



## ارزیابی شاخص خطر خشکسالی استان سمنان با استفاده از نمایه SPI

محمد نصرالهی<sup>۱</sup>، حسن خسروی<sup>۲\*</sup>، علیرضا مقدم‌نیا<sup>۳</sup>، آرش ملکیان<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۰

### چکیده

خشکسالی با تأثیر بر کیفیت و کمیت منابع آب و رطوبت خاک، کشاورزی، هیدرولوژی و مسائل اجتماعی-اقتصادی جوامع بشری را شدیداً تحت تأثیر قرار می‌دهد. هدف از انجام این مطالعه مشخص کردن الگوهای زمانی و مکانی شاخص خطر خشکسالی (DHI) و تهیه نقشه آن در استان سمنان می‌باشد. به‌منظور تهیه نقشه این شاخص، ابتدا اقدام به محاسبه درصد احتمال وقوع خشکسالی با استفاده از داده‌های SPI در دو گام زمانی ۳ و ۱۲ ماهه گردید، سپس برای پهنه‌بندی خطر از روش کریجینگ و برای رتبه‌بندی طبقات مختلف خطر از روش شکست طبیعی در محیط GIS استفاده گردید. نتایج نشان داد که در گام زمانی ۳ ماهه مناطق شمالی و مرکزی و در گام زمانی ۱۲ ماهه مناطق جنوبی استان از خطر خشکسالی بیشتری برخوردارند.

**واژه‌های کلیدی:** خشکسالی، خطر، روش شکست طبیعی، SPI، سمنان

### مقدمه

بهبود وضعیت موجود می‌باشند، بدون تردید باید در مدیریت و برنامه‌ریزی به خشکسالی به‌عنوان یک عارضه و خطر چند-بعدی توجه خاصی معطوف دارند. خشکسالی یک پدیده مداوم مکرر است که یکی از پرهزینه‌ترین بلاهای طبیعی در جهان است (شهید و بهروان، ۲۰۰۸). علاوه بر این، انتظار می‌رود که خشکسالی با افزایش تقاضا برای آب به علت رشد جمعیت، و محدودیت در تأمین و عرضه آب با توجه به تغییرات آب و هوا، بیشتر و وخیم‌تر شود (فونتاین و استینمن<sup>۵</sup>، ۲۰۰۹). در مواجهه با این چالش‌ها، تصمیم‌گیرندگان در منابع آب، نیاز به اطلاعات صریح و روشن برای کمک به ساخت برنامه‌های آمادگی برای کاهش اثرات خشکسالی دارند. تلاش‌های تحقیقاتی قابل توجهی به‌منظور کمی کردن شدت خشکسالی صورت گرفته است، از آنجایی که خشکسالی معمولاً به‌وسیله مدت، شدت و منطقه آسیب‌دیده مشخص می‌شود، انواع شاخص‌های خشکسالی برای بیان شدت خشکسالی از منظر-های مختلف بیان شده است (حیدری علمدارلو<sup>۶</sup> و همکاران،

خشکسالی پدیده‌ای است که در هر ناحیه‌ای می‌تواند به وقوع پیوندد و منجر به زیان‌ها و هزینه‌های عمده اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی گردد. 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 روز افزون منابع آبی، پدیده خشکسالی ابعاد تازه-ای پیدا کرده است و جمعیت‌های انسانی زیادی را تحت تأثیر قرار داده است (کیم<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین کشورهای جهان به‌ویژه ایران که در صدد دستیابی به توسعه پایدار و

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران  
<sup>۳</sup> \*نویسنده مسئول: hakhosravi@ut.ac.ir  
<sup>۴</sup> دانشیار، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

<sup>۵</sup>- Fontaine & Steinemann

<sup>۶</sup>- Haydari Alamdarloo

<sup>۴</sup>- Kim

بارندگی<sup>۸</sup> (DPI)، ناهنجاری بارش<sup>۹</sup> (RAI) و بارش استاندارد شده (SPI) در حوزه آبخیز دریاچه‌های بختگان، طشتک و مهارلو پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که نمایه‌های دهک‌های بارندگی و درصد نرمال بارندگی نسبت به سایر نمایه‌ها در تعیین خشکسالی‌های هواشناسی مناسب‌تر است. تساکریس و ونگلیس<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۴)، در تحقیقی شدت و مدت خشکسالی را به عنوان دو مؤلفه اصلی خشکسالی معرفی کرده‌اند که اهمیت بسیار زیادی در تصمیم‌گیری‌ها دارند و در بین شاخص‌های ارزیابی این دو مؤلفه شاخص SPI عمومیت بیشتری دارند. نتایج این تحقیق نشان داد که SPI می‌تواند به‌عنوان یک سیستم مراقبتی خشکسالی<sup>۱۱</sup> مورد استفاده قرار گیرد. سونمز و همکاران<sup>۱۲</sup> (۲۰۰۵)، ابعاد زمانی و مکانی خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش SPI از منظر آسیب‌پذیری در ترکیه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقادیر مورد نیاز شرایط ترسالی، در حرکت از مناطق ساحلی به سمت مناطق داخلی با افزایش گام زمانی کاهش یافته است. خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲) در تحقیق خود نشان دادند که از بین ۷ نمایه مختلف مورد بررسی نمایه SIAP نسبت به دیگر نمایه‌ها برتر می‌باشد. شهید و بهروان (۲۰۰۸) و کیم و همکاران (۲۰۱۳) از روش SPI به‌منظور بررسی الگوی زمانی و مکانی خطر خشکسالی به‌ترتیب در بنگلادش و کره جنوبی استفاده کردند و استفاده از این روش در برآورد خطر در مناطق مورد مطالعه را خوب ارزیابی کردند. همچنین انصافی مقدم (۱۳۸۶) نیز برتری نمایه دهک‌های بارندگی (DPI) و نمایه بارش استاندارد شده (SPI) را نشان داده‌اند. همان‌طور که در سابقه تحقیق ارائه گردید تحقیقات زیادی در ارتباط با خشکسالی با استفاده از روش‌های مختلف و به‌خصوص SPI صورت گرفته است. بنابراین نقشه‌های حاصله فقط گستره مکانی وقوع خشکسالی در منطقه را نشان می‌دهند. تاکنون در ایران تحقیقات چندانی در زمینه بررسی شاخص خطر خشکسالی بر اساس درصد احتمال وقوع خشکسالی و در نهایت تهیه نقشه مکانی خطر خشکسالی صورت نگرفته است.

