی از شاخص SPI استفاده شده است.

برای محاسبه این شاخص ابتدا توزیع آماری مناسب بر آمار بلندمدت بارندگی‌ها برازش داده می‌شود، سپس تابع جمععی با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌شود (۳، ۱۷، ۱۸). تام^۱ (۱۹۶۶) دریافت که توزیع گاما برای سری‌های زمانی بارش بهترین برازش را دارد و به همین جهت مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳)، شاخص SPI را بر مبنای توزیع گاما قرار دادند (۱۷). مقادیر مثبت SPI نشان‌دهنده بارندگی بیشتر از بارش متوسط و مقادیر منفی آن معنای عکس را دارد. طبق این روش دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به‌طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد و

هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد. بنابراین مدت دوره خشکسالی با شروع و خاتمه ارقام منفی SPI تعیین می‌شود و مقادیر جمععی نیز SPI بزرگی و شدت دوره خشکسالی را نشان می‌دهد (۱۰). به‌طور کلی به‌منظور محاسبه SPI، باید داده‌های بارندگی دوره آماری هر ایستگاه به تابع توزیع احتمال گاما برازش داده شود. تابع چگالی احتمال این توزیع در معادله ۱ آورده شده است (۱۷):

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad \text{for } x > 0 \quad (1)$$

x مقدار بارش، α پارامتر شکل، β پارامتر مقیاس و $\Gamma(\alpha)$ معرف تابع گاما است. لازم به ذکر است که مقادیر α و β باید بیشتر از صفر باشد. α و β با استفاده از معادلات ۲ تا ۴ محاسبه می‌شود.

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{4A} \quad (3)$$

^۱ Tam

هر ماه از سال به تابع توزیع گاما برازش داده شد، تابع به دست آمده نشان دهنده احتمال تجمعی یک رویداد بارش برای آن ماه از دوره آماری است که ایجاد طبقه‌بندی مقادیر SPI را ممکن می‌سازد. یکی از بارزترین و مشهودترین نیاز یک برنامه‌ریزی خشکسالی، داشتن نرم‌افزاری کارآمد جهت محاسبه شاخص‌های رایج خشکسالی است. نرم‌افزار DIP^۱ یکی از نرم‌افزارهایی است که جهت انجام و اجرای پروژه‌های مربوط به خشکسالی به‌ویژه تجزیه و تحلیل شاخص‌های رایج خشکسالی و مقایسه این شاخص‌ها طراحی شده است. در این نرم‌افزار محاسبه شاخص‌های رایج به‌صورت کامل و جامع، همچنین محاسبه آماری، ترسیم نمودارها، مقایسه شاخص‌ها و غیره به نحو کاملاً کاربرپسند ارائه شده است (۱۶). در تحقیق حاضر از نرم‌افزار DIP برای محاسبه شاخص SPI در دو گام زمانی ۶ و ۱۲ ماهه استفاده شد. پس از محاسبه SPI، طبقه‌بندی طبقه‌های شدت خشکسالی بر اساس مقادیر SPI بر مبنای جدول ۱ صورت گرفت. سپس فراوانی وقوع طبقات خشکسالی در هر یک از گام‌های زمانی محاسبه شد و در نهایت از تقسیم فراوانی وقوع خشکسالی در هر طبقه به کل حالات ممکن وقوع خشکسالی در هر طبقه و گام زمانی، درصد احتمال وقوع خشکسالی محاسبه شد.

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(\bar{x})}{n} \quad (۴)$$

n تعداد مشاهدات بارندگی است. به علاوه \bar{x} برای یک ماه مشخص، میانگین بارندگی تجمعی برای یک ماه در طول دوره آماری است. پارامترهای محاسبه شده اجازه می‌دهد که توزیع بارندگی در ایستگاه به‌صورت مؤثری توسط یک تابع احتمال تجمعی ریاضی به‌صورت معادله ۵ نشان داده شود.

$$G(x) = \int_0^x \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (۵)$$

از آنجا که تابع گاما برای مقادیر $x = 0$ تعریف نشده است و توزیع بارندگی ممکن است مقدار صفر اتخاذ کند احتمال تجمعی با استفاده از رابطه (۶) به دست می‌آید.

