

تحلیل خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش (SPI) (مطالعه موردی: استان خراسان)

چکیده:

از آن‌جایی که خشکسالی یک پدیده اقلیمی گسترده بوده که از کمبود بارندگی در یک منطقه به وجود می‌آید، لذا توزیع منطقه‌ای آن یکی از ویژگی‌های مهم به شمار می‌رود. این توزیع منطقه‌ای باعث درک بهتری از این پدیده شده است. تاکنون تکنیک‌ها و روش‌های زیادی برای تحلیل فضایی و توزیع منطقه‌ای خشکسالی ارائه گردیده است. یکی از این تکنیک‌ها استفاده از شاخص خشکسالی SPI است. این شاخص می‌تواند به عنوان یک شاخص قابل اطمینان برای پایش خشکسالی مورد استفاده قرار گیرد. لذا در این مقاله از این شاخص جهت پهنه‌بندی استان خراسان (شمالی، جنوبی و رضوی) استفاده شده است که نتایج حاصل از آن می‌تواند در سیاست‌گذاری‌های مدیران در جهت به کارگیری مدیریت ریسک خشکسالی مورد استفاده قرار گیرد و باعث کاهش اثرات مختلف این بلا گردد.

واژه‌های کلیدی:

خشکسالی، شاخص SPI، مدیریت ریسک، پهنه‌بندی خشکسالی.

مقدمه

خشکسالی بلایی است که از فقدان آب (بارندگی) ناشی می‌شود و نبود آن به معنای نابودی حیات است. (مهدی / آسیائی / ۷۱). دانش بشری هنوز بدان حد توسعه نیافته که راهکارهای مناسبی جهت رفع کمبود بارندگی بیابد؛ از این رو پیش آگاهی و پیش‌بینی‌های دوره‌های خشک مهم‌ترین رهیافت در اجتناب از بروز خسارت‌های این پدیده‌ی زیان‌بخش است. هرچند این پیش‌بینی‌ها دقیق‌تر و فواصل زمانی آن طولانی‌تر باشد، ابعاد بحران محدودتر می‌شود و برآورد و جبران خسارت ساده‌تر می‌گردد. خشکسالی به عنوان یکی از پیچیده‌ترین بلایای طبیعی، پدیده‌ای خزنده به شمار می‌رود (مهدی آسیائی / ۶۵/۱۳۸۴). تداوم وقوع آن طولانی بوده و اثرات ناشی از آن حالت غیر ساختاری داشته و در نتیجه خسارت‌های ناشی از این پدیده در بخش‌های مختلف مانند کشاورزی، اجتماعی و غیره به صورت تدریجی ظاهر می‌شود. نکته‌ی حائز اهمیت این است که خسارت و اثرات ناشی از خشکسالی برابر یا بیشتر از خسارت ناشی از بلایای طبیعی دیگر مثل سیل و زلزله است همچنین به دلیل طبیعت و ذات پنهانی این پدیده، تعیین زمان آغاز، گسترش و خاتمه‌ی آن بسیار مشکل است (علی خلیلی / ۷۹ / ۱۳۸۲). این مسأله اهمیت پایش گسترده و یا ایجاد یک نظام هشدار و پیش‌آگاهی را در مناطق مستعد خشکسالی نشان می‌دهد. در این راستا استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به منظور انجام پایش خشکسالی بسیار مفید است. علاوه بر آن به کارگیری شاخص‌های خشکسالی در خلاصه سازی بسیاری از پارامترهای مؤثر در خشکسالی در سطوح مختلف برای سیاست‌گذاران مفید است. با استفاده از شاخص‌های خشکسالی می‌توان شدت و وسعت خشکسالی را کمی و آن را به صورت دوره‌ای ارزیابی کرد (مهدی آسیائی / ۸۹ / ۱۳۸۴). به طور کلی شاخص‌های متعددی برای ارزیابی خشکسالی به کار برده می‌شوند که از آن جمله می‌توان به شاخص‌های زیر اشاره کرد:

- شاخص درصد نرمال^۱ (PN)
- شاخص استاندارد بارش^۲ (SPI)

^۱ Percent of Normal

^۲ Standardized Precipitation Index

- شاخص شدت خشکسالی پالمر^۱ (PDSI)
- شاخص دهک‌ها^۲
- شاخص خشکسالی بالم و مولی^۳ (BMDI)
- شاخص خشکسالی احیایی^۴ (RDI)
- شاخص اندیس گیاهی^۵ (NDVI)
- شاخص بارش موثر^۶ (EPI)

هر یک از این شاخص‌ها فقط برای کاربردهای خاص در منطقه خاصی معتبر هستند که علت آن متغیر بودن شرایط هواشناختی موثر بر ایجاد پدیده خشکسالی از نقطه‌ای به نقطه دیگر است. ولی برای مناطقی که دارای شرایط اقلیمی یکسانی هستند، می‌توان از شاخص‌های خشکسالی یکسانی استفاده کرد (سهیلا جوانمرد/ ۱۳۸۰ / ۹۵). در این مقاله با توجه به اهمیت مباحث خشکسالی در استان خراسان به بررسی شاخص خشکسالی استاندارد شده (SPI) در این استان بزرگ کشور می‌پردازیم.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- نمایه‌ی بارش استاندارد شده

در سال ۱۹۹۳ میلادی محققان دانشگاه ایالت کلرادو نمایه‌ی خشکسالی جدیدی به نام نمایه‌ی استاندارد شده بارش (SPI) را توسعه دادند تا وضعیت عملیاتی پایش منابع تأمین آب در ایالت کلرادو را بهبود بخشند (مک کی و همکاران/ ۱۹۹۳ / ۳۸۴). نیاز به نمایه جدید ناشی از محدودیت‌های موجود در دیگر نمایه‌های مورد استفاده در آن زمان بود. به عنوان مثال، نمایه‌ی متداول شدت خشکسالی پالمر (PDSI) دارای یک مقیاس زمانی محلی است که انعطاف‌پذیری آن را در ارزیابی سریع شرایط متغیر کاهش می‌داد و کاربرد آن را جهت پایش منابع آبی طولانی‌تر که در ایالت کلرادو واجد اهمیت است محدود می‌ساخت (ویل‌هایت/ ۲۵۰ / ۲۰۰۰).