(۲۰۱۴)، به‌عنوان مثال، خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی، و اجتماعی و اقتصادی توسعه یافته‌اند. برای مثال، PDSI<sup>۱</sup> (شاخص شدت خشکسالی پالمز) توسعه یافته توسط پالمز (۱۹۶۵) و SPI<sup>۲</sup> (شاخص بارش استاندارد) توسعه یافته توسط مک‌کی و همکاران<sup>۳</sup> (۱۹۹۳)، شاخص‌های نمایان‌گر تجزیه و تحلیل خشکسالی می‌باشند. در حال حاضر، بیش از ۵۰ شاخص خشکسالی در عمل در دسترس می‌باشد (کیم و همکاران، ۲۰۱۳). اگر چه کمبود متغیرهای مختلف هیدروکلیماتولوژیک نظیر بارش، جریان نهري، رطوبت خاک، در نتیجه خشکسالی است، کمبود بارش برای مدت زمان طولانی، عمده‌ترین عامل خشکسالی است (کیم و همکاران، ۲۰۱۳). مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) شاخص بارش استاندارد شده (SPI) را به‌منظور تعریف و پایش خشکسالی و تعیین کمبود بارش برای مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه توسعه دادند. مرکز ملی تعدیل خشکسالی ایالات متحده (NDMC<sup>۴</sup>) به‌منظور پایش خشکسالی و شرایط ذخیره رطوبت رطوبت از روش SPI استفاده می‌کند. از آنجایی که در تحقیق حاضر ارزیابی روند خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده می‌باشد، لذا نمونه‌هایی از به‌کارگیری روش فوق نیز ارائه می‌شود. مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) به‌منظور بررسی رابطه بین فراوانی خشکسالی و تداوم خشکسالی در مقیاس زمانی متفاوت برای ایستگاه فورت کولینز از شاخص بارش استاندارد شده استفاده کردند. اس‌زالی و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۰) خشکسالی‌های مجارستان را بر اساس روش SPI تشریح کردند، آن‌ها نتیجه گرفتند که شاخص SPI برای کمی کردن رخداد انواع خشکسالی‌ها مناسب است. هایس و همکاران<sup>۶</sup> (۱۹۹۹) معایب و مزایای استفاده از شاخص بارش استاندارد شده را برای خصوصیات شدت خشکسالی بررسی کردند. وفاخواه و رجبی (۱۳۸۴) به بررسی کارایی انواع نمایه‌های مختلف خشکسالی درصد نرمال بارندگی<sup>۷</sup> (PNPI) دهک‌های بارندگی<sup>۸</sup>

<sup>1</sup> Palmer Drought Severity Index

<sup>2</sup> Standardized Precipitation Index

<sup>3</sup> Mckee

<sup>4</sup> National Drought Mitigation Centre

<sup>5</sup> Szalai

<sup>6</sup> Hayes

<sup>7</sup> Present of Normal Precipitation Index

<sup>8</sup> Deciles Precipitation Index

<sup>9</sup> Rainfall Anomaly Index

<sup>10</sup> Tsakiris and Vangelis

<sup>11</sup> Drought watch system

<sup>12</sup> Sonmez

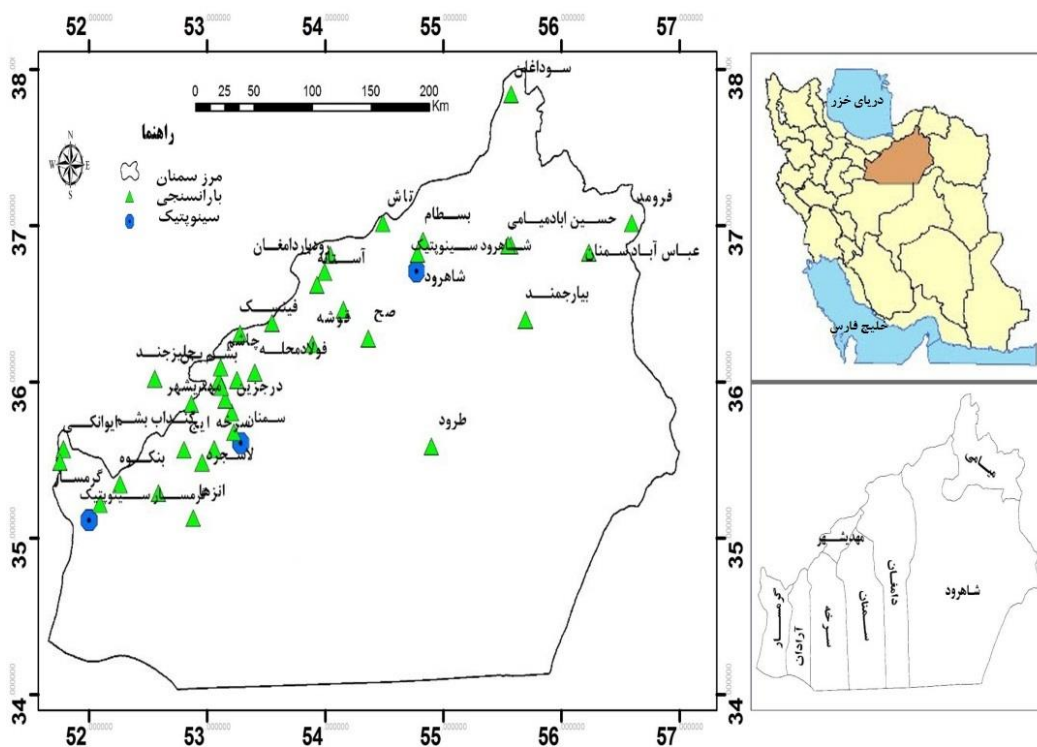
ارتفاع آن از شمال به جنوب کاسته شده و به دشت کویر ختم می‌شود. این استان با ۹۷۴۹۱ کیلومتر مربع وسعت، یکی از استان‌های وسیع ایران به‌شمار می‌آید که از شمال به استان‌های مازندران و گلستان، از جنوب به استان اصفهان، از مغرب به استان‌های تهران و قم و از مشرق به استان‌های خراسان شمالی و رضوی محدود شده است. به خاطر موقعیت جغرافیایی، دارای اقلیم بیابانی و نیمه‌بیابانی و خشک است و به دلیل محدودیت‌های آب و خاک، موقعیت کشاورزی مطلوبی ندارد (نصرالهی، ۱۳۹۳). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی استان و ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