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (۶)$$

q همان احتمال صفر و $H(x)$ تابع احتمال تجمعی با وجود داده‌های $x = 0$ است. سپس برای تولید مقادیر SPI تجمعی $H(x)$ به توزیع نرمال استاندارد مبدل شده است (۱۷). زمانی که مقادیر بارندگی هر گام زمانی برای

جدول ۱. طبقه‌بندی شدت خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص SPI

مقادیر SPI	طبقه خشکسالی
۲ و بیشتر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
-۲ و کمتر	خشکسالی بسیار شدید

هنگام وقوع ایجاد می‌کند وزن چهار داده شد. نقشه هر طبقه شدت نیز بر اساس مقادیر درصد احتمال وقوع به چهار زیر طبقه با استفاده از روش شکست طبیعی² طبقه‌بندی گردید. این روش بر اساس یک الگوریتم محاسباتی، سعی در به حداقل رساندن اختلاف بین داده‌ها در هر طبقه و به حداکثر رساندن اختلاف بین طبقات می‌کند. در واقع این الگوریتم برای ایجاد طبقات از متوسط هر دامنه استفاده می‌کند تا توزیع داده‌ها در طول هر دامنه از یکنواختی بیشتر برخوردار باشد (22). در این تحقیق از نرم‌افزار Arc Gis 9.3 به منظور تعیین نقاط شکست طبیعی استفاده شد. سپس به زیر طبقه با کمترین درصد احتمال وقوع خشکسالی، رتبه یک و زیر طبقه با بیشترین درصد احتمال وقوع خشکسالی، رتبه چهار اعمال گردید. نتایج و نحوه وزن و رتبه‌دهی در جدول 2 آمده است.

مقادیر درصد احتمال وقوع خشکسالی که در مرحله قبل برای هر ایستگاه و طبقه شدت خشکسالی محاسبه گردید، در این مرحله به محیط Arc Gis 9.3 فراخوانده شده و با استفاده از ابزار تحلیل زمین‌آماری، میان‌یابی داده‌های نقطه‌ای از روش IDW¹ یا معکوس وزنی فاصله استفاده شد. در این روش فاصله هر نقطه یا پیکسل با پیکسل مجاور سنجیده شده و سپس برحسب مقدار فاصله با آن سلول، ارزش یا ضریب وزن داده می‌شود و در نهایت ارزش سلول مرکزی ماتریس با جمع ارزش‌های نقاط همسایه و میانگین وزنی آن‌ها به دست می‌آید (3).

از آنجا که وقوع شدت‌های متفاوت خشکسالی در تعیین میزان خطر یک منطقه از ارزش یکسانی برخوردار نیست، بنابراین جهت کمی‌سازی و تهیه نقشه شاخص خطر خشکسالی مطابق جدول 2 به هر طبقه خشکسالی وزن داده شد بدین صورت که به طبقه خشکسالی نرمال وزن یک و به خشکسالی خیلی شدید که بیشترین خطر را

جدول 2. وزن و رتبه اعمال شده به طبقات شدت خشکسالی

گام زمانی ۱۲ ماه		گام زمانی ۶ ماه		رتبه	وزن	شدت
مساحت به درصد	درصد احتمال وقوع	مساحت به درصد	درصد احتمال وقوع			
۱	متوسط	۳۶/۵	$7/58 \geq$	۱	۱	متوسط
۴۲/۲	۶/۹۶-۸/۶۹	۳۶/۵	$7/58-8/60$	۲		
۲۸/۹	۸/۶۹-۱۰/۵۶	۱۹/۲	$8/60-10/13$	۳		
۸/۹	$10/56 \leq$	۷/۸	$10/13 \leq$	۴		
۲	شدید	۱۷/۶	$2/73 \geq$	۱	۲	شدید
۳۹/۹	۳/۷۶-۵/۰۵	۳۳/۹	$2/73-3/77$	۲		
۱۴/۹	۵/۰۵-۶/۸۴	۳۲/۷	$3/77-4/87$	۳		
۱۳	$6/84 \leq$	۱۵/۸	$4/87 \leq$	۴		
۳	خیلی شدید	۲۶	$1/52 \geq$	۱	۳	خیلی شدید
۳۵/۴	۱/۵۹-۲/۳۴	۱۶/۵	$1/52-2/17$	۲		
۴۳/۲	۲/۳۴-۳/۰۳	۳۲/۹	$2/17-3/72$	۳		
۸/۹	$3/03 \leq$	۲۴/۶	$3/72 \leq$	۴		