¹ Palmer Drought Severity Index

² Deciles

³ Bahlme and Mooley Drought Index

⁴ Reslamation Drought Index

⁵ Normalized Drought Vegetation Index

⁶ Effective Precipitation Index

نمایه استاندارد شده بارش (SPI) یک ابزار قوی در آنالیز داده‌های بارندگی است. هدف SPI اختصاص ارزش عددی به بارندگی است که بتوان نواحی با آب و هوای کاملاً متفاوت را مقایسه کرد. به عنوان مثال، آنچه که در نواحی حاره‌ای خشکسالی ایجاد می‌کند، ممکن است همان مقدار بارندگی باشد که به عنوان «بارش سنگین» در نواحی بیابانی مورد توجه قرار می‌گیرد. SPI با مقایسه کل بارندگی تجمعی برای ایستگاه یا ناحیه‌ای خاص در یک فاصله زمانی ویژه با میانگین بارندگی برای همان فاصله زمانی در تمام دوره آماری به دست می‌آید. SPI نمایه‌ای را برای مشخص کردن کمیت خشکسالی جاری فراهم می‌آورد. SPI برای کمی کردن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی گوناگون طراحی شده است. مشخصه‌ی اصلی SPI انعطاف‌پذیری در اندازه‌گیری خشکسالی در مقیاس‌های زمانی گوناگون است؛ زیرا که خشکسالی‌ها از لحاظ مدت بسیار گسترده هستند. بنابراین تشخیص و پایش آن‌ها با انواع مقیاس‌های زمانی مهم است. مقیاس زمانی اثرات خشکسالی را بر روی میزان توانایی منابع آب نشان می‌دهد. کمبود بارش در مقیاس زمانی کوتاه مدت به طور عمده بر روی وضعیت رطوبت خاک اثر می‌گذارد؛ در صورتی که کمبود بارش در مقیاس زمانی طولانی مدت اغلب بر آب‌های زیرزمینی، جریان رودخانه و ذخایر و منابع آب تاثیر می‌گذارد (دسکین و همکاران/ ۱۹۹۱/ ۲۲۵). با توجه به این موضوع مک کی و همکاران در سال ۱۹۹۳ میلادی مقیاس‌های زمانی سه، شش، دوازده، بیست و چهار و چهل و هشت ماهه را محاسبه کرده‌اند (مهدی آسیائی/ ۱۳۸۵/ ۵۰). محاسبه‌ی SPI برای هر منطقه معین بر پایه آمار درازمدت بارندگی (دست کم ۳۰ سال) برای یک دوره دلخواه ۳، ۶ ماهه و ... است. این آمار دراز مدت به توزیع گاما برازش یافته، تابع حاصل برای پیدا کردن احتمال تجمعی بارندگی برای یک ایستگاه و برای ماه معین و مقیاس زمانی گوناگون می‌تواند استفاده شود. SPI یک مقدار نرمال شده با میانگین صفر و انحراف معیار یک است. از این رو SPI، مقدار انحرافات استاندارد است که یک حادثه مشخص از شرایط نرمال منحرف می‌شود. مقادیر SPI مثبت نمایانگر بارش بیشتر از مقدار بارش متوسط و مقادیر SPI منفی بیانگر بارش کم‌تر از مقدار متوسط آن است. (ادوارد و همکاران/ ۱۹۹۷/ ۱۷۵). چون SPI نرمال است، اقلیم‌های خشک و مرطوب را می‌توان با یک روش نشان داد و دوره‌های مرطوب نیز با استفاده از SPI می‌تواند پایش شود. SPI بیان می‌کند که ممکن

است یک ناحیه با یک یا چند مقیاس زمانی به‌طور همزمان شرایط ترسالی و در دیگر مقیاس‌های زمانی شرایط خشکسالی را داشته باشد؛ یعنی یک ناحیه ممکن است دچار خشکسالی کشاورزی باشد، اما از لحاظ هیدرولوژی شرایط ترسالی در آن حاکم باشد. (مهدی ۱۳۸۵ / آسیائی / ۵۴). نقص این روش ساده این است که معمولاً بارندگی در دوره‌های ۱۲ ساله و یا کم‌تر دارای توزیع نرمال نیست، اما می‌توان با استفاده از یک تبدیل به توزیع نرمال تبدیل شود.

در حال حاضر کوشش‌هایی به عمل می‌آید تا روند محاسبه SPI استاندارد گردد، به طوری که مقایسه‌های زمانی و مکانی یکسان و مشترکی توسط کاربران این نمایه قابل انجام باشد (ویلیه‌ایت / ۱۲۹ / ۲۰۰۰). چون SPI به تابع توزیع نرمال برازش داده شده است، می‌توان انتظار داشت که تقریباً ۶۸٪ مواقع مقادیر SPI بین انحراف معیار یک، ۹۵٪ مواقع بین انحراف معیار دو و ۹۹٪ مواقع بین انحراف معیار سه باشد.

۲-۲- محاسبه نمایه SPI

تابع توزیع احتمال برای داده‌های بلند مدت با برازش داده‌ها به تابع گاما محاسبه می‌شود. تابع توزیع گاما به صورت زیر تعریف می‌شود:

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

در معادله‌ی 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 بارش درست نمایی حداکثر برای هر ایستگاه و برای مقیاس زمانی انتخابی و برای هر ماه از سال برآورد می‌شود.

بنابراین:

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

$$A = In(x) = \frac{\sum In(x)}{n}$$

که 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 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.

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

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

$$H(x) = q + (1+q)G(x)$$

در معادله فوق (q) احتمال بارندگی صفر است. در صورتی که m تعداد صفرها در سری‌های زمانی بارندگی باشد، تام در سال ۱۹۹۶ q را به صورت m/n تخمین زد. $H(x)$ سپس به متغیر نرمال (z) با تقریب زیر تبدیل می‌شود:

$$Z = SPI = - \left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad 0 < H(x) \leq 0.5$$

$$Z = SPI = + \left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad 0.5 < H(x) < 1$$

که:

برای

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

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

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

$$2.535537 = C_0 \quad 3.432788 = d_1$$

$$0.802853 = C_1 \quad 0.189269 = d_2$$

$$0.030328 = C_2 \quad 0.003308 = d_3$$

بنابراین SPI متغیر Z-score را که نرمال شده است، نشان می‌دهد.

جدول شماره (۱) طبقه‌بندی دوره‌های خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص SPI

طبقه‌بندی شاخص SPI	
۲ و بیشتر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	تقریباً نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
-۲ و کم‌تر	خشکسالی بسیار شدید

برنامه SPI یک فیلتر است که ورودی آن داده‌های بارندگی ماهانه (برحسب صدم اینچ) و خروجی آن بارندگی ماهانه در فرمت بارش استاندارد شده (SPI) است که طریقه‌ی کار با برنامه به صورت زیر است:

طریقه فراخوانی:

SPI[-bc year] [-ec year] length [length ...] [<in] [>out]

-bc year سال شروع دوره‌ی آماری

-ec year سال پایان دوره‌ی آماری

Length مقیاس‌های زمانی

<in فرمت فایل ورودی

<out فرمت فایل خروجی

فرمت فایل ورودی:

Header

Yyyy mm prec

Header حداکثر ۸۰ کاراکتر در خط اول و راجع به اطلاعات ایستگاه است.

