

پایش و ارزیابی پدیده‌ی خشک‌سالی و مقایسه نسبی شدت و خسارات ناشی از بروز این پدیده با توجه به مقیاس زمانی کمبود بارندگی «مطالعه موردی: استان خراسان»

حسین انصاری<sup>۱</sup>

#### چکیده

خشک‌سالی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی و یک پدیده ناگوار اقلیمی که به‌طور مستقیم جوامع را از طریق تغییرات در دسترسی به منابع آب تحت تاثیر قرار می‌دهد، هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی زیادی را به همراه داشته و خساراتی که به آن نسبت داده می‌شود به صورت غیرمنتظره‌ای افزایش می‌دهد. با توجه به خسارت فوق‌العاده وسیع و زیانبار این پدیده و به جهت تغییر رویه از مدیریت بحران به مدیریت ریسک، در این پژوهش از شاخص بارندگی استاندارد شده «SPI» برای بررسی روند تغییرات و پایش انواع خشک‌سالی‌ها در منطقه خراسان بزرگ (رضوی، شمالی و جنوبی) استفاده شد. نتایج پایش برای تعیین شدت و مقایسه نسبی خسارات خشک‌سالی، تعیین نسبت اعتبارات مالی و اولویت پرداخت اعتبارات در بخش‌های کشاورزی و منابع آب استفاده شد. بررسی روند تغییرات خشک‌سالی در طول سال و در بین مناطق مختلف استان، روند کاملاً متفاوتی را نشان داد، حتی روند تغییرات بروز خشک‌سالی در بازه‌های زمانی مختلف (انواع خشک‌سالی) برای یک منطقه مشخص، نیز متفاوت بود. بررسی نتایج پایش و تعیین شدت نسبی خشک‌سالی برای شش ماه اول سال ۲۰۰۲ میلادی نشان داد که بیشترین شدت وقوع انواع خشک‌سالی‌ها با شدت نسبی معادل ۴۷ متعلق به شهرستان گناباد بوده که ۱۲/۹ درصد نسبی اعتبارات را با اولویت اول دریافت و شهرستان بجنورد با کمترین شدت نسبی خشک‌سالی معادل ۴، آخرین اولویت پرداخت اعتبار، به میزان نسبی ۱/۱ درصد از مجموع کل اعتبارات استان را به خود اختصاص داده است.

واژگان کلیدی: پایش خشک‌سالی، مقیاس زمانی، شاخص بارندگی استاندارد شده، شدت خشک‌سالی، خراسان

## مقدمه

خشکسالی یک پدیده اقلیمی برگشت‌پذیر و «به‌عنوان یک واقعیت اجتناب‌ناپذیر از اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک» در اثر کمبود بارندگی در یک دوره‌ی زمانی به‌وقوع پیوسته و بخش‌های وسیعی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (بخش‌های کشاورزی، منابع آب، محیط زیست، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، توریسم و ...). هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی زیادی که به این پدیده نسبت داده می‌شود به صورت غیرمنتظره‌ای رو به افزایش است. گرچه تعیین هزینه‌ها و زیان‌ها به دلیل عدم وجود ارزیابی‌های تاریخی معتبر، مشکل‌می‌باشد؛ اما مشخص است که در کشورهای واقع در مناطق خشک جهان منجمله کشور ما ایران، این رقم بالغ بر چندین هزار میلیارد ریال در سال بوده که به‌عنوان نمونه خشکسالی سال ۱۳۸۱ تنها در بخش کشاورزی ۲۱۰۰۰ میلیارد ریال و در چهار ماهه اول سال ۱۳۸۲ نیز ۲۲۰۰۰ میلیارد ریال خسارت وارد کرده است. این رقم برای کشورهایی مانند آمریکا که عموماً آمار دقیقی از خسارات را ارائه می‌دهند، برای بعضی از سال‌ها که خشکسالی متوسط رخ داده (مثلاً سال ۱۹۷۵) برابر ۷۰۰ میلیون دلار و در سال‌هایی که خشکسالی گسترده رخ داده (مثلاً سال ۱۹۹۵) حدوداً برابر ۷ میلیارد دلار گزارش شده است (انصاری، ۱۳۸۳).

با عنایت به توضیحات فوق و با توجه به این که در کشور ما بارندگی سالانه کم‌تر از هدررفت پتانسیل سالانه آب توسط تبخیر و تعرق است، وقوع خشکسالی‌ها، یک حادثه معمولی و طبیعی می‌باشد لذا پایش و ارزیابی اثرات این پدیده بسیار ضروری و مهم است. خشکسالی اگرچه بزرگ‌ترین حادثه طبیعی است که خطرات فوق‌العاده سنگینی بر روی زندگی بشر می‌گذارد (ویل‌هایت و گلنتز، ۱۹۸۵)، اما در کشور ما یک پدیده ناشناخته‌ای بوده که هنوز تعریف جامع و کلی بر آن ارائه نشده است. در این خصوص، تعیین زمان شروع، خاتمه، شدت، تداوم و توزیع مکانی خشکسالی، نحوه‌ی ارزیابی و کمی کردن آن هم‌چنان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل است. لذا هدف این مقاله تبیین اصول و مبانی است که با استفاده از یک شاخص مناسب پایش خشکسالی ارائه شده توسط

مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳)، اولاً امکان پایش خشکسالی میسر گردد، و ثانیاً با پایش درست خشکسالی و ارزیابی اثرات ناشی از این پدیده، بتوان توزیع مناسب‌تر اعتبارات را ممکن و شرایط را برای تبدیل مدیریت بحران به مدیریت ریسک مهیا و از اثرات زیان‌بار آن تا حد امکان کاست.

ایده تعیین دقیق‌تر و بهتر خشکسالی بیش از چند دهه است که مطرح می‌باشد زیرا خشکسالی یک حادثه طبیعی است که در حال حاضر به علت تاثیر پدیده‌هایی چون ال‌نینو، لانینا و تاثیر گازهای گلخانه‌ای در هر اقلیمی و به‌خصوص در اقلیم‌های خشک و نیمه-خشک با یک روند افزایشی در حال اتفاق می‌باشد. تلاش‌هایی برای شناخت بهتر این پدیده طبیعی خزنده که دارای شروع آرامی می‌باشد، از گذشته شروع و هنوز هم ادامه دارد (ویل‌هایت و گلنتز، ۱۹۸۵). در این راستا پژوهش‌گران زیادی تحقیقات گسترده‌ای را در کشورهای مختلف جهان در این زمینه صورت داده‌اند که بحث و بررسی در خصوص تمام این مطالعات به جهت محدودیت ارائه در این مقاله میسر نیست.