²Natural break method

¹Inverse distance weighting

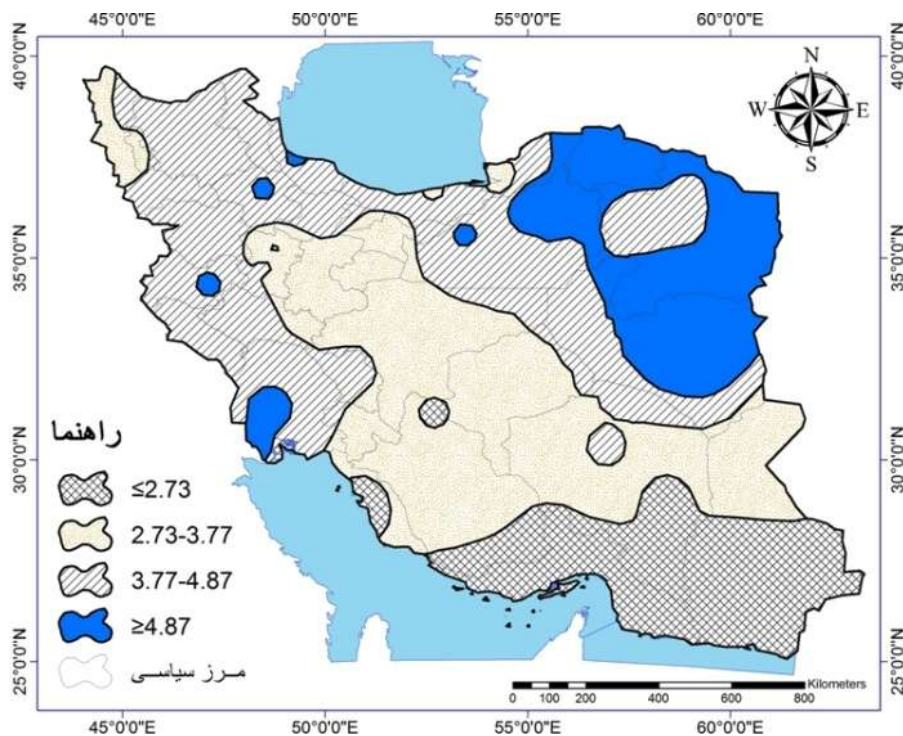
نتایج

اشکال ۲ تا ۷ نقشه درصد احتمال وقوع خشکسالی‌های متوسط، شدید و خیلی شدید برای گام‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه نمایش می‌دهد. با توجه نقشه درصد احتمال وقوع خشکسالی خیلی شدید شش ماهه در شکل ۴، مناطق جنوب شرقی ایران کمتر و مناطق غربی نوار مرکزی همچنین بخش‌هایی از مرکز و سواحل شرقی دریای خزر بیشتر در معرض خشکسالی خیلی شدید شش ماهه قرار دارند. با توجه به شکل ۳ احتمال وقوع خشکسالی شدید شش ماهه در نواحی خراسان بزرگ بیشتر از سایر نواحی و در مناطق ساحلی دریای عمان و بخشی از خلیج فارس کمتر از سایر نواحی است. همچنین نتایج حاصل از بررسی خشکسالی متوسط شش ماهه که در شکل ۲ آمده است، نشان می‌دهد که در مناطق جنوب شرق و شمال غربی ایران احتمال وقوع خشکسالی متوسط شش ماهه بیشتر است و هر چه از این مناطق به طرف مرکز ایران می‌رویم این احتمال کاهش می‌یابد.

در نهایت شاخص خطر خشکسالی یا DHI^1 با استفاده از معادله ۷ و نرم‌افزار Arc Gis 9.3 در گام‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه محاسبه شد.

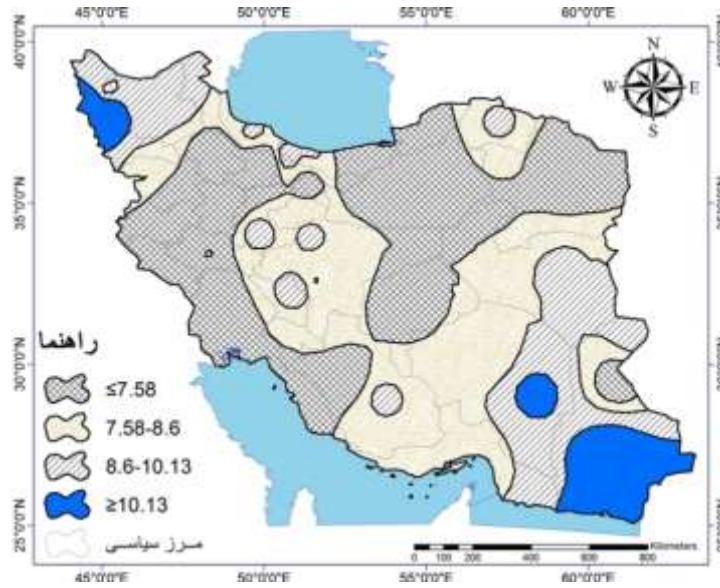
$$DHI = (MDr \div MDw) + (SDr \div SDw) + (VSDr \div VSDw) \quad (7)$$

در معادله بالا $NNMDr$ ، SDr و $VSDr$ به ترتیب رتبه‌های داده شده به خشکسالی نرمال، متوسط، شدید و خیلی شدید هستند و MDw ، SDw و $VSDw$ به ترتیب وزن‌های اعمال شده به خشکسالی نرمال، متوسط، شدید و خیلی شدید هستند. با توجه به معادله ۷، شاخص DHI می‌تواند ارزشی بین حداقل ۶ تا حداکثر ۲۴ داشته باشد. سپس نقشه‌های شاخص خطر خشکسالی در چهار طبقه خطر کم، متوسط، شدید و بسیار شدید طبقه‌بندی شد.