Yyyy سال میلادی

Mm شماره ماه میلادی

Prec
بارندگی به صدم اینچ
فرمت فایل خروجی:

Header

Calibration Period= begin year- end year length=

Yyyy mm SPI

اطلاعات ایستگاه	Header
دوره آماری	Calibration Period
سال شروع دوره آماری	begin year
سال پایان دوره آماری	end year
مقیاس زمانی	Length

این برنامه در محیط LINUX قابل اجراست.

۲-۳- مزایا و معایب نمایه SPI

چندین نمایه خشکسالی وجود دارد که مقدار انحراف بارندگی را از فرم‌های تاریخی برای یک دوره زمانی معین اندازه‌گیری می‌کنند. اگرچه هیچ کدام از نمایه‌ها به طور ذاتی نسبت به نمایه‌های دیگر در همه شرایط خوب نیستند، بعضی از آن‌ها نسبت به نمایه‌های دیگر برای شرایط خاص مساعدتر هستند. نمایه‌ی SPI در مقایسه با نمایه‌های دیگر از شرایط مطلوب‌تری برخوردار است. (هیز و همکاران / ۱۹۹۸ / ۱۹۰). بعضی از مزایا و محدودیت‌های SPI به شرح زیر است:

- اولین مزیت SPI سادگی آن است، SPI فقط بر پایه بارندگی است؛ در حالی که محاسبه PDSI پیچیده است و ۶۸ اصطلاح در آن باید تعریف شود.
- دومین مزیت SPI چندکاره بودن آن است. SPI می‌تواند برای هر مقیاس زمانی محاسبه شود که به آن قابلیت پایش شرایط گوناگون را به خصوص برای کاربردهای کشاورزی، هیدرولوژی می‌دهد. SPI همچنین دینامیک خشکسالی‌ها (شامل گسترش مکانی) که به سختی توسط نمایه‌ی دیگر نشان داده می‌شود، پایش می‌کند.

- سومین ویژگی SPI این است که چون توزیع نرمال دارد، تعداد خشکسالی‌های شدید و حاد برای هر مکان و هر مقیاس زمانی با استفاده از این مدل ثابت خواهد بود.
- چهارمین ویژگی SPI این است که چون محاسبه SPI فقط بر پایه داده بارندگی است و به شرایط رطوبت خاک بستگی ندارد، بنابراین می‌توان از آن برای ماه‌های زمستان نیز استفاده کرد و مضافاً این که از توپوگرافی نیز تأثیر نمی‌پذیرد. بالاخره انعطاف‌پذیری SPI نسبت به مقیاس‌های زمانی متفاوت و این که خشکسالی را یک ماه زودتر از PDSI مشخص می‌کند، قابل ذکر است. SPI چندین محدودیت دارد که هنگام استفاده از آن مورد توجه قرار گیرد. از جمله:

- ۱- صحت و اعتبار SPI به اندازه صحت و اعتبار داده‌های مورد استفاده است.
 - ۲- قبل از استفاده از SPI برای یک ایستگاه اطلاعاتی درباره‌ی اقلیم ناحیه مورد نیاز است.
- مقدار SPI برای هر ماه خشک نشان‌دهنده‌ی شدت خشکسالی است (مک کی و همکاران/ ۱۹۹۳/۳۶۰۰) تداوم و مدت خشکسالی برای خشکسالی جاری از زمان شروع و برای خشکسالی گذشته از آغاز تا پایان خشکسالی است. درجه و اهمیت خشکسالی^۱ (DM) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$DM = \left[\sum_{j=1}^x SPI_{ij} \right]$$

مک کی و همکاران در سال ۱۹۹۳ میلادی نمایه‌ای را برای تعریف خشکسالی در هر مقیاس زمانی تعریف کرده‌اند. یک خشکسالی برای مقیاس زمانی n^2 ماهه بدین صورت تعریف می‌شود. دوره‌ای که SPI دائماً منفی باشد، به مقدار ۱- و کم‌تر برسد و زمانی پایان می‌پذیرد که SPI مثبت شود. علت این که مقادیر SPI بازه ۰ تا ۰/۹۹- (خشکسالی ملایم) در شروع خشکسالی محاسبه نمی‌شود، می‌تواند وجود رطوبت از دوره ترسالی گذشته باشد؛ ولی در پایان خشکسالی این مقادیر SPI نشانگر خشکسالی خفیف است،

چون ذخیره رطوبت به پایان رسیده و این مقادیر کمبود رطوبت را بعد از دوره خشکسالی نشان می‌دهد (مک کی و همکاران/ ۱۳۵۰ / ۱۹۹۳).

۲-۴- نمایه SPI برای مقیاس‌های زمانی گوناگون و مقایسه‌ی آن‌ها با یکدیگر

بعضی از پدیده‌ها از آب و هوایی در مقیاس زمانی کوتاه تاثیر می‌پذیرد؛ از قبیل کشاورزی دیم که به دلیل کمبود رطوبت خاک، خشکسالی‌های سه تا شش ماهه می‌توانند اثرات بزرگی را داشته باشند (نصیری محلاتی/ ۱۳۸۰ / ۱۶۰). بعضی دیگر از پدیده‌ها در مقیاس زمانی طولانی معمولاً چندین ماه از آب و هوا تاثیر می‌پذیرند؛ مانند: سطح آب در چاه‌های کم‌عمق، مخزن‌های کوچک و یا رودخانه‌های کوچک که خشک‌تر و یا مرطوب‌تر می‌شوند. بعضی دیگر از پدیده‌ها در مقیاس زمانی طولانی‌تر از رفتار آب و هوا متأثر می‌شوند؛ مانند: بالا و پایین رفتن سطح آب در سدهای بزرگ یا سفره‌های آب زیرزمینی یا مخزن‌های بزرگ آبی و مقیاس زمانی این تغییرات در چندین سال است. نمایه‌ی SPI بدین منظور طراحی شده است تا نشان دهد که شرایط مرطوب در یک یا چند مقیاس زمانی و شرایط خشک در مقیاس‌های زمانی دیگر به طور همزمان امکان وقوع دارند؛ در نتیجه SPI جداگانه برای هر مقیاس زمانی محاسبه می‌شود (جواد بداق جمالی/ ۱۳۸۰ / ۳۶).