در بین پژوهش‌گران مرتبط، یکی از محققینی که در خصوص پایش خشکسالی در مقیاس‌های مختلف زمانی مطالعات زیادی را به انجام رساند و شاخص مناسبی را هم برای پایش این پدیده خزنده ارائه داده، مک‌کی از دانشگاه کلرادو است. این پژوهش‌گر عنوان داشته است که به‌طور کلی تکرار، تداوم و شدت دوره‌های خشک همگی توابعی هستند که به‌طور صریح و یا غیرصریح به مقیاس زمانی وابسته‌اند، به همین جهت وی شاخص استاندارد شده بارندگی<sup>۱</sup> را ارائه داد (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳؛ ۱۹۹۵). این شاخص یکی از معدود شاخص‌های پایش خشکسالی است که در آن تعیین زمان شروع، خاتمه، شدت و مدت پدیده خشکسالی در مقیاس زمانی مختلف میسر است. این مشخصه ویژه، انعطاف‌پذیری بالایی را به آن در تعیین و پایش خشک-سالی‌ها و بررسی اثرات این پدیده بر ذخایر آبی کوتاه مدت (بخش کشاورزی) و بلندمدت (آب‌های زیرزمینی)،

1. Standardized Precipitation Index (SPI)

با عنایت به نتایج مطالعات فوق و اظهار توانائی شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) در تعیین شدت، مدت و تداوم خشکسالی، در پژوهش حاضر سعی شد تا با استفاده از نقاط قوت این شاخص علاوه بر پایش خشکسالی، شدت نسبی و میزان خسارات ناشی از بروز پدیده خشکسالی در مقیاس‌های زمانی متفاوت براساس شاخص SPI تعیین شود.

## مواد و روش‌ها

### مشخصات منطقه

منطقه مورد مطالعه، استان پهناور خراسان بوده که وقوع و تکرار خشکسالی‌های با شدت‌های مختلف و به تبع آن بروز خسارات متفاوت در بخش‌های کشاورزی، صنعت، محیط زیست و منابع آب، یک واقعیت انکار ناپذیر است. برای انجام بررسی‌های مرتبط با این پژوهش، در سطح استان از ۱۶ ایستگاه سینوپتیک مشخص شده در شکل ۱ استفاده شد.

### شاخص SPI و استفاده از آن برای پایش خشکسالی

در این پژوهش پایش خشکسالی برای ۶ ماهه اول سال ۲۰۰۲ مد نظر بوده، لذا شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) که در مقیاس‌های زمانی مختلف قابل محاسبه است، به صورت زیر مورد استفاده قرار گرفت:

$$SPI_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\delta_i} \quad (1)$$

که در آن،  $i$ : مقیاس زمانی،  $\delta$ : انحراف از معیار داده‌های بارندگی،  $X$ : مقادیر بارندگی، و  $\bar{X}$ : متوسط بارندگی می‌باشد، که برای هر ماه از سال به صورت مجزا قابل محاسبه است.

شاخص SPI در هر منطقه بر اساس آمار بلند مدت حداقل ۳۰ سال و برای دوره مورد نظر محاسبه می‌گردد. برای این کار در ابتدا توزیع آماری مناسب بر آمار بلند مدت بارندگی‌ها برآزش داده شده و سپس توزیع آماری استاندارد شده بارندگی، به طوری که متوسط SPI برای هر منطقه و دوره مورد نظر صفر باشد، تعیین می‌شود. در این روش، دوره خشکسالی زمانی شروع

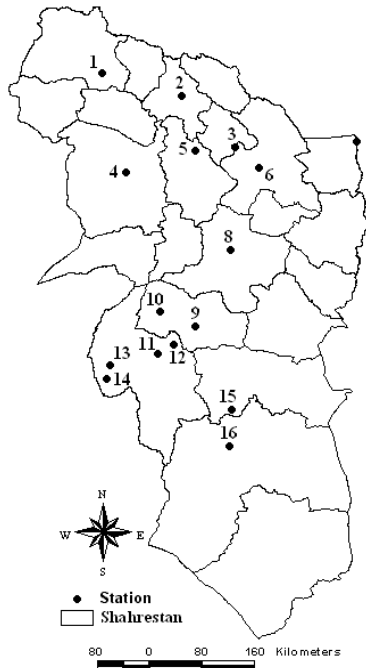
داده، به همین جهت، در سطح وسیعی در دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. صفدری (۱۳۸۲) به کمک شاخص بارندگی استاندارد شده خشکسالی‌های مربوط به حوزه آبخیز کارون را مورد بررسی قرار داد. وی جهت پایش خشکسالی از ۲۹ ایستگاه با طول مشترک زمانی ۲۸ ساله در سه مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه استفاده نموده و نقشه گستره‌ی خشکسالی‌های به وقوع پیوسته را ترسیم نمود. این پژوهش‌گر در نتایج خود عنوان می‌کند که شاخص خشکسالی بارندگی استاندارد شده، شاخص مناسبی برای پایش خشکسالی در حوزه کارون است. با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده، هیز و همکاران (۱۹۹۹) به بررسی خشکسالی سال ۱۹۹۶ ایالت کلرادو آمریکا پرداختند. آن‌ها به کمک یک سری نقشه‌ها اثبات کردند که این شاخص قادر به تشخیص زمان شروع خشکسالی و پیشرفت آن می‌باشد. یزدانی و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش و با استفاده از روش کریجینگ به بررسی وضعیت خشکسالی در یکی از زیر حوضه‌های آبخیز زاینده رود اصفهان پرداختند، این پژوهش نشان داد در منطقه مورد مطالعه ۸ سال خشکسالی متوسط تا ضعیف به وقوع پیوسته و در سال ۱۳۶۳ گسترده‌ترین خشکسالی رخ داده است.

بررسی روند خشکسالی در دشت سیستان نشان داد که از ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰ فراوانی وقوع خشکسالی در ایستگاه معرف زابل زیادتر از دهه ۱۹۹۰-۲۰۰۰ بوده و این ایستگاه در طی سال‌های اخیر بیش‌تر در حالت نرمال و یا مرطوب بوده است (طیب رضیئی و بهرام ثقفیان، ۱۳۸۳). هم‌چنین پژوهش‌گرانی از قبیل: یاموچ و همکاران، ۱۹۹۷؛ هیز و همکاران، ۱۹۹۸؛ ادواردز و مک‌کی، ۱۹۹۷؛ کموسکو، ۱۹۹۹؛ گاتمن، ۱۹۹۹؛ اگنیو، ۲۰۰۰؛ بوسی و همکاران، ۲۰۰۰؛ سالی و همکاران، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۰؛ لنا و همکاران، ۲۰۰۱؛ کنسلیریا و همکاران، ۲۰۰۷؛ دوسو و همکاران، ۲۰۰۷؛ ثنائی نژاد و همکاران، ۱۳۸۲ و انصاری، ۱۳۸۳ و ۱۳۸۶؛ در مطالعات خود اظهار داشته‌اند که شاخص SPI را می‌توان به عنوان یک شاخص مناسب پایش و ارزیابی خشکسالی‌ها معرفی کرد.