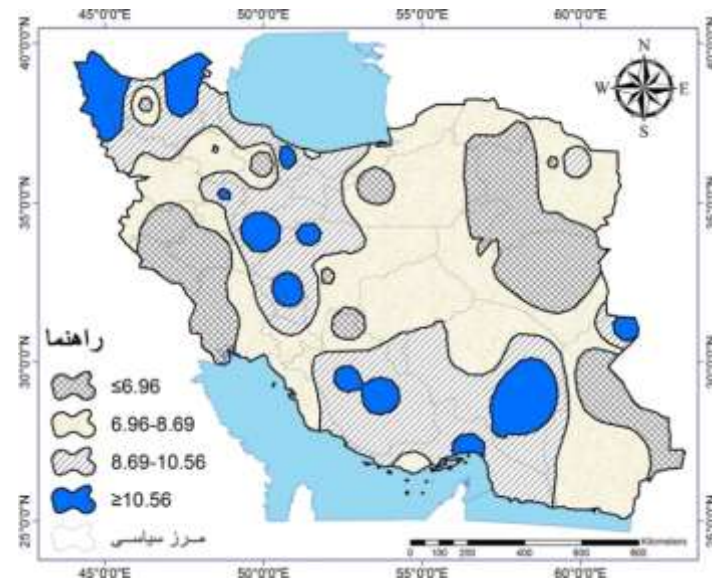


شکل ۲. نقشه احتمال وقوع خشکسالی متوسط ۶ ماهه

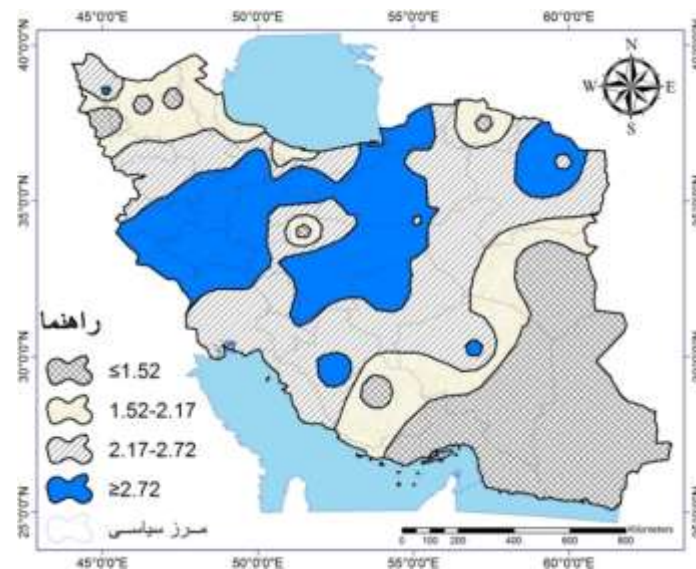
¹ Drought Hazard Index



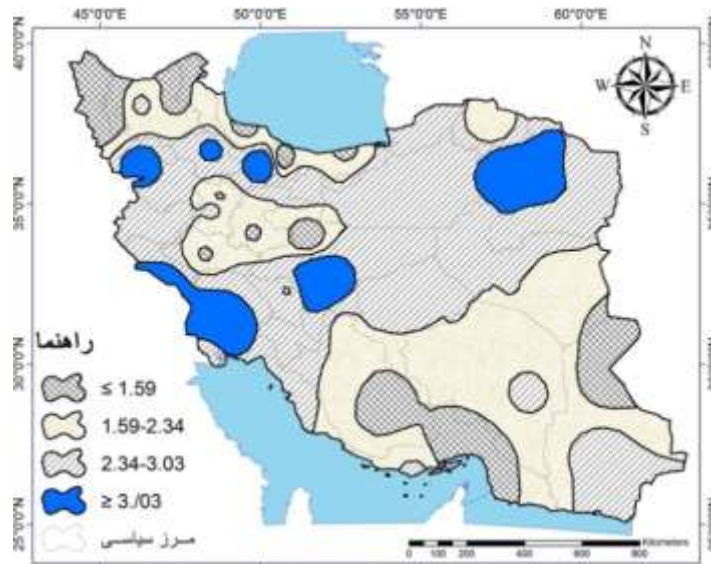
شکل ۳. نقشه احتمال وقوع خشکسالی شدید ۶ ماهه