- SPI سه ماهه

SPI سه ماهه مقایسه بارندگی دوره سه ماهه خاص را با بارندگی همان دوره سه ماهه را برای همه‌ی سال‌هایی که اطلاعات برای آن‌ها ثبت شده، فراهم می‌آورد. به عبارتی دیگر SPI سه ماهه در پایان فوریه کل بارندگی دسامبر، ژانویه و فوریه سال خاص را با کل بارندگی‌های دسامبر، ژانویه و فوریه کل سال‌های دوره آماری مقایسه می‌کند. SPI سه ماهه شرایط رطوبتی کوتاه مدت را منعکس می‌کند و برآورد فصلی از بارندگی را فراهم می‌آورد. در سری‌های SPI سه ماهه تغییرات بیشتری وجود دارد و نشانگر آن است که نمایه‌ی SPI کوتاه مدت حساسیت بیشتری به تغییرات شرایط رطوبتی دارد و همان‌طور که n طولانی‌تر می‌شود، بارندگی ماه جدید اثر کم‌تری بر کل

بارندگی (هر چند که رابطه بارندگی با مقیاس زمانی خطی است) دارد و نمایه به آهستگی پاسخ می‌دهد و منجر می‌شود که تعداد خشکسالی‌ها کم‌تر و مدت آن‌ها طولانی‌تر شود.

- SPI شش ماهه

بارندگی آن دوره را با همان دوره شش ماهه در یک دوره آماری مقایسه می‌کند. SPI روندهای میان مدت بارندگی را نشان می‌دهد. اطلاعات ناشی از SPI ممکن است با بی‌نظمی‌های سیل و سطوح آب سدها مربوط شود. این مقیاس زمانی مانند SPI سه ماهه جزء مقیاس کوتاه مدت است و تقریباً همانند SPI سه ماهه عمل می‌کند و برای پایش خشکسالی‌های کوتاه مدت استفاده می‌شود.

- SPI دوازده ماهه

مقایسه‌ای از بارندگی دوازده ماه متوالی را با بارندگی همان دوازده ماه در طی سال‌های گذشته که دارای آمار بارندگی است، انجام می‌دهد. SPI در این مقیاس زمانی، الگوهای بارندگی بلند مدت سالانه را منعکس می‌کند.

- SPI برای دوره‌های طولانی‌تر

SPI های طولانی‌تر به سمت صفر تمایل دارند، مگر این‌که روندی ویژه جایگزین شود. SPI ها برای این مقیاس زمانی با سیل‌ها، سطوح آب در سدها و حتی سطوح آب‌های زیرزمینی با مقیاس طولانی‌تر مرتبط می‌شوند. این مقیاس‌های زمانی جمع نتایج دوره‌های کوتاه‌تر را که ممکن است بالاتر و یا پایین‌تر از نرمال قرار بگیرند، نشان می‌دهد. مقایسه SPI سه، شش، دوازده و بیست و چهار ماهه نتایج زیر را نشان می‌دهد:

الف) SPI در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت (سه ماهه): دارای نوسانات زیاد است و در مقیاس زمانی بلند مدت این نوسان‌ها کاهش می‌یابد و می‌تواند چنین تفسیر شود که SPI کوتاه مدت نسبت به شرایط رطوبتی بسیار حساس است و بنابراین با کوچک‌ترین تغییر در بارندگی ماهانه سریعاً SPI پاسخ می‌دهد؛ اگر این تغییرات مثبت باشد SPI به بالای صفر نوسان و چنان‌که تغییرات منفی باشد، SPI به زیر صفر نوسان

می‌کند. این قابلیت SPI را به عنوان ابزاری قوی جهت پایش شرایط رطوبتی و تغییرات کوتاه مدت (خشکسالی کشاورزی) را نشان می‌دهد.

ب) حداکثر شدت خشکسالی‌ها در SPI های کوتاه مدت (سه ماهه) نسبت به SPI های بلند مدت (بیست و چهار ماهه) بیشتر است که این ناشی از اثر عمده بارندگی ماهانه بر کل بارندگی دوره سه ماهه می‌باشد، بنابراین روشن است که SPI به سرعت به کاهش‌های بارندگی حساس باشد.

ج) در مقیاس زمانی کوتاه مدت تعداد خشکسالی‌ها با آستانه‌های پیشنهادی زیاد ولی مدت تداوم این خشکسالی کم است. در مقیاس زمانی طولانی مدت، تعداد خشکسالی‌ها کم ولی مدت تداوم خشکسالی‌ها طولانی‌تر است.

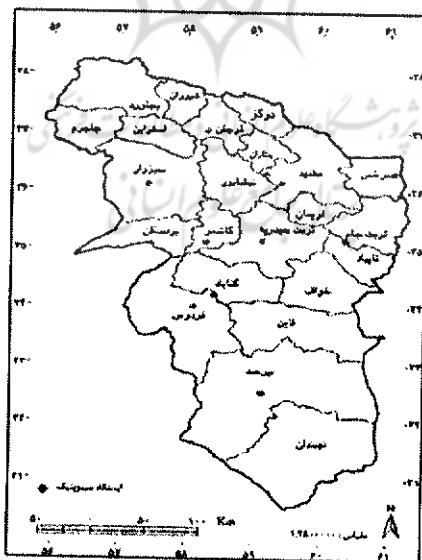
د) خشکسالی‌ها ابتدا در مقیاس زمانی سه ماهه رخ می‌دهد و در صورت تداوم شرایط خشکسالی در مقیاس‌های زمانی بلند مدت نیز اتفاق خواهد افتاد (مهدی آسیائی و همکاران/ ۱۳۸۴/ ۹۵).

۳- بحث و نتیجه گیری

قبل از بررسی وضعیت خشکسالی در استان خراسان بر اساس نمایه‌ی استاندارد شده‌ی بارش (SPI) به بررسی ویژگی‌ها و مختصات ایستگاه‌های منتخب می‌پردازیم؛ چون محاسبه‌ی نمایه SPI به آمار بارندگی درازمدت نیاز دارد و صحت و اعتبار SPI بستگی به اعتبار و درستی داده‌های به کار رفته دارد؛ بنابراین در این مقاله سعی شده است از داده‌های ایستگاه‌هایی استفاده شود که کم‌ترین ویژگی‌های فوق را دارا باشد. (مهدی آسیائی/ ۱۳۸۵/ ۶۵). ویژگی و پراکندگی ایستگاه‌ها در جدول (۲) و شکل (۱) نشان داده شده است.