هدف از انجام این مطالعه مشخص کردن الگوهای مکانی و زمانی خطرات خشکسالی و تهیه نقشه خطر خشکسالی استان سمنان است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

موقعیت جغرافیایی استان سمنان، بین ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۳ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۴ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه عرض جغرافیایی قرار گرفته است و ارتفاع مرکز آن از سطح دریا ۱۶۳۰ متر است. استان سمنان در دامنه جنوبی سلسله جبال البرز واقع شده که



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان سمنان و ایستگاه‌های مورد مطالعه

مشخص را با بارندگی کل همان دوره برای همه سال‌های دوره آماری فراهم می‌آورد. در این مطالعه SPI با گام‌های زمانی ۳ و ۱۲ ماهه به منظور مطالعه ویژگی‌های خشکسالی کوتاه، متوسط و بلندمدت محاسبه شده است. به منظور محاسبه SPI، داده‌های بارندگی دوره آماری هر ایستگاه به تابع توزیع احتمال گاما برازش داده شده است.

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

### ارزیابی شاخص خطر خشکسالی

در این تحقیق به منظور برآورد شاخص خطر خشکسالی از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده گردیده است.

### محاسبه SPI با استفاده از داده‌های بارندگی

اینکه SPI یک ابزار خوب در تشخیص و پیش خشکسالی است توسط چندین محقق به اثبات رسیده است (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳؛ گاتمن ۱۹۹۸، ۱۹۹۹؛ هایس و همکاران، ۱۹۹۹). شاخص SPI امکان مقایسه بارندگی در یک دوره

بازگشت آن ۵۰ سال است، SPI بین ۱/۵۰- تا ۱/۹۹- به این معنی است که خشکسالی شدید در حدود ۴/۴٪ از زمان اتفاق می‌افتد یا دوره بازگشت آن ۲۵ سال است، SPI بین ۱- تا ۱/۴۹۹- به این معنی است که خشکسالی شدید در حدود ۹/۲٪ از زمان اتفاق می‌افتد یا دوره بازگشت آن ۱۰ سال است.

### محاسبه احتمال وقوع خشکسالی با استفاده از داده‌های

#### SPI

منطقه آسیب‌پذیر به خشکسالی در گام‌های زمانی مختلف بر اساس درصد احتمال وقوع خشکسالی تعیین می‌شود. درصد احتمال وقوع خشکسالی از طریق گرفتن نسبت وقوع خشکسالی در هر گام زمانی به کل وقوع خشکسالی در هر گام زمانی و طبقه خشکسالی محاسبه می‌شود (سونمز و همکاران، ۲۰۰۵). جداول ۲ و ۳ نتایج حاصل از محاسبه درصد احتمال وقوع خشکسالی در هر یک از گام‌های زمانی (۳ و ۱۲ ماهه به- ترتیب) و طبقه خشکسالی را نشان می‌دهد. پس از محاسبه SPI، طبقه‌بندی کلاس‌های شدت خشکسالی بر اساس مقادیر SPI 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 گردید (جداول ۲ و ۳).

### اعمال وزن به طبقات شدت خشکسالی

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 ۱ به هر طبقه خشکسالی وزن داده شد. به این 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 (جداول ۲ و ۳).

### پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از روش کریجینگ

مقادیر درصد احتمال وقوع خشکسالی که در مرحله قبل برای هر ایستگاه و طبقه شدت خشکسالی محاسبه گردید. در این مرحله به محیط ArcMap 9.3 فراخوانده شده و با استفاده

$x > 0$  مقدار بارش،  $\alpha > 0$  پارامتر شکل،  $\beta > 0$  پارامتر مقیاس و  $\Gamma(\alpha)$  معرف تابع گاما است.

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

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

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(\bar{x})}{n} \quad (4)$$

$n$  تعداد مشاهدات بارندگی است. به علاوه  $\bar{x}$  برای یک ماه مشخص، میانگین بارندگی تجمعی برای یک ماه در طول دوره آماری است. پارامترهای محاسبه‌شده اجازه می‌دهد تا توزیع بارندگی در ایستگاه به صورت مؤثری توسط یک تابع احتمال تجمعی ریاضی به صورت زیر نشان داده شود.

$$G(x) = \int_0^x \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (5)$$

از آنجایی که تابع گاما برای مقادیر  $x=0$  تعریف نشده است و توزیع بارندگی ممکن است مقدار صفر اتخاذ کند احتمال تجمعی می‌شود.

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (6)$$

$q$  همان احتمال صفر است و  $H(x)$  یا احتمال تجمعی برای تولید مقادیر SPI به توزیع نرمال استاندارد مبدل شده است (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳). زمانی که مقادیر بارندگی هر گام زمانی برای هر ماه از سال به تابع توزیع گاما برآزش داده شد، تابع به دست آمده نشان‌دهنده احتمال تجمعی یک رویداد بارش برای آن ماه از دوره آماری است که ایجاد طبقه‌بندی مقادیر SPI را ممکن می‌سازد. مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) شدت خشکسالی را بر اساس مقادیر SPI طبقه‌بندی کرده‌اند (جدول ۱).