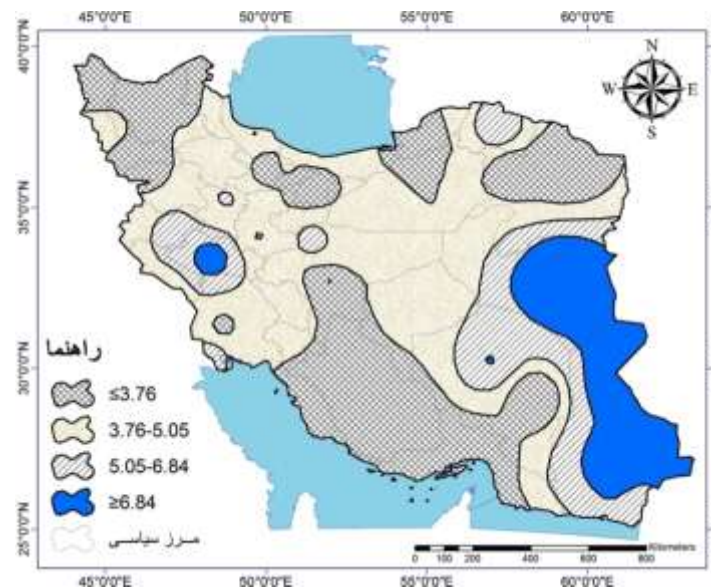
شکل ۴. نقشه احتمال وقوع خشکسالی خیلی شدید ۶ ماهه



شکل ۵. نقشه احتمال وقوع خشکسالی متوسط ۱۲ ماهه



شکل ۶. نقشه احتمال وقوع خشکسالی شدید ۱۲ ماهه



شکل ۷. نقشه احتمال وقوع خشکسالی خیلی شدید ۱۲ ماهه

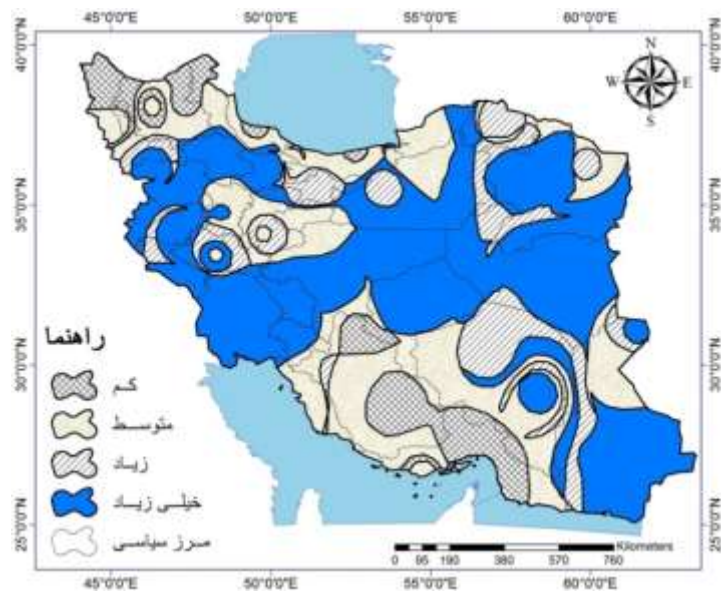
دارای کمترین احتمال وقوع خشکسالی شدید ۱۲ ماهه هستند. همچنین از شکل ۵ می‌توان نتیجه گرفت که قسمت‌های پراکنده‌ای از شمال غرب تا جنوب شرق دارای بیشترین احتمال و قسمت‌های غرب و شرق تا شمال شرق کشور دارای کمترین احتمال وقوع خشکسالی متوسط ۱۲ ماهه هستند.

نقشه‌های ۸ و ۹ توزیع مکانی شاخص DHI ایران در گام‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه و جدول ۳ درصد طبقات این شاخص را نشان می‌دهد. توزیع مکانی شاخص DHI در گام زمانی شش ماهه نشان می‌دهد که قسمت‌هایی از غرب به طرف مرکز و شمال شرق دارای بیشترین و