جدول (۲) مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب

ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع	عرض	طول
۱	بیرجند	۱۴۹۱	۳۲/۵۲	۵۹/۱۲
۲	بجنورد	۱۰۹۱	۳۷/۲۸	۵۷/۱۹
۳	گلمکان	۱۱۷۶	۳۶/۳۲	۵۹/۱۷
۴	فردوس	۱۲۹۳	۳۴/۱۰	۵۸/۹۰
۵	سرخس	۲۳۵	۳۶/۵۲	۶۱/۱۸
۶	قوچان	۱۲۸۷	۳۷/۱۰	۵۸/۳۰
۷	گناباد	۱۰۵۶	۳۴/۲۱	۴۲/۵۸
۸	کاشمر	۱۱۱۰	۳۴/۲۱	۵۸/۲۸
۹	ترت حیدریه	۱۴۵۰	۳۵/۱۶	۵۹/۱۳
۱۰	ترت جام	۹۵۰	۳۵/۱۵	۶۰/۳۵
۱۱	سبزوار	۹۷۷	۳۶/۱۳	۵۷/۴۰
۱۲	مشهد	۹۹۹	۳۶/۱۶	۵۹/۳۸



شکل (۱) محدوده پراکندگی ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان

۱-۳- نتایج شاخص خشکسالی SPI از ماه مارس الی ژوئن ۲۰۰۳ برای

استان خراسان

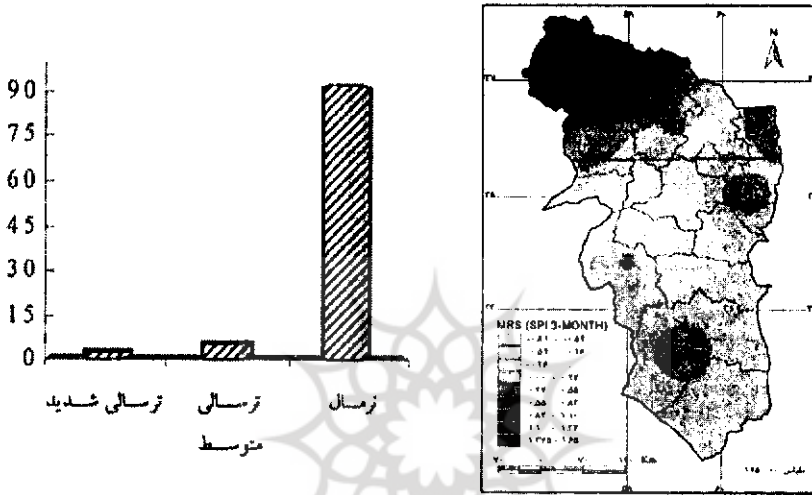
نمایه خشکسالی SPI با استفاده از مقدار بارندگی در یک دوره‌ی زمانی و تغییرات بارندگی نسبت به نرمال، وضعیت خشکسالی یا ترسالی منطقه را با تقسیم‌بندی جدول (۳) نشان می‌دهد. جهت محاسبه نمایه استاندارد شده بارش (SPI) از اطلاعات آماری ۱۲ ایستگاه سینوپتیک استان خراسان استفاده گردیده است (مهدی آسیائی/ ۱۳۸۵/ ۷۸).

جدول (۳) محاسبه نمایه SPI برای سری‌های زمانی ۳ ماهه و ۲۴ ماهه

نام ایستگاه	مارس	آوریل	می	جون	مارس	آوریل	می	جون
بیرجند	-۰/۳۹	-۰/۲۳	-۰/۱۶	-۰/۲۳	۰/۳۷	-۰/۲۲	۰/۱۸	-۰/۴۰
بجنورد	۰/۵۳	۱/۲۴	۱/۵۲	۱/۶۰	۱/۶۵	۲/۰۸	۱/۴۷	۱/۰۰
فردوس	-۰/۹۴	-۰/۶۹	-۰/۷۳	-۰/۸۰	۰/۴۴	-۰/۶۸	-۰/۵۴	-۰/۶۴
قوچان	۰/۲۱	۱/۰۹	۱/۵۱	۱/۵۸	۰/۹۹	۱/۹۶	۱/۹۸	۱/۶۳
گلمکان	-۰/۷۱	۰/۱۰	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۶۰	۰/۹۸	۱/۴۷	۱/۴۹
گناباد	-۱/۸۸	۱/۴۱	-۱/۵۲	-۱/۶۵	-۰/۸۲	-۰/۸۱	-۰/۷۴	-۰/۴۱
کاشمر	-۰/۷۵	-۰/۱۸	-۰/۰۸	-۰/۰۷	-۰/۴۷	-۰/۱۲	۰/۰۳	۰/۶۲
مشهد	-۱/۱۴	-۰/۵۵	-۰/۴۵	-۰/۲۸	-۰/۷۱	-۰/۰۴	۰/۳۴	۰/۶۸
سبزوار	-۰/۹۶	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۴۸	۱/۰۹	۱/۱۱	۱/۲۶
سرخس	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۹۵	۱/۰۰	۰/۴۶	۱/۰۷	۱/۱۴	۰/۹۰
تریت جام	-۰/۵۳	-۰/۳۷	-۰/۱۸	-۰/۲۱	۰/۴۰	۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۱۰
تریت حیدریه	-۰/۷۳	-۰/۳۷	-۰/۴۵	-۰/۳۲	۰/۰۰	۰/۲۴	۰/۴۶	۰/۴۵

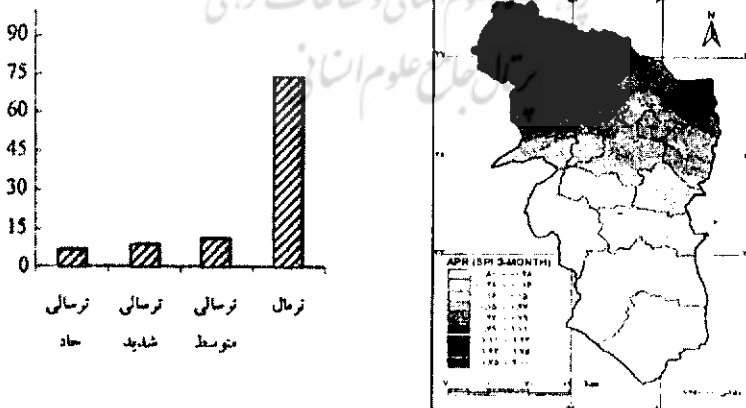
برای پهنه‌بندی استان از سری زمانی کوتاه مدت (سه ماهه) و بلند مدت (بیست و چهار ماهه) استفاده شده است. شکل‌های (۲) الی (۵) پهنه‌بندی استان خراسان با استفاده از سری زمانی سه ماهه را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، به علت ریزش باران‌های مناسب در این فصل در اغلب مناطق وضعیت نرمال بوده، به جزء

در قسمت‌های شمال غرب استان که نمایه SPI وضعیت ترسالی را نشان می‌دهد؛ به طوری که در اواخر فصل ترسالی گسترش یافته و بیشتر شهرهای شمالی استان را فرا گرفته است.