منفی معنای عکس آن را دارد. لذا شاخص SPI استاندارد شده، قابل استفاده برای اقلیم‌های خشک و مرطوب بوده، و امکان مقایسه نتایج در دوره‌های زمانی مختلف و مکان‌های متفاوت را نیز به دست می‌دهد.

می‌شود که SPI به‌طور مستمر منفی و به مقدار  $-1$  یا کمتر برسد، و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد. ضمناً مقادیر تجمعی SPI، نیز بزرگی و شدت دوره خشک‌سالی را نشان می‌دهد. مقدار مثبت SPI نشان دهنده بارندگی بیش از بارندگی میانه و مقدار

- ۱- بجنورد
- ۲- قوچان
- ۳- گل‌مکان
- ۴- سبزوار
- ۵- بارنیشابور
- ۶- مشهد
- ۷- سرخس
- ۸- تربت حیدریه
- ۹- گناباد
- ۱۰- بجستان
- ۱۱- فردوس
- ۱۲- فتح‌آباد فردوس
- ۱۳- بشرویه
- ۱۴- ارسک فردوس
- ۱۵- سده بیرجند
- ۱۶- بیرجند



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده برای پایش خشک‌سالی

بررسی قرار گرفته و در بخش دوم نیز تحلیل پایش انواع خشک‌سالی‌ها، بررسی شدت و مقایسه خسارات نسبی خشک‌سالی در هر ماه برای مدیریت بهتر این پدیده به بحث گذاشته شده است.

**روند تغییرات شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف**  
در ابتدا برای تعیین مقادیر شاخص در مقیاس‌های زمانی مختلف، داده‌های بارندگی به‌عنوان تنها داده ورودی جهت محاسبه شاخص استخراج و بعد از پالایش داده‌های مربوطه مقادیر شاخص با استفاده از فرمول ارائه شده محاسبه گردید. برای محاسبه شاخص، هر مجموعه داده با مناسب‌ترین توزیع احتمال جهت تعریف روابط احتمالاتی بارندگی، مشخص گردید. در واقع اولین گام در محاسبه شاخص SPI تعیین تابع

در این پژوهش، علاوه بر پایش خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی و کشاورزی به کمک شاخص SPI، برای تحلیل اثرات ناشی از بروز یک دوره خشک (خشک-سالی) و تعیین شدت و خسارهای نسبی پدیده خشک-سالی جهت توزیع اعتبارات خشک‌سالی در نقاط مختلف استان خراسان نیز از مقادیر شاخص SPI محاسبه شده در مقیاس‌های زمانی متفاوت، استفاده شد.

## نتایج و بحث

با عنایت به هدف پژوهش و روش کار مورد بحث، نتایج حاصل از انجام تحقیق در دو بخش کاملاً مجزا ارائه شده است. در بخش اول روند تغییرات مقادیر شاخص SPI در شش ماهه اول سال ۲۰۰۲ در ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان بزرگ مورد

$$Z = SPI = + \left[ t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (7)$$

$$0.5 < H(x) < 1$$

که:

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{H(x)^2} \right]} \quad \text{برای } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (8)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(1-H(x))^2} \right]} \quad \text{برای } 0.5 < H(x) \leq 1.0 \quad (9)$$

و  $C_0, C_1, C_2, d_1, d_2, d_3$  ضرایب ثابت زیر می‌باشند.

$$C_0 = 2.535537, \quad d_1 = 3.432788, \quad C_1 = 0.802853 \\ d_2 = 0.189269, \quad C_2 = 0.030328, \quad d_3 = 0.003308$$

هنگامی که رابطه احتمال داده‌های بارندگی موجود به دست آمد، احتمال نقطه‌ای هر یک از داده‌های بارندگی مشاهده شده، محاسبه و برای محاسبه انحراف بارندگی در یک تابع چگالی احتمال نرمال استاندارد که دارای میانگین صفر و انحراف از معیار واحد می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفت. این مقادیر، مقدار SPI را برای هر داده بارندگی نشان می‌دهد. به دلیل این که مقادیر SPI با یک توزیع نرمال برآزش شده است لذا شخص می‌تواند انتظار داشته باشد که تقریباً ۶۸٪ زمان‌ها مقادیر با یک واحد انحراف از استاندارد، ۹۵٪ زمان‌ها با دو انحراف و ۹۹٪ زمان‌ها با سه انحراف استاندارد از میانگین قرار گیرد. تفسیر دیگر این مورد این است که مقدار SPI کم‌تر از ۱-، ۱۶ بار در ۱۰۰ سال، SPI کم‌تر از ۲/۰-، ۲ تا ۳ بار در ۱۰۰ سال و SPI کم‌تر از ۳-، یک بار در تقریباً هر ۲۰۰ سال اتفاق می‌افتد. برای انجام کلیه مراحل فوق و محاسبه شاخص SPI برای هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک مورد نظر، از برنامه کامپیوتری در محیط فرترن (۲۰۰۴) استفاده شد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص برای سه ایستگاه سینوپتیک واقع در مراکز استان‌های خراسان رضوی، جنوبی و شمالی به عنوان نمونه در شکل ۲ ارائه شده است.

بررسی نتایج فوق در خصوص روند تغییرات مقادیر شاخص در بین ماه‌ها و ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهند که در ایستگاه سینوپتیک بیرجند شرایط رطوبتی نسبتاً مناسبی برای مقیاس‌های زمانی کم در

توزیع احتمال است که به توان سری‌های زمانی طولانی مدت داده‌های بارندگی را توصیف نمود. مناسب‌ترین و متداول‌ترین تابع توزیع مورد توجه برای این امر تابع توزیع گاما بود<sup>۱</sup>، که به صورت زیر تعریف شد:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^x \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad X < 0 \quad (2)$$

در معادله فوق:  $\alpha > 0$  پارامتر شکل،  $\beta > 0$  پارامتر مقیاس، X مقدار بارندگی،  $\Gamma(\alpha)$  تابع گاما است.