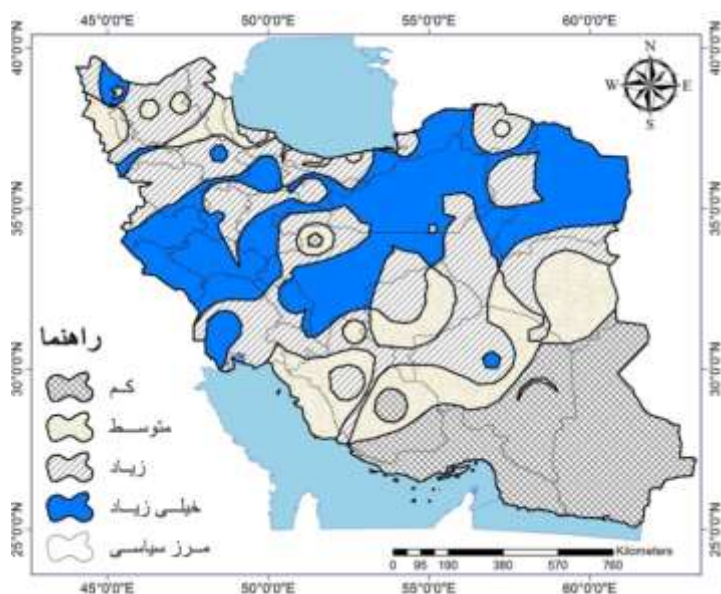
در شکل ۷ نقشه درصد احتمال وقوع خشکسالی خیلی شدید ۱۲ ماهه نشان می‌دهد که بخش‌های از خراسان رضوی، اصفهان، خوزستان و بخش‌هایی از شمال غربی کشور دارای احتمال بیشتر و سواحل نزدیک به تنگه هرمز بخش‌هایی از جنوب استان فارس، سواحل شمالی کشور و اطراف دریاچه ارومیه دارای احتمال وقوع کمتر خشکسالی خیلی شدید ۱۲ ماهه هستند. نتایج حاصل از خشکسالی شدید ۱۲ ماهه که در شکل ۶ آورده شده است، نشان می‌دهد که به‌طور کلی نواحی شرقی و جنوب شرقی دارای بیشترین احتمال وقوع و نواحی شمال غربی، شمال شرقی سواحل خلیج فارس تا مرکز ایران

بیشترین و سواحل تنگه هرمز تا مرکز استان فارس و نیز قسمت‌های شمال غرب کشور دارای کمترین خطر خشکسالی ۱۲ ماهه هستند. با توجه به جدول ۳ برای خشکسالی ۱۲ ماهه تقریباً نیمی از کشور در طبقه خطر خیلی زیاد قرار می‌گیرد کمترین درصد مساحت نیز مربوط به طبقه خطر کم است. همچنین بیش از ۶۵ درصد کل کشور در طبقه خطر خیلی شدید و شدید قرار می‌گیرند.

قسمت‌های جنوب و جنوب شرق کشور دارای کمترین مقدار شاخص خطر خشکسالی شش ماهه هستند. با توجه به جدول ۳ برای خشکسالی شش ماهه تقریباً ۶۰ درصد از کل کشور در طبقه‌های خطر خیلی زیاد و خطر زیاد قرار می‌گیرد. کمترین درصد مساحت نیز مربوط به طبقه خطر متوسط است. توزیع مکانی شاخص خطر خشکسالی DHI در گام زمانی ۱۲ ماهه نشان می‌دهد که کمربند میانی ایران از شرق تا غرب و همچنین قسمت‌هایی از جنوب شرق دارای



شکل ۸- نقشه شاخص خطر خشکسالی ۶ ماهه



شکل ۹. نقشه شاخص خطر خشکسالی ۱۲ ماهه

جدول ۳. درصد مساحت طبقات خطر خشکسالی

گام زمانی	طبقات خطر		
	کم (%)	متوسط (%)	شدید (%)
شش ماهه	۲۳	۱۷/۵	۳۱/۴
دوازده ماهه	۹/۹	۲۸/۱	۴۸/۲

■ بحث و نتیجه گیری

خشکسالی پدیده‌ای است که به آرامی رخ می‌دهد و باعث بروز تغییرات مهمی در منابع و بخش‌های مختلف شده و از جمله بر کشاورزی و منابع طبیعی، به‌ویژه منابع آب اثر می‌گذارد (۲۹). بررسی و ارزیابی خشکسالی و ویژگی‌های آن در یک منطقه و نیز تغییرپذیری الگوی زمانی و مکانی آن نقش مهمی در توسعه روش‌های مدیریت منابع آب و طراحی راهکارهایی برای کاهش اثرات منفی خشکسالی‌های احتمالی دارد (۲۷). بررسی‌های احتمال وقوع خشکسالی در تحقیق حاضر نشان می‌دهد که به‌طور کلی با افزایش شدت خشکسالی احتمال وقوع آن کاهش می‌یابد که با نتایج Ghaseminejad و همکاران (۲۰۱۴) و Nasrollahi و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد (۷،۲۲). لازم به ذکر است که در همه ایستگاه‌های مورد بررسی این امر صادق نیست. نتایج حاصل از بررسی شاخص خطر خشکسالی ایران نشان می‌دهد که لزوماً مناطقی با احتمال وقوع کمتر خشکسالی خیلی شدید نسبت به مناطق دیگر دارای شاخص خطر خشکسالی کمتری نیستند. به‌عنوان