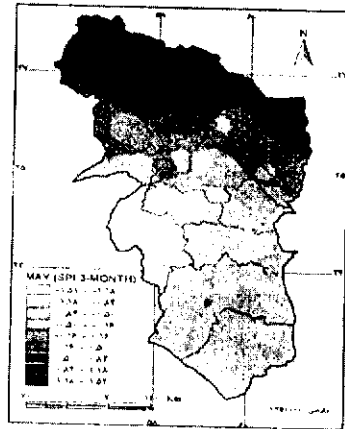
شکل (۱) نمودار (۱) درصد خشکسالی و ترسالی ماه مارس (SPI - ۳ ماهه)

شکل (۲) پهنه بندی استان خراسان با استفاده از (SPI-۳ ماهه، مارس ۲۰۰۴)

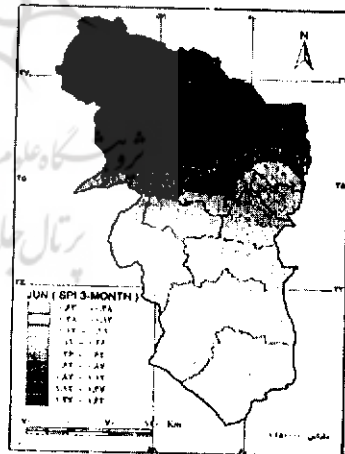


شکل (۲) نمودار (۲) درصد خشکسالی و ترسالی ماه آوریل (SPI - ۳ ماهه)

شکل (۳) پهنه بندی استان خراسان با استفاده از (SPI-۳ ماهه، آوریل ۲۰۰۴)

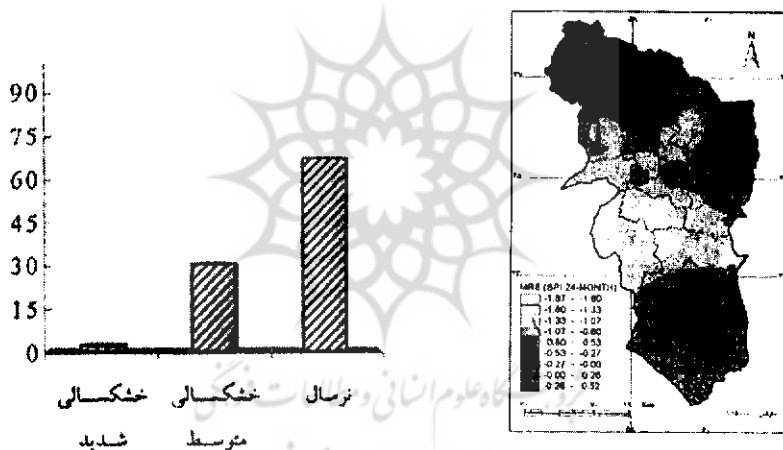


شکل (۴) پهنه‌بندی استان خراسان با استفاده نمودار (۳) درصد خشکسالی و ترسالی ماه می از (SPI - ۳ ماهه، می ۲۰۰۴)



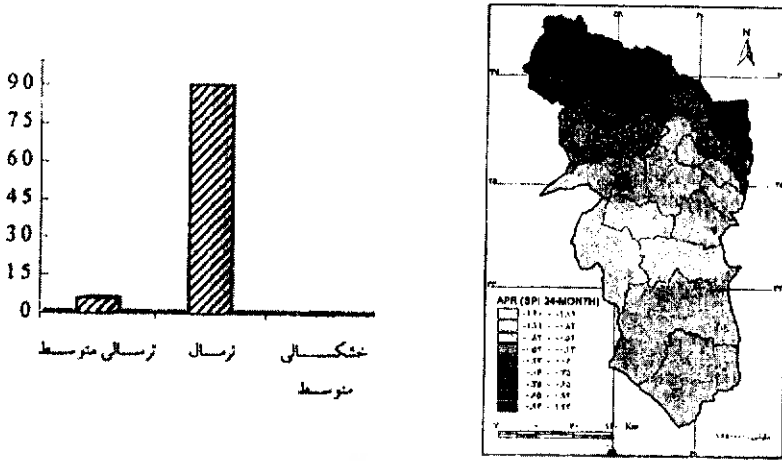
شکل (۵) پهنه‌بندی استان خراسان با استفاده نمودار (۴) درصد خشکسالی و ترسالی ماه جون از (SPI - ۳ ماهه، جون ۲۰۰۴)

در سری زمانی بیست و چهار ماهه در حدود ۳۲/۴ درصد استان که شامل قسمت‌های مرکزی خراسان می‌شود، شاهد خشکسالی هستیم. در ماه‌های بعد به تدریج از شدت خشکسالی به طور چشمگیری کاسته شده به جز در منطقه گناباد و فردوس که با خشکسالی مواجه هستیم، بقیه استان حالت نرمال دارد و حتی در شمال غربی استان شاهد ترسالی هستیم. شکل‌های (۶) تا (۹) پهنه بندی خشکسالی در استان خراسان را بر اساس سری زمانی بیست و چهار ماهه و نمودار (۵) تا (۸) درصد خشکسالی و ترسالی در ماه‌های مارس، آوریل، می و جون در استان خراسان را نشان می‌دهند. (مهدی آسیانی / ۱۳۸۵ / ۷۸)

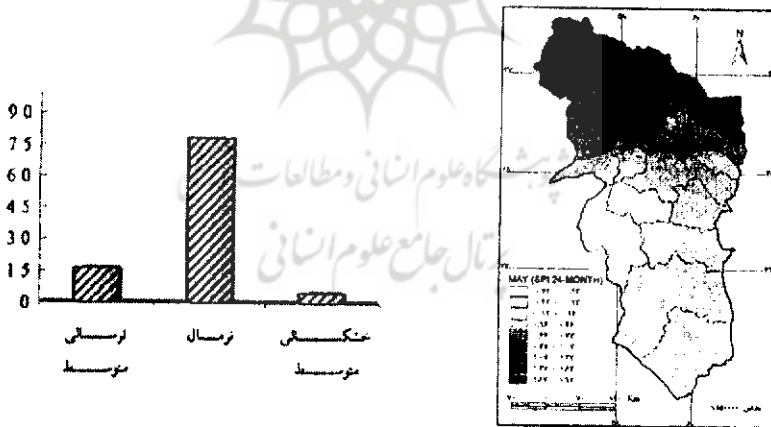


نمودار (۵) درصد خشکسالی و ترسالی ماه مارس (SPI - ۲۴ ماهه)