جدول ۱- طبقات خشکسالی تعریف شده برای مقادیر SPI

طبقه خشکسالی	مقادیر SPI	احتمال وقوع (%)
خشکسالی نزدیک به نرمال	$-0.99 < SPI < 0.99$	۶۸/۲
خشکسالی متوسط	$-1 < SPI < -1/49$	۹/۲
خشکسالی شدید	$-1/49 < SPI < -1/50$	۴/۴
خشکسالی خیلی شدید	$SPI < -2$	۲/۳

SPI کوچک‌تر از ۲- به این معنی است که خشکسالی خیلی شدید در حدود ۲/۳٪ از زمان اتفاق می‌افتد یا دوره

جداگانه یکپارچه گردید تا نقشه‌های خطر خشکسالی در گام-های زمانی ۳ و ۱۲ ماه را فراهم کند.

جدول ۲- وزن و رتبه اعمال شده به طبقات شدت خشکسالی گام زمانی ۳ ماهه

شدت	وزن	درصد احتمال وقوع	رتبه	مساحت به درصد
نرمال	۱	$70/67 \geq$	۱	۸
	۲	$70/67-71/68$	۲	۱۰
		$71/68-72/77$	۳	۳۶
		$72/77 \leq$	۴	۴۶
متوسط	۲	$5/42 \geq$	۱	۱۲
	۳	$5/42-6/50$	۲	۴۱
		$6/50-7/10$	۳	۳۳
		$7/10 \leq$	۴	۱۴
شدید	۳	$2/58 \geq$	۱	۲۱
	۴	$2/58-2/94$	۲	۲۱
		$2/94-2/24$	۳	۴۲
		$2/24 \leq$	۴	۱۶
خیلی شدید	۴	$1/02 \geq$	۱	۱۶
	۳	$1/02-1/50$	۲	۳۶
		$1/50-1/82$	۳	۴۲
		$1/82 \leq$	۴	۶

جدول ۳- وزن و رتبه اعمال شده به طبقات شدت خشکسالی گام زمانی ۱۲ ماهه

شدت	وزن	درصد احتمال وقوع	رتبه	مساحت به درصد
نرمال	۱	$67/49 \geq$	۱	۱۶
	۲	$67/49-68/67$	۲	۲۷
		$68/67-69/71$	۳	۲۶
		$69/71 \leq$	۴	۳۱
متوسط	۲	$8/14 \geq$	۱	۱۴
	۳	$8/14-8/21$	۲	۵۴
		$8/21-8/27$	۳	۱۹
		$8/27 \leq$	۴	۱۲
شدید	۳	$3/36 \geq$	۱	۷
	۴	$3/36-3/99$	۲	۶
		$3/99-4/47$	۳	۲۴
		$4/47 \leq$	۴	۶۳
خیلی شدید	۴	$1/92 \geq$	۱	۳۱
	۳	$1/92-2/24$	۲	۲۹
		$2/24-2/59$	۳	۲۱
		$2/59 \leq$	۴	۱۹

از ابزار تحلیل زمین آماری، میانبایی داده‌های نقطه‌ای به روش کریجینگ صورت گرفت. کریجینگ یک روش میان‌یابی تصادفی است (ایساک و سیرواستاوا، ۱۹۸۹) که به صورت گسترده به عنوان روشی استاندارد برای درون‌یابی سطحی به صورت اندازه‌گیری‌های عددی در نقاط مختلف شناخته شده است (قهرودی‌تالی، ۱۳۸۱). مطالعات نشان داده است که کریجینگ نسبت به سایر روش‌ها پیش‌بینی جهانی بهتری ارائه می‌کند (الیور و وبستر، ۱۹۹۰؛ ایزدی و همکاران، ۱۳۸۹).

### اعمال رتبه به طبقات شدت خشکسالی بر اساس درصد احتمال وقوع

نقشه هر طبقه شدت بر اساس مقادیر درصد احتمال وقوع به چهار زیرطبقه با استفاده از روش شکست طبیعی<sup>۱</sup> طبقه بندی 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. بنابراین ممکن است بین ستون‌ها، فواصل نسبتاً زیادی به وجود آید. این روش برای داده‌هایی که از توزیع غیریکنواخت برخوردارند نتیجه بهتری می‌دهد (نصرالهی، ۱۳۹۳). در این تحقیق از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 به منظور تعیین نقاط شکست طبیعی استفاده گردید. در نهایت به زیرطبقه با کمترین درصد احتمال وقوع خشکسالی، رتبه یک و به زیرطبقه با بیشترین درصد احتمال وقوع خشکسالی، رتبه چهار اعمال گردید. نتایج و نحوه وزن و رتبه‌دهی در جداول ۲ و ۳ آمده است.

### شاخص خطر خشکسالی (DHI<sup>۲</sup>)

نقشه‌های محتوی مکانی شدت وقوع خشکسالی نرمال، متوسط، شدید و خیلی شدید برای گام‌های زمانی ۳ و ۱۲ ماهه جهت بررسی پراکنش مکانی و نهایتاً تهیه نقشه‌های خطر خشکسالی تهیه گردید (اشکال ۲ تا ۹). سپس به صورت

<sup>۱</sup>- Natural break method  
<sup>۲</sup>- Drought Hazard Index

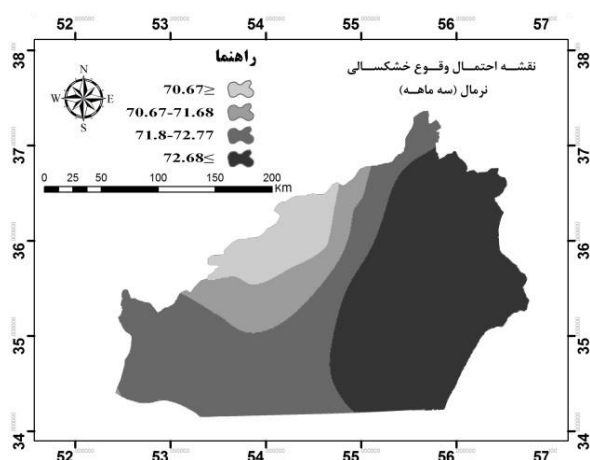
خیلی شدید بوده و بخش‌هایی در مرکز، شمال و شرق منطقه دارای فراوانی وقوع خشکسالی زیاد هستند.

#### گام زمانی ۱۲ ماهه

توزیع مکانی خشکسالی شدید (شکل ۸) نشان می‌دهد که مناطق مرکزی و شرقی بیشتر در معرض وقوع خشکسالی شدید قرار دارد و در حرکت به سمت غرب منطقه از میزان فراوانی آن کاسته می‌شود. توزیع مکانی خشکسالی خیلی شدید (شکل ۹) نشان می‌دهد که مناطق غربی منطقه دارای بیشترین فراوانی وقوع خشکسالی خیلی شدید بوده و در حرکت به سمت شرق منطقه مورد مطالعه از میزان فراوانی آن کاسته می‌شود.

#### مقایسه طبقات خشکسالی

نقشه‌های وقوع خشکسالی شدید گام‌های زمانی ۳ و ۱۲- ماهه (اشکال ۴ و ۸) نشان داد که این نقشه‌ها از الگوی مکانی پراکنش زیرطبقات مشابهی برخوردارند، به گونه‌ای که مراکز مرکزی استان در زیرطبقه خشکسالی شدید و خیلی شدید قرار گرفته و در حرکت از مرکز به سمت شرق و غرب استان از شدت وقوع زیرطبقات کاسته می‌شود و زیرطبقات با شدت وقوع کم ظاهر می‌شود و همچنین میزان منطقه قرار گرفته در زیرطبقه شدید و خیلی شدید نسبت به زیرطبقات نرمال و متوسط قابل ملاحظه است. درصد مساحت تحت پوشش هر یک از زیرطبقات نقشه‌های احتمال وقوع خشکسالی نیز در جداول ۲ و ۳ آمده است.



شکل ۲- نقشه احتمال وقوع خشکسالی نرمال (۳ ماهه)

شاخص خطر خشکسالی (DHI) لایه یکپارچه با استفاده از معادله ۳-۷ محاسبه شد. اشکال ۱۰ و ۱۱ نقشه‌های شاخص خطر خشکسالی (DHI) گام‌های زمانی ۳ و ۱۲ ماهه را به ترتیب نشان می‌دهد.

$$DHI = (NNDr \times NNDw) + (MDr \times MDw) + (SDr \times SDw) + (VSDr \times VSDw) \quad (7)$$

در معادله ۷،  $NNDr$ ،  $MDr$ ،  $SDr$  و  $VSDr$  به ترتیب رتبه‌های داده شده به خشکسالی نرمال، متوسط، شدید و خیلی شدید هستند و  $NNDw$ ،  $MDw$ ،  $SDw$  و  $VSDw$  به ترتیب وزن‌های اعمال شده به خشکسالی نرمال، متوسط، شدید و خیلی شدید هستند. با توجه به فرمول ۷، شاخص خطر خشکسالی (DHI) می‌تواند ارزشی بین حداقل ۱۰ تا حداکثر ۴۰ داشته باشد. همچنین به منظور مدیریت بهتر و کارآمدتر در این مطالعه سعی گردید تا نقشه شاخص خطر خشکسالی در پایه نقشه تقسیمات کشوری شهرستان‌های استان سمنان نیز محاسبه گردد. مقدار DHI برای هر ایستگاه محاسبه شد سپس مقادیر متوسط DHI برای هر شهرستان (واحد پایه مطالعاتی) به دست آمد. مقادیر DHI شهرستان‌ها نرمال گردید و مقداری بین صفر و یک اختیار کرد. در نهایت شهرستان‌ها بر اساس مقادیر DHI به ۴ کلاس طبقه‌بندی شدند که در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- طبقات تعریف شده برای DHI

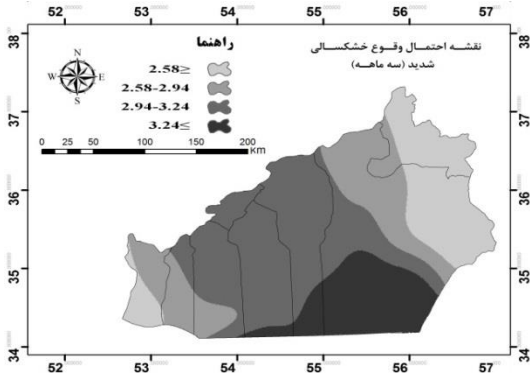
کم	متوسط	شدید	خیلی شدید
۰ - ۰/۲۵	۰/۲۵ - ۰/۵۰	۰/۵۰ - ۰/۷۵	۰/۷۵ - ۱

#### نتیج و بحث

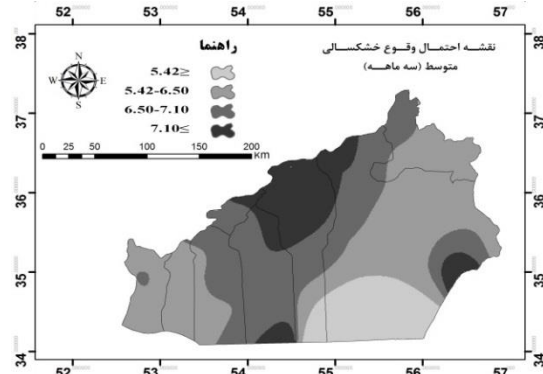
نتایج حاصل از مقایسه طبقات خشکسالی متفاوت در هر یک از گام‌های زمانی ۳ و ۱۲ ماهه در ادامه آمده است.

#### گام زمانی ۳ ماهه

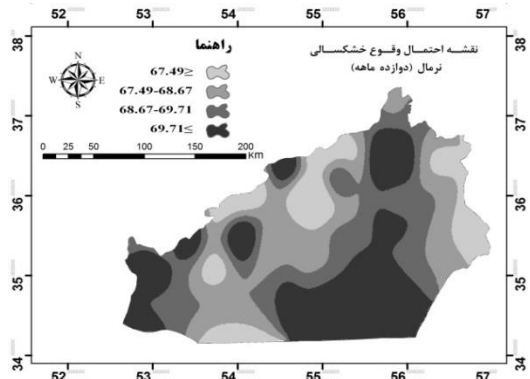
توزیع مکانی خشکسالی شدید (شکل ۴) نشان می‌دهد که مناطق جنوبی بیشتر در معرض وقوع خشکسالی شدید قرار دارد و در حرکت از مناطق مرکزی به سمت شرق و غرب منطقه از میزان فراوانی آن کاسته می‌شود. توزیع مکانی خشکسالی خیلی شدید (شکل ۵) نشان می‌دهد که مناطق جنوبی و غربی منطقه دارای کمترین فراوانی وقوع خشکسالی



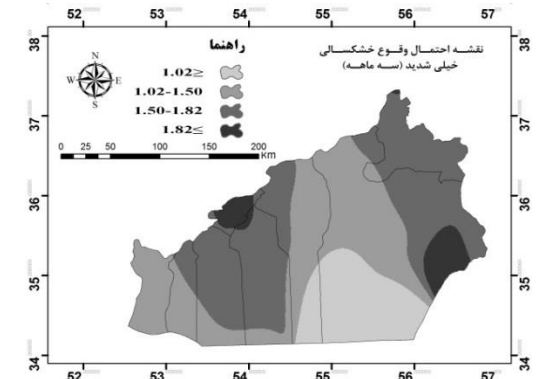
شکل ۴- نقشه احتمال وقوع خشکسالی شدید (۳ ماهه)



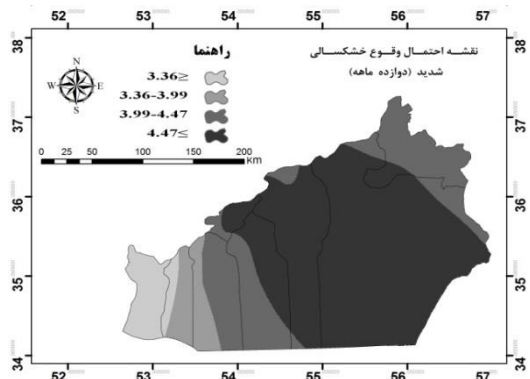
شکل ۳- نقشه احتمال وقوع خشکسالی متوسط (۳ ماهه)



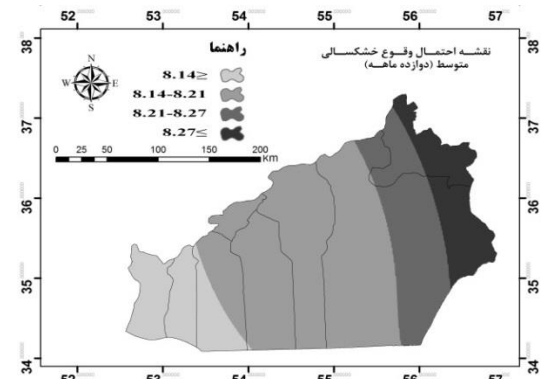
شکل ۶- نقشه احتمال وقوع خشکسالی نرمال (۱۲ ماهه)



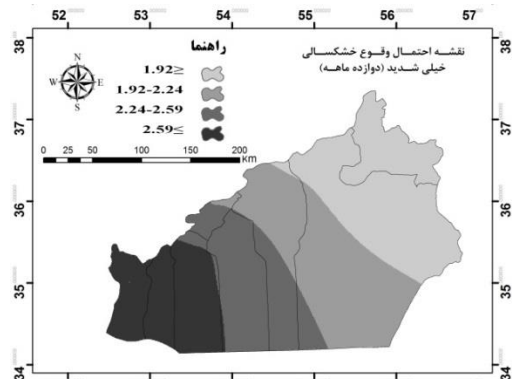
شکل ۵- نقشه احتمال وقوع خشکسالی خیلی شدید (۳ ماهه)



شکل ۸- نقشه احتمال وقوع خشکسالی شدید (۱۲ ماهه)



شکل ۷- نقشه احتمال وقوع خشکسالی متوسط (۱۲ ماهه)

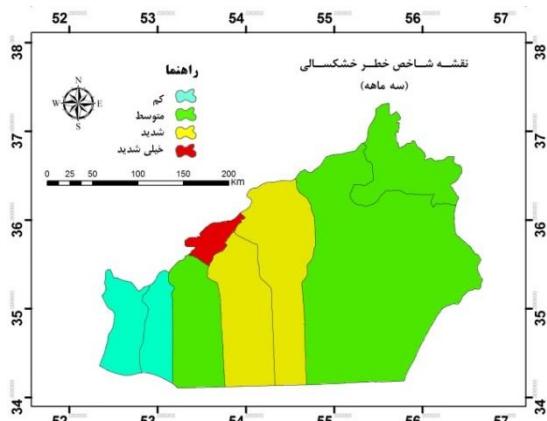


شکل ۹- نقشه احتمال وقوع خشکسالی خیلی شدید (۱۲ ماهه)

جدول ۵- درصد مساحت طبقات خطر خشکسالی استان سمنان

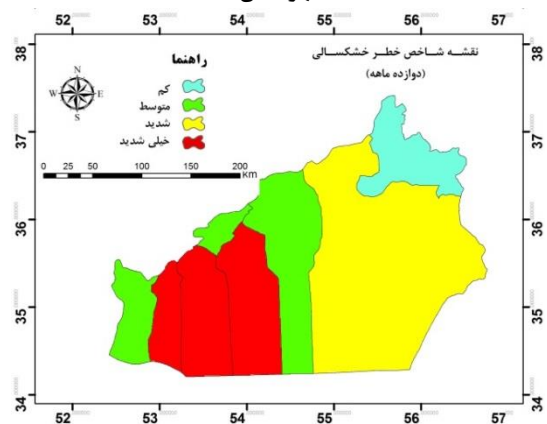
گام زمانی	طبقات خطر بر حسب درصد		
	کم	متوسط	شدید
سه ماهه	۹/۴۹	۶۲/۴۶	۱۸/۶۹
دوازده ماهه	۷/۶۱	۱۳/۵۲	۲۵/۷۵

بر اساس نقشه تقسیمات واحد شهرستان، توزیع مکانی خطر خشکسالی در گام زمانی سه ماهه (شکل ۱۲) نشان می‌دهد که شهرستان مهدیشهر دارای بالاترین خطر خشکسالی بوده و شهرستان‌های آرادان و گرمسار کم‌خطرترین شهرستان‌ها از نظر خشکسالی در استان می‌باشند. توزیع مکانی خطر خشکسالی در گام زمانی دوازده ماهه (شکل ۱۳) نشان می‌دهد که شهرستان‌های سمنان، سرخه و آرادان در طبقه با خشکسالی خیلی شدید قرار گرفته و شهرستان میامی در طبقه خشکسالی کم قرار گرفته است.



شکل ۱۲- نقشه شاخص خطر خشکسالی ۳ ماهه (بر اساس مرز

شهرستان)

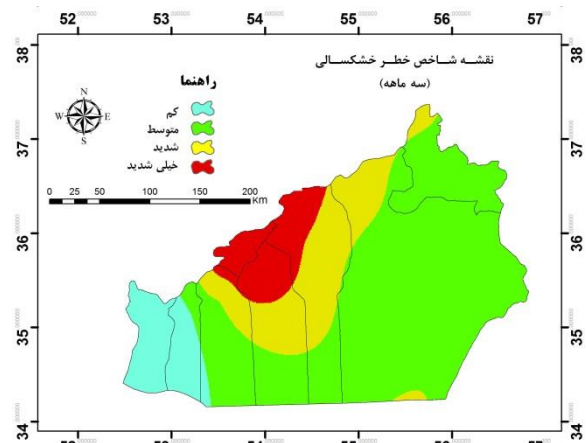


شکل ۱۳- نقشه شاخص خطر خشکسالی ۱۲ ماهه (بر اساس مرز

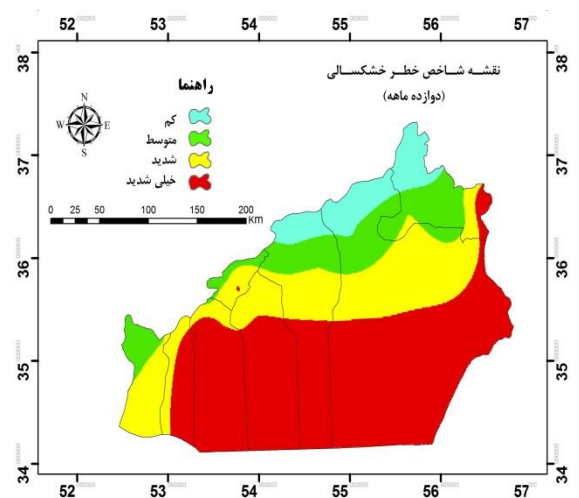
شهرستان)

### نقشه شاخص خطر خشکسالی

توزیع مکانی خطر خشکسالی در گام زمانی سه ماهه (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که مناطق شمالی استان از خطر خشکسالی بیشتری برخوردار بوده و در حرکت به سمت جنوب و غرب استان مورد مطالعه از شدت خطر خشکسالی کاسته می‌شود در حالی که در گام زمانی ۱۲ ماهه (شکل ۱۱) بیشترین خطر در مناطق جنوبی یافت می‌شود که در حرکت به سمت شمال منطقه مورد مطالعه از شدت خطر خشکسالی کاسته می‌شود. بیشترین درصد منطقه در گام زمانی ۳ و ۱۲ ماهه به ترتیب تحت پوشش خطر خشکسالی متوسط (۶۲/۴۶ درصد) و خیلی شدید (۵۳/۱۲ درصد) قرار دارد. جدول ۵ درصد مساحت تحت پوشش طبقات خطر خشکسالی مختلف در گام زمانی ۳ و ۱۲ ماهه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- نقشه شاخص خطر خشکسالی ۳ ماهه



شکل ۱۱- نقشه شاخص خطر خشکسالی ۱۲ ماهه



## نتیجه‌گیری

اگر چه خشکسالی و کمبود آب موجب بروز بحران‌های شدیدی در زندگی بشر شده است اما تاکنون به اندازه سایر بحران‌های طبیعی نظیر سیل، زلزله، طوفان و رانش زمین مورد توجه قرار نگرفته است. زیرا اکثر بلایای طبیعی در طی دوره‌ای کوتاه خسارت سنگین مالی و جانبی به منطقه‌ای مشخص وارد می‌کنند، ولی خسارات ناشی از بروز خشکسالی به صورت تدریجی و در طولانی مدت پدیدار می‌شود و ماهیت پیچیده‌ای دارد. همچنین برنامه‌ریزی و آمادگی برای خشکسالی مستلزم برنامه‌ریزی و اصلاحاتی در سطوح کلان مدیریتی است که این مطلب نیز خود بر پیچیدگی موضوع می‌افزاید. هرچند نتایج حاصل از بررسی موردی ایستگاه‌های مورد استفاده در این مطالعه با هم تا حدودی همبستگی زمانی دارد اما نتایج کلی حاصل از بررسی سرهای زمانی در این مطالعه بیان‌گر وقوع گاه و بی‌گاه خشکسالی در کل ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. این امر با توجه به طیف آب و هوای فراخشک تا نیمه‌خشک محدوده مورد مطالعه و خصوصیات خشکسالی مانند فراوانی و تداوم زمانی بسیار با اهمیت است. دلیل این امر را می‌توان ناشی از دامنه تغییرات ارتفاعی منطقه، محدوده‌ای از ۴۵۰ تا ۳۹۰۰ متر از سطح دریا دانست که منجر به عدم توزیع یکنواخت بارندگی (کمتر از ۵۰ میلی‌متر در کویر مرکزی ایران و بیشتر از ۴۰۰ میلی‌متر در مناطق شمالی استان) و ایجاد اقلیم‌های مختلف در سطح استان گردیده است. از طرفی دیگر توزیع بارش سالانه در ایستگاه‌ها بسیار متغیر است به‌عنوان مثال بارش سالانه ایستگاه شهرمیرزاد در سال ۱۳۸۵، ۳۴۲ میلی‌متر و در سال ۱۳۶۹، ۱۲۵ میلی‌متر بوده است. نتایج حاصل از ارزیابی مکانی خطر خشکسالی استان سمنان نشان داد که بخش زیادی از منطقه در گام زمانی ۳ ماهه تحت خشکسالی با خطر کم و متوسط (۷۱/۹۵٪) و در گام زمانی ۱۲ ماهه بخش زیادی از منطقه در طبقه با خطر بالا و خیلی بالا (۷۸/۸۷٪) قرار گرفته است.

## سپاسگزاری

از شرکت آب منطقه‌ای سمنان، شرکت تماب و سازمان هواشناسی کشور که با ارائه داده‌های مورد نیاز ما را در انجام این تحقیق یاری کرده، صمیمانه تشکر می‌نمائیم.

## منابع

- انصافی مقدم، ط. ۱۳۸۶. ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب‌ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۴(۲): ۲۷۱-۲۸۸.
- ایزدی، ع، دلقندی، م، فراستی، م. ۱۳۸۹. کاربرد روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در تخمین مکانی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، ۱-۲ اسفند، اهواز.
- خلیلی، ع، بذرافشان، ج. ۱۳۸۲. ارزیابی کارایی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی مختلف ایران. نیوار، ۴۸(۱): ۷۹-۹۳.
- قهرودی‌تالی، م. ۱۳۸۱. ارزیابی درون‌یابی به روش کریجینگ. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۴(۴۳): ۹۵-۱۰۸.
- نصرالهی، م. ۱۳۹۳. ارزیابی خطر، آسیب‌پذیری و ریسک خشکسالی (مطالعه موردی: استان سمنان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۰۳ صفحه.
- وفاخواه، م. رجبی، م. ۱۳۸۴. کارایی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی برای پایش و ارزیابی خشکسالی‌های حوزه آبخیز دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو. بیابان، ۱۰(۲): ۳۶۹-۳۸۲.
- Fontaine, M. M., Steinemann, A. C. 2009. Assessing vulnerability to natural hazards: impact-based method and application to drought in Washington state. *Nat. Hazards Rev.*, 10: 11-18.
- Guttman, N. B. 1998. Comparing the Palmer drought index and the standardized precipitation index. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 34(1): 113-121.
- Guttman, N. B. 1999. Accepting the standardized precipitation. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 35(2): 311-322.

- Oliver, M. A., Webster, R. 1990. Kriging: a method of interpolation for geographical information system. *Int. J. Geogr. Inf. Syst.*, 4(3): 313-332.
- Palmer, W. C. 1965. Meteorological Drought Research paper, No. 45, U. S. weather Bureau. Washington, D. C. Feb., 58p.
- Shahid, S., Behrawan, H. 2008. Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. *Nat. Hazards*, 46(3): 391-413.
- Sonmez, F. K., Komuscu, A. U., Erkan, A., Turgu, E. 2005. Analysis of Spatial and Temporal Dimension of Drought Vulnerability in Turkey Using the Standardized Precipitation Index. *Nat. Hazards*, 35(2): 243-264.
- Szalai, S., Szinell, C. S., Zoboki, J. 2000. Drought monitoring in Hungary, in Early warning systems for drought preparedness and drought management, World Meteorological Organization, Lisbon, Portugal, 212p.
- Tsakiris, G., Vangelis, H. 2004. Towards a drought watch system based on spatial SPI. *Water Resour. Manag.*, 18: 1-12.
- Haydari Alamdarloo, E., Zehtabian, Gh., Bazrafshan, J., Khosravi, H. 2014. Zoning Climatic Drought Using Precipitation Maps in ARCGIS Software (Case Study: Yazd-Ardakan Plain). *Adv. Environ. Biol.*, 8(7): 2506-2514.
- Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wilhite, D. A., Vanyarkho, O. V. 1999. Monitoring the drought using the standardized precipitation index. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 80: 429-438.
- Isaaks, H. E., Srivastava, R. M. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, New York, 561p.
- 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. *J. Hydro-environ. Res.*, 9(1): 28-35.
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8 Conf, Applied climatology, 17-22 January, California: 1-6.



## Assessment of drought hazard index using standardized precipitation index (Case Study: Semnan province, Iran)

M. Nasrollahi<sup>1</sup>, H. Khosravi<sup>\*2</sup>, A. Moghaddamneia<sup>3</sup>, A. Malekeian<sup>3</sup>

Received: 18/04/2015

Accepted: 11/08/2015

### Abstract

Drought occurrence has great impact on the quantity and quality of ground and surface water which in turn affects different aspects of human life including agriculture, water resources and socio-economic issues. Few researches have been performed so far on spatial analysis of drought hazard in Iran. The aim of this study is to determine the spatial and temporal patterns drought hazard index (DHI) and producing the map of this index in Semnan province, Iran. The Standardized Precipitation Index (SPI) was deployed at 3 and 12 months' time scale for generating the map of drought hazard Index (DHI). Kriging and Natural Break methods were elaborated in GIS environment for zoning and classification respectively. The results showed that in 3 month time scale, highest droughts hazard are observed in the northern and central parts of the province and for the 12 month time scale, droughts pose highest hazard to the southern parts would experience the highest values of DHI.

**Keywords:** Drought, Kriging, Hazard, Natural break, SPI, Semnan

<sup>1</sup> M. Sc. in Combating Desertification, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Faculty of Natural resources, University of Tehran

(\*Corresponding author email address: hakhosravi@ut.ac.ir)

<sup>3</sup> Associate professor, Faculty of Natural resources, University of Tehran