مثال زابل در شرق ایران دارای احتمال وقوع خشکسالی خیلی شدید ۱۲ ماهه کم است ولی در نهایت در طبقه خطر بسیار زیاد قرار می‌گیرد. این امر نشان می‌دهد شاخص خطر خشکسالی ترکیبی از هر سه طبقه خشکسالی است و می‌تواند برای برنامه‌ریزی‌های مربوط به خشکسالی استفاده شود. نتایج حاصل از بررسی شاخص خطر خشکسالی ایران در دو بازه زمانی ۶ و ۱۲ ماهه نشان می‌دهد که بیش از ۶۰ درصد از کل مساحت ایران دارای خطر شدید و بسیار شدید از نظر احتمال وقوع خشکسالی هستند. این امر نشان می‌دهد که پدیده خشکسالی تأثیر بسیار زیادی بر توسعه پایدار ایران خواهد داشت. استقرار نظام پایش و پیش‌بینی خشکسالی، ایجاد مشاغل غیر وابسته به آب، آموزش جامعه در راستای صرفه‌جویی و ایجاد روش‌های نوین برای بهبود مصرف آب در بخش‌های شرب، صنعتی و کشاورزی از جمله اقداماتی است که می‌توان برای کاهش خطر خشکسالی در مناطق پرخطر انجام داد.

■ References

1. Amirataiy, B., Montaseri, M., & Yasi, M. (2013). Comparing the intrinsic performance of seven current drought index drought monitoring using Monte Carlo simulation. *Journal of Civil Engineering and the Environment*, University of Tabriz, 43 (1), 39-25, (in Farsi).
2. Boken, V., Cracknell A. & R Heathcote. (2005). Monitoring and predicting agricultural drought.
3. Edwards, D. C. & Mckee, T, B. (1997). Characteristics of 20th Century Drought in the United State at Multiple Time Scales. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol 634: 1-30.
4. Ensafi Moghadam, T., & Rafiei Emam, A. (2009). Climatic Droughts Zoning using Inverse Distance Weighted Method. *Iranian journal of Range and Desert Reseach*, 16(2), (in Farsi).
5. Farajzadeh, M. & Ahmadian, K. (2014). Analyze the spatial and temporal drought using SPI index in Iran. *Journal of environmental hazards*, (4) 3, 1-16, (in Farsi).

6. Geng, G., Wu, J., Wang, Q., Lei, T., He, B., Li, X., & Liu, D. (2016). Agricultural drought hazard analysis during 1980–2008: a global perspective. *International Journal of Climatology*, 36(1), 389-399.
7. Ghaseminejad, S., Soltani, S., Soffianian, A. (2014). Evaluation of drought risk Isfahan province. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences*, 18(68), 213-225, (in Farsi).
8. Guttman, N. (1999). Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, vol 35: 311-322.
9. Hashemi Nasab, A., Bazrafshan, J., & Nazi Ghameshlou, A. (2015). Assessment of joint deficit drought index under climatic conditions of Iran. *Journal of Soil and Water Conservation*, 4(3), 53-64, (in Farsi).
10. Hayes, M. J. (2000). What is drought? National Drought Mitigation Center, URL: www.drought.unl.edu/whatis/indices.htm
11. Hayes, M. J., M. D. Svoboda, D. A. Wilhite, and O. V. Vanyarkho. (1999). Monitoring the 1996 Drought using the Standardized Precipitation Index, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80 (3): 429-438.
12. Heydari, E., Zehtabian, Gh., Khosravi, H. , & Bazrafshan, J. (2014). Zoning Climatic Drought Using Precipitation Maps and ArcGIS9.3 (Case Study: Yazd – Ardakan Plain, Iran). *Advances in Environmental Biology*. 8(7), 2506-2514, 2014.
13. Islam, A. R. M. T., Shen, S., Hu, Z., & Rahman, M. A. (2017). Drought Hazard Evaluation in Boro Paddy Cultivated Areas of Western Bangladesh at Current and Future Climate Change Conditions. *Advances in Meteorology*, Volume 2017, Article ID 3514381, 12 pages. <https://doi.org/10.1155/2017/3514381>
14. Keneth, H. F. (2003). Climate Variation Drought and Desertification, W. M. Annual Report . Jevnva
15. Kim, H., Park, J. , Yoo, J., & Kim, T. W. (2013). Assessment of drought hazard, vulnerability, and risk: A case study for administrative districts in South Korea. *Journal of Hydro-environment Research*, 9(1): 28-35.
16. Maleki, A.R., & Torkamani, J. (2015). Drought management for efficient use of water resources in North Khorasan Province, *Agricultural Economics Research*7 (1), 65-89, (in Farsi).
17. Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales 8 Conf, Applied climatology.
18. Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1995). Drought Monitoring with Multiple Time Scales, The 9th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Boston, 233-236.
19. Mishra A. K., & Singh, V. P. (2011). Drought modeling – A review. *Journal of Hydrology*, 403: 157-175.
20. Mishra, A. K., Singh, V. P., & Desai, V. R. (2009). Drought Characterization: a Probabilistic Approach", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23 (1), 41-55.
21. Montandon, L.M., & Small, E.E. (2008). The impact of soil reflectance on the quantification of the green vegetation fraction from NDVI. *Remote Sensing of Environment*. 112: 1835-1845
22. Nasrollahi, M., Khosravi, H., Moghaddamneia, A., & Malekeian, A. (2015). Assessment of drought hazard index using standardized precipitation index (Case Study: Semnan province, Iran). *Journal of Agricultural Meteorology*, Vol. 3, No. 1, pp. 66-57, (in Farsi).
23. Pei, f. Li, x. Liu, x. & Lao, c. (2013). Assessing the impacts of droughts on net primary productivity in China. *Journal of Environmental Management* .volume 114 (2013) 362e371
24. Potop, V., Mozny, M., & Soukup, J. (2012). Drought evolution at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*. 156: 121-133.

25. Qmqamy, M., & Bazrafshan, J. (2012). Prognosis of meteorological drought situation in Iran, using Markov chain model, *protection of soil and water resources*, 1 (3), 1-12, (in Farsi).
26. Rahimi, D., Movahedi, S., & Barghi, H. (2010). Study of Drought Severity Using Normal Precipitation Index (Case study Sistan-Baluchistan province). *Journal of Geography and Environmental Planning*, 36(20), 43-56, (in Farsi).
27. Raziei, T. & Fatahi, E. (2011). Evaluation of the applicability of the NCEP/NCAR precipitation dataset for drought monitoring in Iran. *Journal of Earth and Space Physics*, 2(37), 225-247, (in Farsi).
28. Shahabfar, A., Ghulam, A., & Eitzinger, J. (2012) Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 18: 119-127
29. Shafiei, M., Ghahraman, B., Ansari, H. & Sharifi, M. B. (2011). Stochastic Simulation of Drought Severity Based on Palmer Index. *Journal of Water and Irrigation Management*, Vol. 1, No. 1, (in Farsi).
30. Silva, V. P. R. 2003. On climate variability in Northeast Brazil. *Journal of Arid Environment*, 54(2):256-367.
31. Tsakiris, G., & Vangelis, H. (2004). Towards a drought watch system based on spatial SPI. *Water Resources Management*, 18(1):1-12.
32. Wilhite, D. (1996). A methodology for drought preparedness. *Natural Hazards*, 13(3): 229-252
33. Wilhite, D., Svoboda, M., & Hayes, M. (2007). Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management*, 21: 763-774.
34. Xia H., Ringler, C., Zhu, T., & Waqas, A. (2013). Droughts in Pakistan: a spatiotemporal variability analysis using the Standardized Precipitation Index. *Water International*. Vol.38 (5): 620-631.

<http://dx.doi.org/10.1080/02508060.2013.827889>.

Data mining of drought probability in Iran

E. Haydari Alamdarloo¹, S. Nasabpoor^{*2}, H. Keshtkar³

1. PhD student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
 2. PhD student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
 3. PhD in RS and GIS, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
- * Corresponding Author: saharnasabpour@ut.ac.ir

Received date: 20/04/2016

Accepted date: 10/06/2017

Abstract

Drought in recent years has made high losses to the country that must be reduced by using logical management as much as possible. For this purpose, it is necessary to compare the affected areas by the disaster and locate priority management actions. The aim of this study is determining the spatial and temporal patterns of drought risks and providing the drought hazard index map of Iran. The monthly rainfall data from 46 stations were selected in this study and the Standardized Precipitation Index (SPI) was deployed at 6 and 12 months' time scales for generating the map of drought hazard index. The IDW and Natural Break methods were elaborated in GIS environment for zoning and classification, respectively. The results showed that in 6 month time scale, most of the country of the high hazard class and lowest is the average hazard class and for the 12 month time scale, almost half of the country is in very high hazard class and the lowest area is the low hazard class. In general, the possibility of drought in this study showed that when the drought severity increases, its probability decreases.

Keywords: Drought; SPI; DHI; Natural Break; IDW method