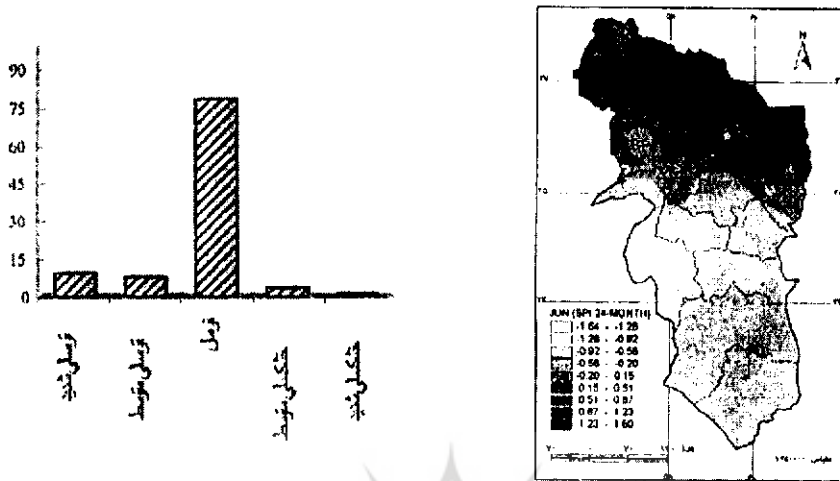
شکل (۶) پهنه بندی استان خراسان با استفاده از (SPI - ۲۴ ماهه، مارس ۲۰۰۴)



شکل (۷) پهنه‌بندی استان خراسان با استفاده نمودار (۶) درصد خشکسالی و ترسالی ماه از (SPI-۲۴ ماهه، آوریل ۲۰۰۴) آوریل (SPI-۲۴ ماهه)



شکل (۸) پهنه‌بندی استان خراسان با استفاده نمودار (۷) درصد خشکسالی و ترسالی ماه می از (SPI-۲۴ ماهه، می ۲۰۰۳)



شکل (۹) پهنه‌بندی استان خراسان با استفاده نمودار (۷) درصد خشکسالی و ترسالی ماه می از (SPI - ۲۴ ماهه، جون ۲۰۰۴) (SPI - ۲۴ ماهه)

جدول‌های (۴) تا (۷) شدت، درصد و مساحت خشکسالی در این استان و نمودارهای (۹) و (۱۰) نمایه‌ی SPI را به ترتیب برای سری زمانی ۳ ماهه و ۲۴ ماهه ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان نشان می‌دهند. (مهدی آسیائی / ۱۳۸۵ / ۸۱).

جدول (۴) شدت، درصد و مساحت خشکسالی در استان خراسان در ماه مارس

سری زمانی	شدت خشکسالی	درصد خشکسالی	مساحت (کیلومتر مربع $\times 10^3$)
۳ ماهه	ترسالی شدید	۲/۲	۵/۳۴۵
	ترسالی متوسط	۵/۵	۱۳/۲۵۱
	ترمال	۹۲/۲	۲۲۰/۲۴۵
۲۴ ماهه	خشکسالی شدید	۲	۴/۸۲۸
	خشکسالی متوسط	۳۰/۴	۷۲/۵۴۱
	ترمال	۶۷/۶	۱۲۳/۶۳۱

جدول (۵) شدت، درصد و مساحت خشکسالی در استان خراسان در ماه آوریل

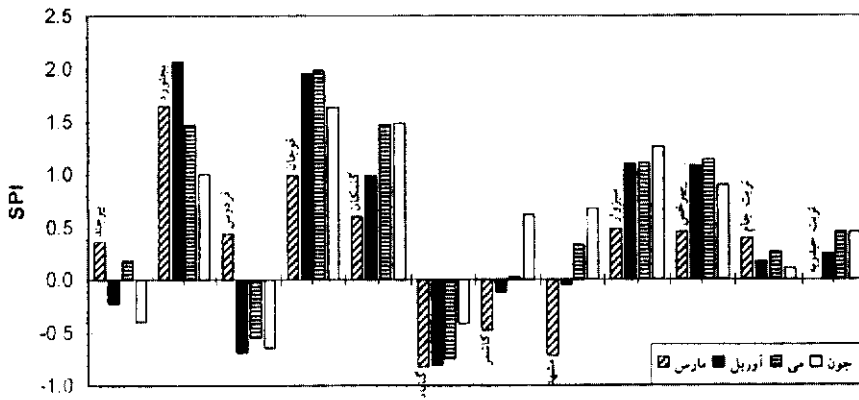
سری زمانی	شدت خشکسالی	درصد خشکسالی	مساحت (کیلومتر مربع $\times 10^3$)
۳ ماهه	ترسالی حاد	۶/۶	۱۵/۸۳۴
	ترسالی شدید	۸/۴	۲۰/۰۹۴
	ترسالی متوسط	۱۱/۲	۲۶/۷۲۷
	نرمال	۷۳/۸	۱۷۶/۲۰۳
۲۴ ماهه	ترسالی متوسط	۵/۴	۱۲/۹۷۴
	نرمال	۹۰/۴	۲۱۵/۹۴۴
	خشکسالی متوسط	۰/۴	۰/۹۴۷

جدول (۶) شدت، درصد و مساحت خشکسالی در استان خراسان در ماه می

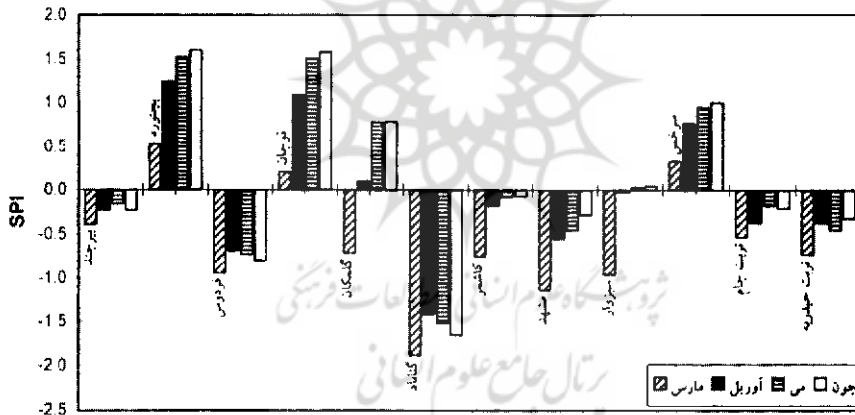
سری زمانی	شدت خشکسالی	درصد خشکسالی	مساحت (کیلومتر مربع $\times 10^3$)
۳ ماهه	ترسالی شدید	۱۴	۲۳/۳۳۳
	ترسالی متوسط	۱۰/۶	۲۵/۴۱۵
	نرمال	۷۵/۴	۱۸۰/۱۱۲
۲۴ ماهه	ترسالی متوسط	۱۶/۲	۳۸/۷۸۰
	نرمال	۷۹/۲	۱۸۹/۰۶۸
	خشکسالی متوسط	۴/۶	۱۰/۹۷۸