پارامترهای تابع چگالی احتمال گاما از داده‌های نمونه با روش درست‌نمایی حداکثر برای هر ایستگاه و برای مقیاس زمانی انتخابی و برای هر ماه از سال برآورد گردید، بنابراین:

$$\tilde{\alpha} = \frac{1}{4A} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad \hat{\beta} = \frac{X}{\tilde{\alpha}} \quad (3)$$

$$A = \ln(X) = \frac{\sum \ln(X)}{n} \quad (4)$$

که n: تعداد مشاهدات بارندگی می‌باشد. پارامترهای محاسبه شده سپس برای پیدا کردن، احتمال تجمعی بارندگی برای ماه و مقیاس زمانی مشخص برای ایستگاه مشخص به کار برده می‌شود. احتمال تجمعی، با فرض  $t = X / \tilde{\beta}$  تبدیل به تابع گامای ناقص می‌شود.

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

زمانی که تابع گاما برای  $X=0$  تعریف نشده باشد و توزیع بارندگی دارای صفر باشد، احتمال تجمعی به صورت زیر محاسبه می‌شود.

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

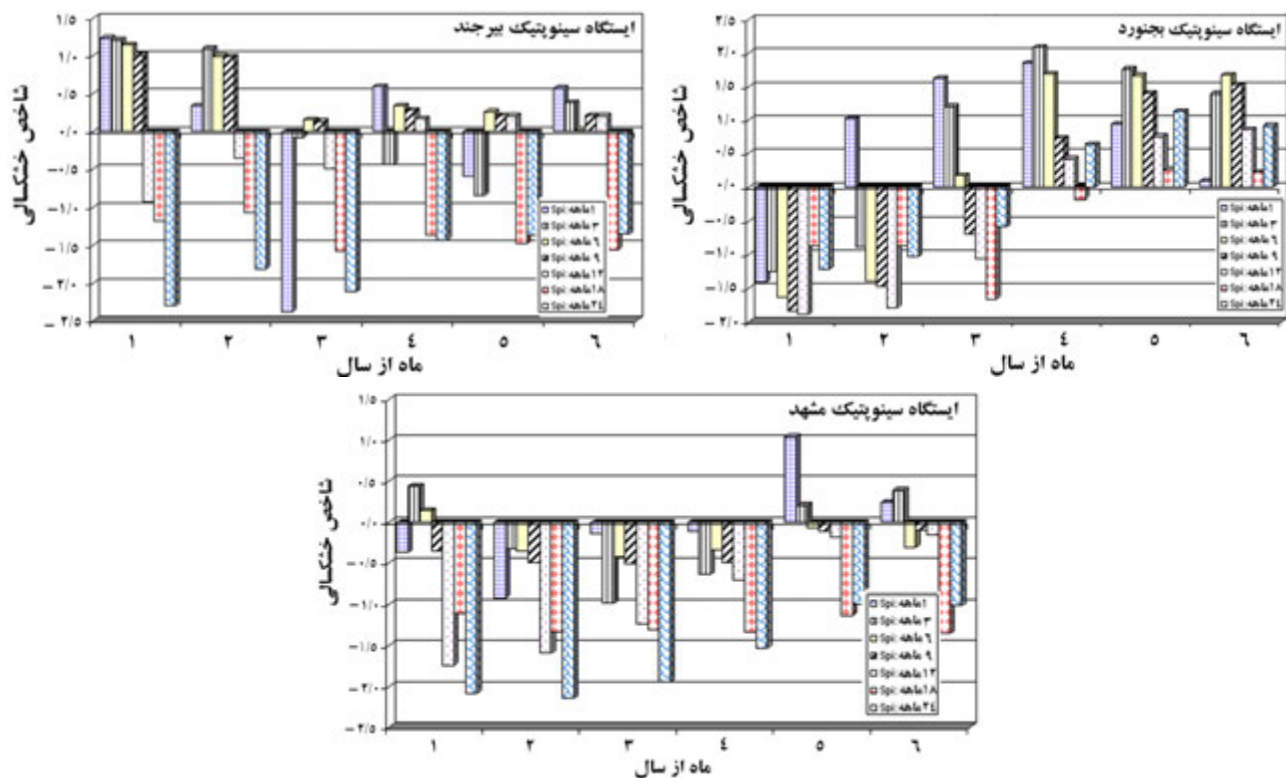
در معادله فوق (q) احتمال بارندگی صفر می‌باشد. در صورتی که m تعداد صفرها در سری‌های زمانی بارندگی باشد، q به صورت m/n تخمین زده شده و H(x) به متغیر نرمال (Z) با تقریب زیر تبدیل می‌شود:

۱. براساس نظریه اصلاحی مک‌کی و گاتمن توزیع گاما، مناسب‌ترین توزیع است. لازم به ذکر است که نحوه محاسبات توزیع احتمال داده‌ها توسط این دو محقق ارائه شده است، که در آن اصلاحاتی برای زمانی که داده بارندگی ماهانه برابر صفر است، مد نظر قرار گرفته است (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۵؛ گاتمن، ۱۹۹۹).

بزرگ مانند ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه، بیش‌تر و برای ایستگاه بجنورد شرایط عکس یعنی مقادیر شاخص کم‌تر بوده است. این تغییرات نشان می‌دهد که کمبود میزان بارندگی در طی سال ۲۰۰۱ در ایستگاه‌های بیرجند و مشهد، کاهش میزان رطوبت در مقیاس‌های زمانی بزرگ را در ماه‌های ابتدای سال ۲۰۰۲ باعث شده است، اما این اتفاق در خراسان شمالی یعنی بجنورد رخ نداده است. بررسی و تحلیل‌های مشابهی برای کلیه ایستگاه‌های مورد بحث در سطح استان انجام شده که نتایج حاصل برای انجام اقداماتی مدیریتی قابل استفاده می‌باشد، علاوه بر این تحلیل‌های بخش بعدی بر مبنای این نتایج ارائه شده است.

ماه‌های اول سال ۲۰۰۲ حاکم بوده، اما این شرایط در بجنورد حاکم نیست و دقیقاً شرایط رطوبتی متفاوتی بروز کرده، یعنی مقادیر شاخص در مقیاس‌های زمانی مختلف برای ماه‌های آوریل تا ژوئن مثبت شده و برای ماه‌های اول سال منفی بوده است. در ایستگاه مشهد نیز شرایط متفاوتی از دو ایستگاه دیگر وجود داشته و نتایج نشان می‌دهد که تقریباً در اکثر ماه‌ها، مقادیر شاخص کم‌تر از صفر بوده و میزان بارندگی ماهانه در ماه‌های مختلف و در مقیاس‌های زمانی متفاوت کم‌تر از شرایط نرمال منطقه بوده است.

مقایسه مقادیر شاخص در مقیاس‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های مشهد و بیرجند، مقادیر شاخص مربوط به مقیاس‌های زمانی



شکل ۲: مقایسه مقادیر شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف برای ماه ژانویه تا ژوئن سال ۲۰۰۲

شرایط نرمال در هر بخش تعیین و سپس با مقایسه مقادیر شدت بروز پدیده خشک‌سالی و کمبود مذکور، میزان نسبی خسارت در هر منطقه مشخص گردید. لازم به توضیح است که مقیاس زمانی مورد نظر در پایش خشک‌سالی براساس ماهیت محاسباتی شاخص و

پایش انواع خشک‌سالی‌ها و مقایسه نسبی شدت و خسارت وقوع آن

در ابتدا با توجه به ماهیت منابع آبی در بخش‌های مختلف کشاورزی و هیدرولوژیکی، مقیاس زمانی بارندگی مرتبط با بروز کمبود منابع آب نسبت به

حداکثر ۱۰۰ سانتی‌متر ناشی از بارندگی‌های ماهانه، می‌تواند نیاز آبی این گونه‌های گیاهی را برطرف نموده و از بروز تنش‌های آبی زیاد و کاهش شدید عملکرد فیزیولوژیکی جلوگیری نماید. لذا با توجه به آمار بروز خسارات ارائه شده در این بخش و ارتباط آن با فرض فوق، برای پایش خشک‌سالی‌های مرتبط با این بخش از میانگین مقدار شاخص در مقیاس زمانی یک‌ماهه استفاده شد. پس از محاسبه شاخص برای ماه‌های مختلف، مقدار میانگین این شاخص برای دوره آماری مورد نظر یعنی شش ماهه اول سال ۲۰۰۲ برای توزیع اعتبارات سال ۱۳۸۰ در شهرستان‌های خراسان بزرگ تعیین گردید، که نتایج حاصله در شکل ۳ ارائه شده است.

با توجه به نتایج ارائه شده، به راحتی می‌توان شدت و درجه هر یک از انواع خشک‌سالی‌ها و شرایط مناسب رطوبتی را در هر یک از شهرستان‌های تابعه تعیین نمود. به‌عنوان مثال، بررسی مقادیر شاخص در مقیاس زمانی یک ماهه برای خشک‌سالی نوع یک نشان می‌دهد که در بین ایستگاه‌های مورد بررسی، شهرستان گناباد حادث‌ترین شرایط خشکی را دارا بوده و شهرستان نهبندان مناسب‌ترین شرایط رطوبتی را دارد. به جهت امکان مقایسه شدت خشک‌سالی‌های به‌وقوع پیوسته در بین شهرستان‌ها، اعدادی قراردادی برای مقایسه نسبی اثرات خشک‌سالی مورد استفاده قرار گرفت که با جمع اعداد مربوط به هر یک از انواع خشک‌سالی‌ها در هر شهرستان، شرایط کلی خشک‌سالی در آن شهر نسبت به دیگر شهرستان‌ها تعیین می‌شود. این اعداد برای برنامه‌ریزی‌های مختلف مرتبط با خشک‌سالی‌ها قابل استفاده است. به‌عنوان مثال با محاسبه شدت نسبی خشک‌سالی در هر شهرستان به نسبت شدت کل در استان، می‌توان اولویت و نسبت پرداخت اعتبارات آن شهرستان از مجموع کل اعتبارات استان برای خشک‌سالی و یا هر یک از انواع خشک‌سالی‌ها را تعیین نمود. نتایج حاصل از بررسی‌های فوق در جدول ۱ ارائه شده است.

رابطه شاخص مذکور با شدت خسارات مرتبط با کمبود بارندگی در بخش‌های مختلف کشاورزی و هیدرولوژیکی، که توسط کارشناسان کار گروه خشک‌سالی ستاد حوادث استان متشکل از نمایندگان مطلع کلیه سازمان‌های مرتبط ارائه شده بود، انتخاب گردید. با توجه به تاثیر کمبود منابع آبی در هر بخش و بررسی‌ها و تحلیل‌های صورت گرفته توسط پژوهشگر در ارتباط با همبستگی بروز خسارت و کمبود متوسط بارندگی‌های ماهانه در مقیاس‌های زمانی مختلف از یک سو و از سوی دیگر نحوه توزیع اعتبارات خشک‌سالی در سازمان‌های مختلف تحت پوشش استانداری مرکز، تقسیم‌بندی‌های زیر در خصوص انواع خشک‌سالی صورت گرفت:

الف) خشک‌سالی کشاورزی مرتبط با زراعت دیم و مراتع با گونه‌های گیاهی خاص<sup>۱</sup> (خشک‌سالی نوع ۱).

ب) خشک‌سالی کشاورزی مرتبط با مراتع و چراگاه‌ها (خشک‌سالی نوع ۲).

ج) خشک‌سالی کشاورزی مرتبط با مراتع با گونه‌های گیاهی مقاوم، زراعت آبی و منابع آب سطحی فصلی (خشک‌سالی نوع ۳).

د) خشک‌سالی هیدرولوژیکی مرتبط با منابع آب سطحی دائمی و مخازن آبی متوسط (خشک‌سالی نوع ۴).

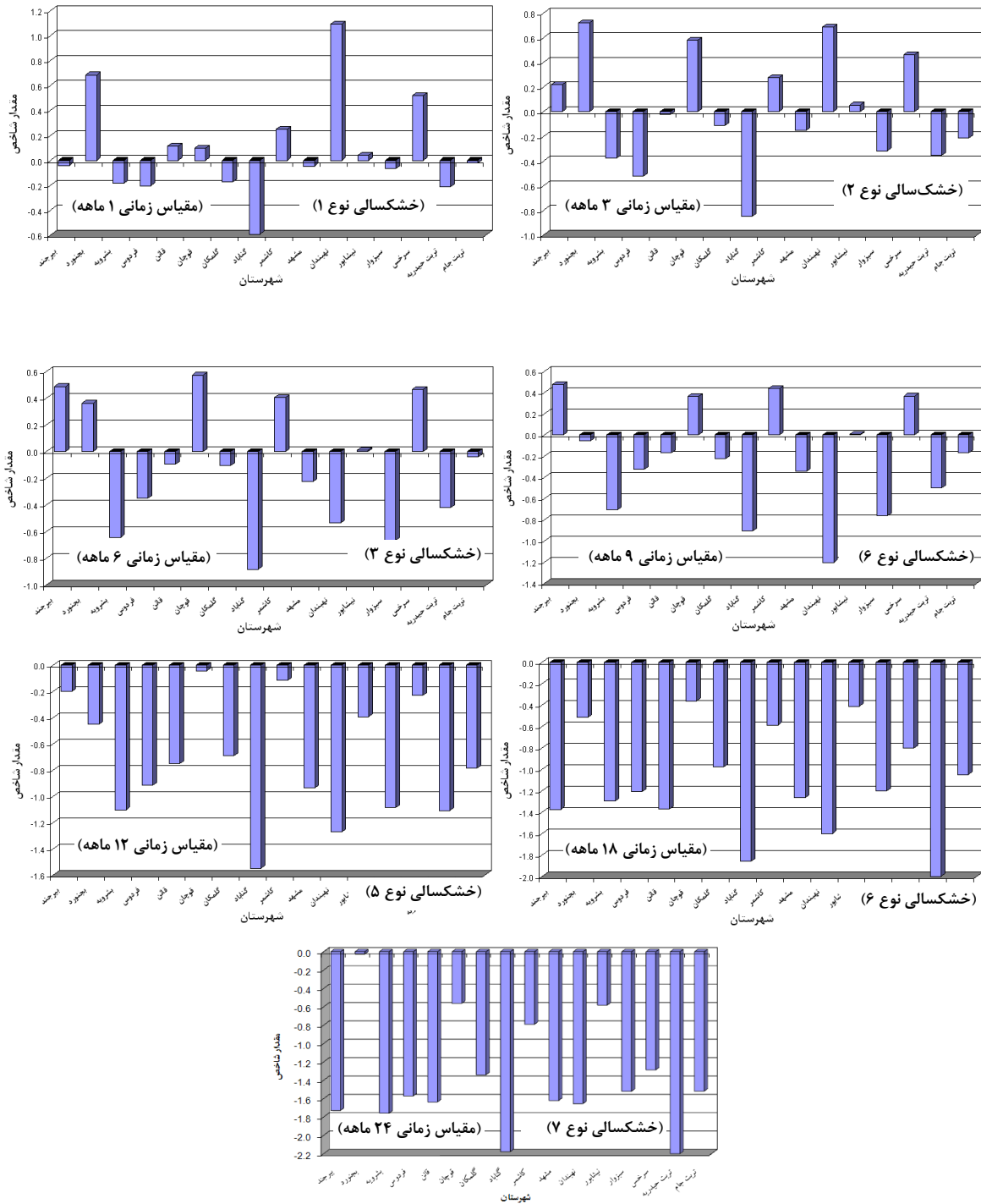
ه) خشک‌سالی هیدرولوژیکی مرتبط با مخازن بزرگ آب سطحی، آب‌های زیرزمینی با عمق کم و قنوت (خشک‌سالی نوع ۵).

و) خشک‌سالی هیدرولوژیکی مرتبط با منابع آب زیرزمینی با عمق متوسط (خشک‌سالی نوع ۶).

ز) خشک‌سالی هیدرولوژیکی مرتبط با منابع آب زیرزمینی عمیق (خشک‌سالی نوع ۷).

بعد از تعیین نوع خشک‌سالی‌ها، همان‌طور که عنوان شد، مقیاس زمانی مرتبط با هر نوع از خشک‌سالی برای محاسبه شاخص SPI تعیین گردید. به‌عنوان مثال، در بخش زراعت دیم و مراتع با گونه‌های گیاهی خاص (گونه‌های گیاهی با ریشه‌های سطحی)، حداکثر میزان آب ذخیره شده در یک خاک با بافت متوسط و در عمق

۱. منظور از مراتع با گونه‌های گیاهی خاص مراتعی است که دارای گونه‌های گیاهی با ریشه‌های کم عمق و سطحی می‌باشند



شکل ۳: پایش انواع خشک‌سالی کشاورزی و هیدرولوژیکی با محاسبه شاخص SPI در مقیاس زمانی مرتبط

اقدامات مناسب در مقابله با خشک‌سالی، توزیع صحیح و اصولی اعتبارات است که از جدول فوق اولاً نسبت اعتبارات هر شهرستان به کل استان و همچنین اولویت پرداخت اعتبارات در استان قابل تشخیص است.

بررسی نتایج ارائه شده در جدول نشان می‌دهد که با تعیین شدت خشک‌سالی در هر بخش و هر شهرستان و امکان مقایسه آن با کل استان، مدیریت خسارات ناشی از پدیده بسیار ساده‌تر خواهد بود. یکی از



جدول ۱: نتایج حاصل از پایش انواع خشک‌سالی و مقایسه شدت و خسارت نسبی بروز آن‌ها

شهرستان	پارامتر مقایسه‌ای	مقیاس زمانی SPI																			
		خشک‌سالی کشاورزی نوع ۱		خشک‌سالی کشاورزی نوع ۲		خشک‌سالی کشاورزی نوع ۳		خشک‌سالی کشاورزی نوع ۴													
		شدت خشک‌سالی	نسبت اعتبار (۱)	شدت خشک‌سالی	نسبت اعتبار (۱)	شدت خشک‌سالی	نسبت اعتبار (۱)	شدت خشک‌سالی	نسبت اعتبار (۱)												
بیرجند	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱	۳/۱	۲	۳/۱	۸	۷/۹	۹	۷/۸	۱۹	۵/۲	۱۰	
بجنورد	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۳
بشرویه	۱	۱۱/۱	۲	۱۱/۱	۴	۱۵/۴	۶	۱۲/۵	۴	۱۵/۴	۴	۱۱/۱	۷	۶/۹	۹	۷/۸	۳۳	۹/۱	۴	۹/۱	
فردوس	۲	۲۲/۲	۳	۱۶/۷	۲	۷/۷	۲	۶/۳	۲	۷/۷	۲	۷/۸	۷	۶/۹	۹	۷/۸	۳۰	۸/۲	۶	۸/۲	
قاین	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۹
قوچان	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۳
گلمکان	۱	۱۱/۱	۱	۵/۶	۱	۳/۸	۲	۶/۳	۲	۳/۸	۱	۵/۶	۶	۵/۹	۷	۶/۱	۲۲	۶/۰	۸	۶/۰	
گناباد	۳	۳۳/۳	۵	۲۷/۸	۵	۱۹/۲	۸	۱۵/۶	۵	۱۹/۲	۵	۲۷/۸	۱۰	۹/۹	۱۱	۹/۶	۴۷	۱۲/۹	۱	۱۲/۹	
کاشمر	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۲
مشهد	-	-	۱	۵/۶	۲	۷/۷	۲	۶/۳	۲	۷/۷	۲	۵/۶	۷	۶/۹	۹	۷/۸	۲۶	۷/۱	۷	۷/۱	
نهبندان	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۳
نیشابور	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۲
سبزوار	-	-	۲	۱۱/۱	۴	۱۵/۴	۴	۱۲/۵	۴	۱۵/۴	۴	۱۱/۱	۷	۶/۹	۸	۷/۰	۳۱	۸/۵	۵	۸/۵	
سرخس	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۱
ترت حیدریه	۲	۲۲/۲	۲	۱۱/۱	۳	۱۱/۵	۳	۹/۴	۳	۹/۴	۳	۱۱/۵	۱۰	۹/۹	۱۱	۹/۶	۳۷	۱۰/۲	۲	۱۰/۲	
ترت جام	-	-	۲	۱۱/۱	۱	۳/۸	۱	۳/۱	۱	۳/۸	۱	۱۱/۱	۶	۵/۹	۸	۷/۰	۲۲	۶/۰	۸	۶/۰	
جمع	۹	۱۰۰	۱۸	۱۰۰	۲۶	۱۰۰	۳۲	۱۰۰	۶۴	۱۰۰	۱۰۱	۱۰۰	۱۱۵	۱۰۰	۱۱۵	۱۰۰	۳۶۴	۱۰۰	-	-	

\*: اعداد قراردادی بوده و برای مقایسه نسبی شدت و خسارت ناشی از پدیده خشک‌سالی ارائه شده است.

بررسی‌های فوق نشان می‌دهد که شاخص بارندگی استاندارد شده SPI، توانایی پایش خشک‌سالی‌های ماهانه را به خوبی دارد.

۲) شاخص مورد نظر توانایی پایش زمان وقوع، خاتمه و شدت هر یک از خشک‌سالی‌ها در بازه‌های زمانی مختلف را دارد. همچنین با نرمال‌سازی و استاندارد کردن این شاخص، امکان مقایسه شدت خشک‌سالی در بازه‌های زمانی متفاوت و در بین نقاط مختلف نیز وجود دارد. این مزیت از مزایای منحصر به فرد شاخص SPI است.

۳) استفاده از این شاخص برای بررسی روند تغییرات

لازم به توضیح است که سهم اعتبارات استخراجی از جدول فوق به ازای واحد سطح یا واحد تولید بوده و در پرداخت واقعی اعتبارات، سطوح واقعی هر یک از بخش تحت تاثیر خشک‌سالی در هر شهرستان باید مد نظر قرار گیرد.

### نتیجه‌گیری

بررسی و تحلیل نتایج حاصل از پژوهش، نهایتاً نتیجه‌گیری کلی زیر را به دست داد:

۱) همان‌طور که قبلاً توسط دیگر پژوهشگران بیان شده،

### پیشنهادات

(۱) پیشنهاد می‌شود که از شاخص SPI برای پایش خشک‌سالی‌های کشاورزی (دیم و آبی)، هواشناسی و منابع آبی (قنات، چشمه‌ها، کاریزها، مخازن بزرگ و کوچک، منابع آب سطحی فصلی و دائمی و منابع آب زیرزمینی کم‌عمق و عمیق) با توجه به خصوصیات شاخص استفاده شود، و تعیین اثرات و توزیع اعتبارات با استفاده از این شاخص انجام شود.

(۲) پیشنهاد می‌شود که برای جلوگیری از اعمال نفوذ عوامل با نفوذ بالا در توزیع اعتبارات خشک‌سالی و نیز توزیع این اعتبارات بر اساس گزارشات ارائه شده از سوی سازمان‌های مرتبط، از تلفیق نتایج شاخص SPI با شاخص‌های سطح و میزان عملکرد، گستردگی بخش تحت تاثیر و نهایتاً تولید نقشه‌های آسیب‌پذیری مناطق، این نقشه‌ها برای توزیع مناسب اعتبارات استفاده شود.

(۳) پیشنهاد می‌شود تا با استفاده از شاخص SPI و به جهت مقیاس‌دار بودن این شاخص، اعتبارات خشک‌سالی به صورت بخشی توزیع شود.

(۴) پیشنهاد می‌شود با استفاده از شاخص SPI، پهنه‌بندی خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی متفاوت برای کل کشور در قالب یک طرح پژوهشی صورت پذیرد تا بتوان از آن برای مدیریت بهتر خشک‌سالی، تبدیل مدیریت بحران به مدیریت ریسک، بیمه محصولات کشاورزی و ... استفاده کرد.

(۵) پیشنهاد می‌شود از شاخص‌های دیگر برای انجام پژوهش‌های مشابه استفاده و نتایج به دست آمده با نتایج این تحقیق مقایسه گردد.

(۶) پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های مشابه و با هدف تولید نقشه‌های مرتبط با ریسک خشک‌سالی، قوانین بیمه‌ای مرتبط با محصولات کشاورزی و منابع آبی اصلاح گردد تا رفاه اجتماعی (رفاه بیمه‌گذار و بیمه‌گر) تامین شود.

خشک‌سالی در استان خراسان بزرگ نشان داد، که روند تغییرات این پدیده در ماه‌های مختلف سال نه تنها در نقاط مختلف استان بلکه در مقیاس‌های مختلف زمانی حتی برای یک ایستگاه مشخص نیز بسیار متفاوت است. (۴) نتایج حاصل نشان داد که بروز پدیده خشک‌سالی سالانه نبوده و می‌تواند در دوره‌های ماهانه نیز به وقوع پیوسته و خشک‌سالی‌های خاصی در بخش‌های مختلف اقتصادی، به خصوص در بخش کشاورزی و منابع آب را باعث شود. با توجه به این مشخصه و توانایی شاخص SPI در پایش خشک‌سالی، تعیین شدت و مقایسه نسبی اثرات خشک‌سالی در شهرستان‌های مختلف استان خراسان بزرگ میسر گردید. بررسی‌ها نشان داد که امکان بروز خشک‌سالی‌های مختلف با شدت و خسارت متفاوت در طی ماه‌های مختلف سال در هر منطقه از استان نیز وجود دارد.

(۵) تحلیل‌های ارائه شده در پژوهش نشان داد که به کمک شاخص پایش خشک‌سالی، امکان مدیریت صحیح پدیده زیان‌بار خشک‌سالی نیز وجود دارد. با محاسبه شاخص و مقایسه نسبی شدت و اثرات پدیده‌ی خشک‌سالی در سطح استان، مشخص گردید که امکان بروز انواع خشک‌سالی با شدت‌های مختلف و خسارات نسبی متفاوت در بخش‌های مختلف کشاورزی و منابع آبی در سطح استان و در بین ماه‌های سال و در کل سال وجود دارد که بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان توزیع اعتبارات و اولویت پرداخت آن را برای هر یک از انواع خشک‌سالی‌ها تعیین نمود.

(۶) نتایج حاصل از تعیین شدت انواع خشک‌سالی‌ها نشان داد که بیش‌ترین شدت خشک‌سالی و خسارات به‌طور نسبی در شهرستان گناباد در خراسان رضوی بروز کرده و کم‌ترین آن مربوط به مرکز خراسان شمالی یعنی بجنورد بوده است. بر همین اساس شهرستان گناباد اولویت اول دریافت اعتبارات در بین شهرستان‌های خراسان بزرگ و بجنورد آخرین اولویت دریافت اعتبارات را دارد.

## منابع

- انصاری، ح. ۱۳۸۳. پایش و پهنه‌بندی خشک‌سالی با استفاده از منطق فازی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی. پایان‌نامه دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- انصاری، ح. و داوری، ک. ۱۳۸۶. پهنه‌بندی دوره خشک با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده در محیط GIS. مجله علمی و پژوهشی پژوهش‌های جغرافیایی، جلد ۱، شماره ۶۰، ص ۹۷-۱۰۸.
- ثنائی‌نژاد، ح.، انصاری، ح.، داوری، ک. و مرید، س. ۱۳۸۲. پایش و ارزیابی شدت دوره‌های خشک مشهد در مقیاس‌های زمانی متفاوت با استفاده از شاخص استاندارد شده بارندگی. مجله علمی و پژوهشی علوم خاک و آب، جلد ۱۷، شماره ۲، ص ۲۰۱-۲۰۸.
- رضیعی، ط. و ثقفیان، ب. ۱۳۸۳. بررسی روند خشک‌سالی در دشت سیستان. اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران، تبریز.
- صفدری، ع. ۱۳۸۲. تحلیل شدت، تداوم، فراوانی و گستره خشک‌سالی به کمک داده‌های بارندگی، مطالعه موردی: حوزه آبخیز کارون. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- صفدری، ع. ۱۳۸۲. پهنه‌بندی خشک‌سالی‌های حوزه کارون به کمک شاخص SPI در محیط GIS. همایش ژئوماتیک، تهران ۸۲.
- یزدانی، م. و چاوشی، س. ۱۳۸۵. بررسی وضعیت هواشناسی در زیر حوزه آبخیز زاینده رود، اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده رود، شهرکرد.
- Agnew, C. T. 2000. Using the SPI to Identify Drought. Drought Network News, Newsletter of IDIC and NDMC, 12(1): 6-12.
- Bussay, A., Hayes, M., Szinell, Cs. and Svoboda, M. 2000. Monitoring Drought in Hungary with the Standardized Precipitation Index. Journal of Water International, 15:339-345.
- Cancelliere, A., Mauro, G., Bonaccorso, B. and Rossi, G. 2007. Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index. Journal of Water Resources Management, 21:801-819.
- Dossou, G. and Soumaila, M. 2007. Analysis of drought in Burkina Faso by using Standardized Precipitation Index. The Pyrenees International Workshop on Statistics, Probability and Operations Research. September 12\_15, SPO 2007, Jaca.
- Edwards, D. C. and McKee, T. B. 1997. Characteristics of 20<sup>th</sup> Century Drought in the United States at Multiple Time Scales. Climatology Report Number 97, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins.
- Guttman, N. B. 1999. Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. J. Amer. Water Res. Assoc, 35: 311-322.
- Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wilhite, D.M. and Vanyarkno, D.V. 1999. Monitoring the 1996 Drought using the standardized precipitation index. Bulletin of the American meteorological society, 80(3): 43-55.
- Komuscu, A. U. 1999. Using the SPI to Analyze Spatial and Temporal Patterns of Drought in Turkey. Drought Network News, Newsletter of IDIC and NDMC, 11(1): 7-13.
- Lana, X., Serra, C. and Burgueño, A. 2001. Patterns of monthly rainfall shortage and excess in terms of the standardized precipitation index for Catalonia. Int. J. Climatol., 21:1669-1691.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Proc. 8<sup>th</sup> Conf. on Applied Climatology, January 17 - 22, 1993, American Meteorological Society, Massachusetts, pp. 179 - 184.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. 1995. Drought Monitoring with Multiple Time Scales. Proc. 9<sup>th</sup> Conf. on Applied Climatology, January 15 - 20, 1995. American Meteorological Society, Massachusetts, pp. 233 - 236.
- Szalai, S., Szinell, Cs., Bussay, A. and Szentimrey, T. 1998. Drought Tendencies in Hungary. J. Climatol., 18:1479-1491.
- Szalai, S., Szinell, Cs. and Zoboki, J. 2000. Drought Monitoring in Hungary. Proce. of an expert

group meeting, 5-7 Sept. 2000. Lisbon, Portugal, AGM-2, WMO/TD. No. 1037.

Yamoah, C., Hayes, M. J. and Savoboda, M. D. 1997. Application of the Standardized Precipitation Index to Estimate Crop Yield in Nebraska. Proc. 10<sup>th</sup> Conf. on Applied Climatology, Boston, MA., American Meteorological Society.

Wilhite, D. A. and Glantz, M. H. 1985. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. Water International, 10: 111-120.

## Monitoring Drought Phenomena and Relative Comparison of Severity and Effects of its Occurrence based on Precipitation Deficit Time Scale Case Study: Khorasan Province

Ansari<sup>1</sup>, H.

### Abstract

Drought as one the most important natural disasters directly affects the societies by water availability variations. It imposes a lot of economic, social and environmental costs and its effects are increasing, unexpectedly. According to this phenomena extraordinary effects and changing the approach of crisis managing to risk management. We use standardized precipitation index(SPI) for monitoring different kinds of drought in great khorasan region. The results were applied for severity determination, relative comparing effects of drought, determining the credit ratio and the credit paying preferences in agricultural and water resources sectors. The results showed that the trend for drought variations are different during the months of year in the study regions. Additionally, the trend of SPI variations were different in various time scales for the same region. Considering the results of drought severity for the first six-month of 2002 show that the most severity of different droughts have been occurred in Gonabad with relative severity of 47. Therefore, this event requires 12.9% of credits relatively, with first order of preferences. Whereas, Bojnord city is with the least relative severity drought of 4, and the last credit paying preference, has relatively received 1.1% of province total credits.

**Keywords:** Drought Monitoring, Time Scale, Standardized Precipitation Index, Drought Severity, Khorasan

---

1. Associate Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad

-----