جدول (۷) شدت، درصد و مساحت خشکسالی در استان خراسان در ماه جون

سری زمانی	شدت خشکسالی	درصد خشکسالی	مساحت (کیلومتر مربع $\times 10^3$)
۳ ماهه	ترسالی شدید	۳/۷	۸/۹۳۰
	ترسالی متوسط	۲۵/۳	۶۰/۳۵۸
	نرمال	۷۱	۱۶۹/۶۳۲
۲۴ ماهه	ترسالی شدید	۹/۱	۲۱/۷۳۷
	ترسالی متوسط	۷/۷	۱۸/۲۹۳
	نرمال	۷۹	۱۸۸/۷۹۵
	خشکسالی متوسط	۳/۳	۷/۸۶۱
	خشکسالی شدید	۰/۹	۲/۰۴۲



نمودار (۹) سه ماهه SPI ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان (ماه‌های مارس، آوریل، می و جون)



نمودار (۱۰) ۲۴ ماهه SPI ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان (ماه‌های مارس، آوریل، می و جون)

با توجه به این که بلای خشکسالی امری اجتناب ناپذیر است- به خصوص در چند دهه‌ی اخیر که میزان رخداد آن افزایش یافته است یک مدیریت صحیح و ایجاد یک سیستم مدیریت ریسک بلایای طبیعی امری مهم به نظر می‌رسد. اگر بررسی خشکسالی را در یک منطقه- با استفاده از شاخص SPI به عنوان یکی از ابزارهای مدیریت ریسک بلایای طبیعی مورد استفاده قرار داد، این امکان فراهم شود تا با کمک آن به شناسایی مناطقی از استان خراسان را که از پدیده دچار خسارت شده‌اند- شناسایی و از آن برای برآورد خسارت‌ها در بخش‌های مختلف کشاورزی و دامی استفاده کرد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که این شاخص به عنوان یک ابزار مناسب جهت بررسی خشکسالی در استان خراسان به شمار می‌رود. با توجه به نتایج به دست آمده پایین‌ترین مقدار برای SPI در دوره آماری مورد مطالعه مقدار $0/82-$ (سه ماهه) و $1/88-$ (بیست و چهار ماهه) برای ایستگاه گناباد بوده است. همچنین با استفاده از این شاخص خشکسالی می‌توان از دیگر روش‌های پایش خشکسالی جهت ایجاد یک سیستم پیش آگاهی خشکسالی استفاده کرد و می‌توان با استفاده از داده‌های این شاخص و به کمک مدل‌های رقومی و با روش‌های آماری گوناگون دور نمایی مطابق با واقعیت از خشکسالی در قسمت‌های مختلف استان به دست آورد. (مهدی آسیائی / ۱۳۸۴ / ۲۶۰).

منابع و مأخذ

- ۱- آسیائی، مهدی و همکاران «مدیریت ریسک خشکسالی» (شناخت و راه کارها). چاپ اول، انتشارات سخن گستر، ۱۳۸۴.
- ۲- آسیائی، مهدی «بررسی اثرات اقتصادی بلیه خشکسالی در شهرستان‌های استان خراسان سازمان هواشناسی کشور»، «پژوهشکده اقلیم شناسی»، ۱۳۸۴.
- ۳- آسیائی، مهدی، «شاخص‌های خشکسالی». چاپ اول، انتشارات سخن گستر، ۱۳۸۴.
- ۴- آسیائی، مهدی، «فرهنگ اصطلاحات هواشناسی و اقلیم شناسی»، چاپ اول، انتشارات سخن گستر، ۱۳۸۵.
- ۵- بداق جمالی، جواد، «بررسی تغییرات شاخص‌های اقلیمی و کشاورزی با هدف تغییر اقلیم»، گزارش نهایی طرح ملی تونک، سازمان هواشناسی کشور، پژوهشکده اقلیم شناسی، ۱۳۸۰.
- ۶- جوانمرد، سهیلا، «بررسی شاخص‌های خشکسالی و استاندارد نمودن آن برای مناطق مختلف کشور» گزارش نهایی طرح ملی تونک، سازمان هواشناسی کشور، پژوهشکده اقلیم شناسی، ۱۳۸۰.
- ۷- نصیری محلاتی، «بررسی تغییرات بارش (تغییر اقلیم) در تولیدات دیم»، گزارش نهایی طرح ملی تونک، سازمان هواشناسی کشور، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، ۱۳۸۰.
- 8- Wilhite, D.A (2000), [Drought Global Assessment], Volume (I), p, 250.
- 9- Doesken, N.J., McKee, T.B., and Kleist, J. (1991) 'Development of a Surface Water Supply Index for the western United States', Climatology Report Number 91- 3, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins.
- 10- Alley, W.M. (1984) 'The Palmer Drought Severity Index: Limitation and assumptions', Journal of Climate and Applied Meteorology 23: L, 100-9.
- 11- Edwards, D.C. and McKee, T.B. (1997) 'Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales', Climatology Report Number 97-2, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins.
- 12- Hayes, M.J., Svoboda, M.D. Wilhite, D.A. and Vanyarkho, O.V. (1999) 'Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index', Bulletin of the American Meteorological Society 80, 3: 429- 38.
- 13- Hughes, M.K. and Brown, P.M. (1992) 'Drought frequency in central California since 101 B.C. recorded in giant sequoia tree rings', Climate Dynamics 6: 161- 7.
- 14- MA: Yamoah, C., Hayes, M.J., and Svoboda, M.D. (1997) estimate crop yields in Nebraska', Proceedings of the Tenth Conference on Applied Climatology, Boston, MA: American Meteorological Society.

- 15- McKee, T.B., N.J. Doeskien and J. Kleist, (1993), the Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA. pp. 379-384.
- 16- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993) 'The relationship of drought frequency and duration to time scales', Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology, Boston, American Meteorological Society.
- 17- Redmod, K.T. (1991) 'climate monitoring and indices', in D.A. Wilhite, D.A. Wood, and P.A. Key (eds), Drought Management and Planning: Proceedings of the Seminar and Workshop, IDIC Technical Report Series 91-1, Lincoln, NE: International Drought Information Center, University of Nebraska, PP.29-33.
- 18- Redmond, K.T., Svoboda, M., and Stimson, J. (1997) 'Operational use of the Standardized precipitation Index for drought monitoring' Proceedings, Thirteenth Conference on Hydrology, Long Beach, CA, 2-7 February 1997, PP.21-2.
- 20- Wilhite, D.A. and Glantz, M.H. (1987) 'Understanding the drought Phenomenon: The role of Drought: Toward a Reduction of Societal Vulnerability, Boulder, CO: Westview Press, PP.11-27.

مجلات

- ۱- خلیلی، علی و بذرافشان، جواد، «ارزیابی کارایی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی مختلف ایران، مجله علمی و فنی «نیوار»، شماره ۴۸ و ۴۹، ۱۳۸۲.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی