

## ناحیه‌بندی و پایش خشک‌سالی هواشناسی در حوضه آبخیز کرخه با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد و دهک‌های بارندگی

محسن قاسمی<sup>1</sup>، سید سعید اسلامیان<sup>2</sup> و سمیه سلطانی<sup>3</sup>

### چکیده

خشک‌سالی یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی است که در مناطق مختلف کشور ایران اغلب اتفاق می‌افتد. در این تحقیق به منظور پایش خشک‌سالی هواشناسی در حوضه آبخیز کرخه از دو شاخص بارش استاندارد و دهک‌های بارندگی استفاده شد و آمار بارندگی 12 ایستگاه هواشناسی مورد استفاده قرار گرفت. همگنی داده‌های بارندگی از طریق آزمون توالی مورد بررسی قرار گرفت. بعد از آماده‌سازی داده‌ها شاخص بارش استاندارد در مقیاس‌های 9، 12 و 24 ماهه و همچنین دهک‌های سالانه بارش محاسبه گردید. با استفاده از روش کریجینگ ناحیه‌بندی شدت خشک‌سالی و درصد فراوانی خشک‌سالی بر اساس شاخص SPI و دهک ده درصد صورت گرفت. نتایج نشان داد که خشک‌سالی هواشناسی ابتدا در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر شاخص بارش استاندارد اتفاق می‌افتد و در صورت تداوم شرایط نامطلوب بارندگی، در مقیاس‌های زمانی بلندمدت این شاخص، خشک‌سالی هواشناسی نیز اتفاق می‌افتد. شدت و درصد فراوانی خشک‌سالی هواشناسی از غرب به شرق حوضه کاهش می‌یابد. همچنین هر جا درصد فراوانی خشک‌سالی (نسبت دوره‌های خشک‌سالی به کل دوره آماری) افزایش یافت، شدت خشک‌سالی نیز افزایش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: خشک‌سالی، شاخص بارش استاندارد، ناحیه‌بندی، دهک‌ها، بارندگی، کرخه، هیدرومتئورولوژی

1، 2 و 3. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشیار و دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

## مقدمه و بررسی منابع

آب رکن اساسی توسعه پایدار و مایه حیات انسان بوده و همانند بسیاری از نعمت‌های الهی ماهیت دوگانه خیر و شر در آن نهفته است. آب از یک طرف عامل ایجاد سیل و به‌دنبال آن خرابی و خسارات مالی و جانی فراوان می‌شود و از طرف دیگر کمبود آن (خشک‌سالی) موجب تغییر اساسی در اکوسیستم‌ها می‌شود. خشک‌سالی یکی از تدریجی‌ترین و زیانبارترین بلایای طبیعی می‌باشد و به کمبود مستمر و غیر طبیعی رطوبت گفته می‌شود. خشک‌سالی را از چهار دیدگاه هواشناسی، هیدرولوژیک، کشاورزی و اجتماعی و اقتصادی می‌توان بررسی نمود. به‌علت قرار گرفتن ایران در کمربند خشک آب و هوایی جهان، بارش‌های آن از سه ویژگی میزان کم و نوسانات شدید و توزیع مکانی غیر یک‌نواخت برخوردار است. نوسانات پی در پی بارش موجب ایجاد خشک‌سالی‌هایی با شدت و ضعف‌های مختلف در کشور می‌شود که خسارت‌های گسترده‌ای را بر نظام‌های اکولوژیکی و اقتصادی مناطق تحت تاثیر تحمیل می‌کند. مکی و همکاران در سال 1993 (به نقل از شیائو)، معیار‌هایی را برای رخداد یک خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی متفاوت تعریف کرده‌اند، آن‌ها بیان کردند که یک خشک‌سالی زمانی اتفاق می‌افتد که شاخص بارش استاندارد منفی تداوم داشته باشد و هم‌چنین وقوع یک خشک‌سالی زمانی شدید است که شاخص بارش استاندارد 1- یا کم‌تر باشد و در صورتی که SPI مثبت شود رخداد خشک‌سالی به پایان خواهد رسید. بنابراین هر رخداد خشک‌سالی دوره‌ای دارد که توسط شروع و پایانش و هم‌چنین شدت در هر ماهی که رخداد خشک‌سالی در آن تداوم داشته است، تعیین می‌شود (شیائو، 2006).

شاخص بارش استاندارد به‌طور گسترده‌ای توسط پژوهش‌گران مختلف برای به‌کمیت در آوردن خشک‌سالی مورد استفاده قرار گرفته است. بوردی و همکاران (2001)، لوکاس و واسلیلیادس (2004)، بویان (2004)، گیدینگز و همکاران (2005) و هونگ و همکاران (2005) برای پایش خشک‌سالی‌ها در نقاط مختلف دنیا از شاخص بارش استاندارد استفاده کردند و این شاخص

را یک ابزار قوی برای مطالعه خشک‌سالی معرفی کردند. در ایران نیز اسلامیان و همکاران (1385)، درویشی بایگی (1381)، رضانی (1380)، صفدری (1382) و عباسی (1380) از شاخص SPI برای پایش خشک‌سالی استفاده کردند و این شاخص را برای پایش خشک‌سالی در نقاط مختلف ایران شاخص مناسبی تشخیص داده‌اند.

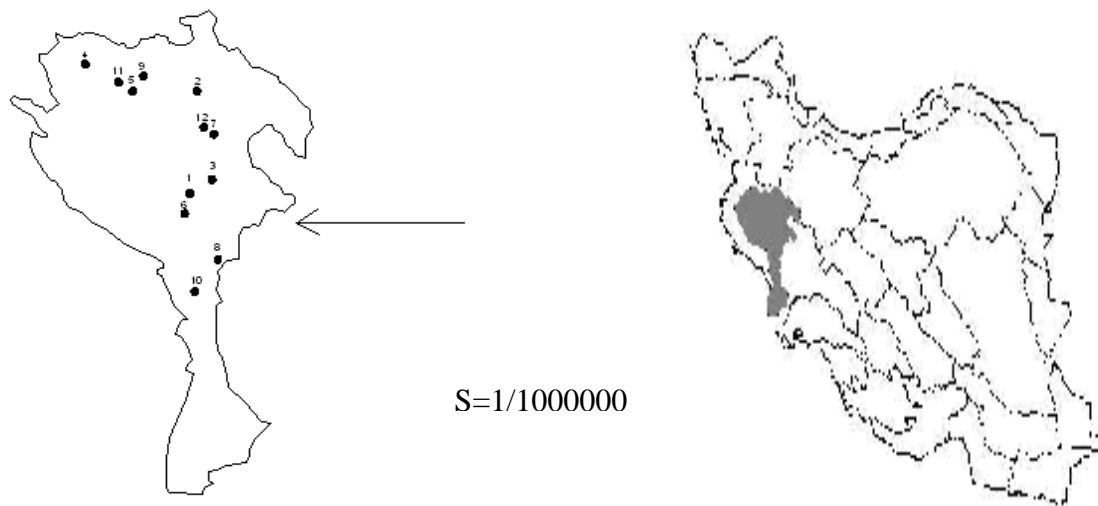
## روش تحقیق

### موقعیت جغرافیایی منطقه

حوضه‌ی آبخیز رودخانه کرخه در غرب کشور ایران، در مناطق میانی و جنوبی کوه‌های زاگرس قرار دارد. این حوضه از نظر تقسیم‌بندی سازمان تحقیقات منابع آب ایران به شماره 21 و به چهار زیر حوضه تقسیم گردیده است. حوضه کرخه از نظر مشخصات جغرافیایی بین 46 درجه و 5 دقیقه الی 49 درجه و 10 دقیقه طول شرقی و 30 درجه و 8 دقیقه الی 34 درجه و 56 دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. مساحت این حوضه در داخل ایران 50768 کیلومتر مربع می‌باشد که حدود 33674 کیلو مترمربع آن را کوهپایه و حدود 17594 کیلومتر مربع آن را دشت‌ها تشکیل داده است. چهار زیر حوضه آبخیز کرخه را کشکان، قره‌سو، گاماسیاب و سیمره تشکیل می‌دهند. میزان بارندگی سالانه در حوضه از 450 میلی‌متر برای قسمت‌های شمالی حوضه تا 150 میلی‌متر برای قسمت‌های جنوبی آن متغیر است. شکل (1) موقعیت این حوضه را در ایران نشان می‌دهد (بیابانکی، 1383).

### داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد نیاز در این تحقیق شامل آمار بارش ماهانه ایستگاه‌های مختلف در سطح حوضه است که از سازمان تحقیقات منابع آب ایران تهیه گردید. از بین ایستگاه‌های موجود در حوضه کرخه 12 ایستگاه که دارای پراکنش نسبتاً مناسب در سطح حوضه هستند، انتخاب گردید (تماب، 1369). مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول (1) آمده است. دوره آماری 36 ساله بین سال‌های آبی 46-1345 تا 81-1380 در این تحقیق برای ایستگاه‌های انتخابی مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل 1: موقعیت حوضه آبریز کرخه و ایستگاه‌های منتخب در این پژوهش

جدول 1: ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در تحقیق

| شماره ایستگاه | ایستگاه      | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی |
|---------------|--------------|---------------|---------------|
| 1             | آران         | 47° 55'       | 34° 24'       |
| 2             | آفرینه       | 47° 54'       | 33° 19'       |
| 3             | چم انجیر     | 48° 15'       | 33° 26'       |
| 4             | دوآب مرک     | 46° 47'       | 34° 33'       |
| 5             | قره باغستان  | 47° 15'       | 34° 14'       |
| 6             | جلوگیر       | 47° 48'       | 32° 58'       |
| 7             | کاکا رضا     | 48° 16'       | 33° 43'       |
| 8             | پای پل       | 48° 09'       | 32° 25'       |
| 9             | پل چهر       | 47° 25'       | 34° 20'       |
| 10            | پل دختر      | 47° 43'       | 32° 09'       |
| 11            | پل کهنه      | 47° 07'       | 34° 21'       |
| 12            | سراب سید علی | 48° 12'       | 33° 47'       |

زمانی 3، 6، 12، 24 و 48 ماهه محاسبه کرد (هیز، 2006).

هدف این شاخص اختصاص یک ارزش عددی به بارندگی می‌باشد تا بتوان نواحی با آب و هوای متفاوت را با یکدیگر مقایسه کرد. SPI کل بارندگی تجمعی برای ایستگاه یا ناحیه‌ای خاص در یک فاصله زمانی ویژه (برای مثال 3 ماه گذشته یا 6 ماه گذشته) را با میانگین بارندگی برای همان فاصله زمانی در تمام دوره آماری مقایسه می‌کند. جدول (2) طبقه‌بندی وضعیت خشک-

#### شاخص بارش استاندارد<sup>2</sup> (SPI)

شاخص بارش استاندارد در سال 1995 توسط مکی و همکاران (به نقل از هایس) ارائه شد. این شاخص بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می‌آید و تنها عامل موثر در محاسبه این شاخص عنصر بارندگی می‌باشد. این شاخص را می‌توان در مقیاس‌های

<sup>1</sup>. Standardized Precipitation Index

از ده درصد توزیع به‌دست می‌آید و هر یک از بخش‌ها یک دهک نامیده می‌شوند. دهک اول معرف مقدار بارشی است که از 10 درصد بارش کم‌تر باشد و دهک دوم نشان دهنده مقدار بارشی است که از 20 درصد بارش کم‌تر باشد (هیز، 2006).

$$SPI = - \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right)$$

$$SPI = + \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right)$$

تنها عامل موثر در محاسبه این شاخص بارش می‌باشد و مقیاس زمانی مورد استفاده در این شاخص نیز مقیاس ماهانه و سالانه است. این روش به‌منظور جلوگیری از نواقص موجود در روش درصد نرمال ارائه شده است. شاخص دهک‌ها به عنوان یک شاخص هواشناسی جهت پایش خشک‌سالی توسط سیستم مراقبت خشک‌سالی استرالیا انتخاب شده است، زیرا این روش دارای محاسبات نسبتاً ساده‌ای است و در مقایسه با روش پالمر به تعداد داده‌های کمتری نیاز دارد. در عوض اشکال این روش آن است که برای محاسبه دهک-ها به آمار اقلیمی بلندمدت نیاز است. در جدول (3) طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی بر اساس این شاخص نشان داده شده است (هیز، 2006).

جدول 2: تعیین درجه خشک‌سالی با استفاده از

#### شاخص SPI

| SPI           | وضعیت خشک‌سالی   |
|---------------|------------------|
| +2 و بیشتر    | فوق العاده مرطوب |
| 1/5 تا 1/99   | خیلی مرطوب       |
| 1 تا 1/49     | مرطوب متوسط      |
| 0/99 تا -0/99 | نزدیک به نرمال   |
| -1 تا -1/49   | خشک ملایم        |
| -1/99 تا -1/5 | خشک شدید         |
| -2 و کمتر     | فوق العاده خشک   |

سالی را به ازاء مقادیر مختلف SPI نشان می‌دهد (آسیایی، 1385). مقادیر شاخص SPI از تقریبی که توسط آبراموویتز و استگون تهیه شده است، به‌دست می‌آید (هوگس، 2002). این تقریب به‌صورت زیر است:

$$0 < H(x) \leq 0.5 \quad (1)$$

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(H(x))^2} \right)} \quad (2)$$

$$0.5 < H(x) <$$

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(1-H(x))^2} \right)} \quad (3)$$

$$0 < H(x) \leq 0.5$$

$$(4)$$

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

در معادلات فوق  $H(x)$  احتمال تجمعی بارش مشاهده شده در مقیاس معین است که از توزیع گاما به‌دست می‌آید. هم‌چنین ثابت‌های معادلات بالا عبارتند از:

$$c_0 = 2.515517, c_1 = 0.802853, c_2 = 0.010328$$

$$d_1 = 3.432788, d_2 = 0.189269, d_3 = 0.001308$$

به‌طور مفهومی SPI میزان انحرافات استاندارد

بالاتر یا پایین‌تر از میانگین را نشان می‌دهد. مکی و همکاران شدت خشک‌سالی بر اساس شاخص SPI را به-صورت زیر تعریف کردند (هوگس، 2002):

$$S = \sum_{i=1}^D SPI_i \quad (5)$$

که در این فرمول  $S$  شدت خشک‌سالی،  $SPI_i$  مقدار شاخص بارش استاندارد در دوره‌هایی که کمتر از یک می‌باشد (دوره‌های خشک‌سالی) و  $D$  تعداد دوره‌های خشک‌سالی می‌باشد.

#### شاخص دهک‌ها<sup>3</sup>

این شاخص در سال 1967 توسط ماهر و گیس ارائه شد. این شاخص اساساً از تقسیم توزیع احتمال وقوع آمار ثبت شده درازمدت بارش بر بخشی از هر یک

جدول 3: درجه بندی شدت شاخص خشک سالی بر اساس روش دهکها

| وضعیت                 | درصد                      | دهک  |
|-----------------------|---------------------------|------|
| بسیار کمتر از نرمال   | پایین ترین 20 درصد        | 1-2  |
| زیر نرمال             | بعد از 20 درصد پایین ترین | 3-4  |
| حدود نرمال            | 20 درصد وسط               | 5-6  |
| بالتر از نرمال        | 20 درصد بالایی بعدی       | 7-8  |
| بسیار بالاتر از نرمال | بالاترین 20 درصد          | 9-10 |

## روش کار

چون خشک سالیها در این پژوهش در مقیاسهای بلند مدت بررسی می شوند، مقیاس سالانه شاخص دهک-های بارندگی محاسبه و بررسی شد. به منظور محاسبه دهکهای سالانه در ایستگاههای مورد نظر، ابتدا آمار بارندگی سالانه در کل دوره آماری برای هر ایستگاه به صورت صعودی مرتب شد. سپس توزیع بارش در هر ایستگاه به ده بخش تقسیم شد. این کار به کمک نرم افزار SPSS صورت گرفت. به منظور ناحیه بندی شاخص دهکهای بارندگی، دهک 10 درصد انتخاب شد. زیرا این دهک شرایط بحرانی بارندگی را نشان می دهد (هیز، 2006).

ناحیه بندی خشک سالی در این پژوهش با استفاده از نرم افزار SURFER8 و روش کریجینگ صورت گرفت. روش کریجینگ امکان به دست آوردن مقدار یک کمیت در نقطه ای با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگر با مختصات معلوم، فراهم می سازد. کریجینگ به عنوان بهترین تخمین زن ناریب خطی شناخته می شود و از مهم ترین ویژگیهای آن می توان به امکان دستیابی به خطای مرتبط با هر تخمین اشاره کرد.

## نتایج و بحث

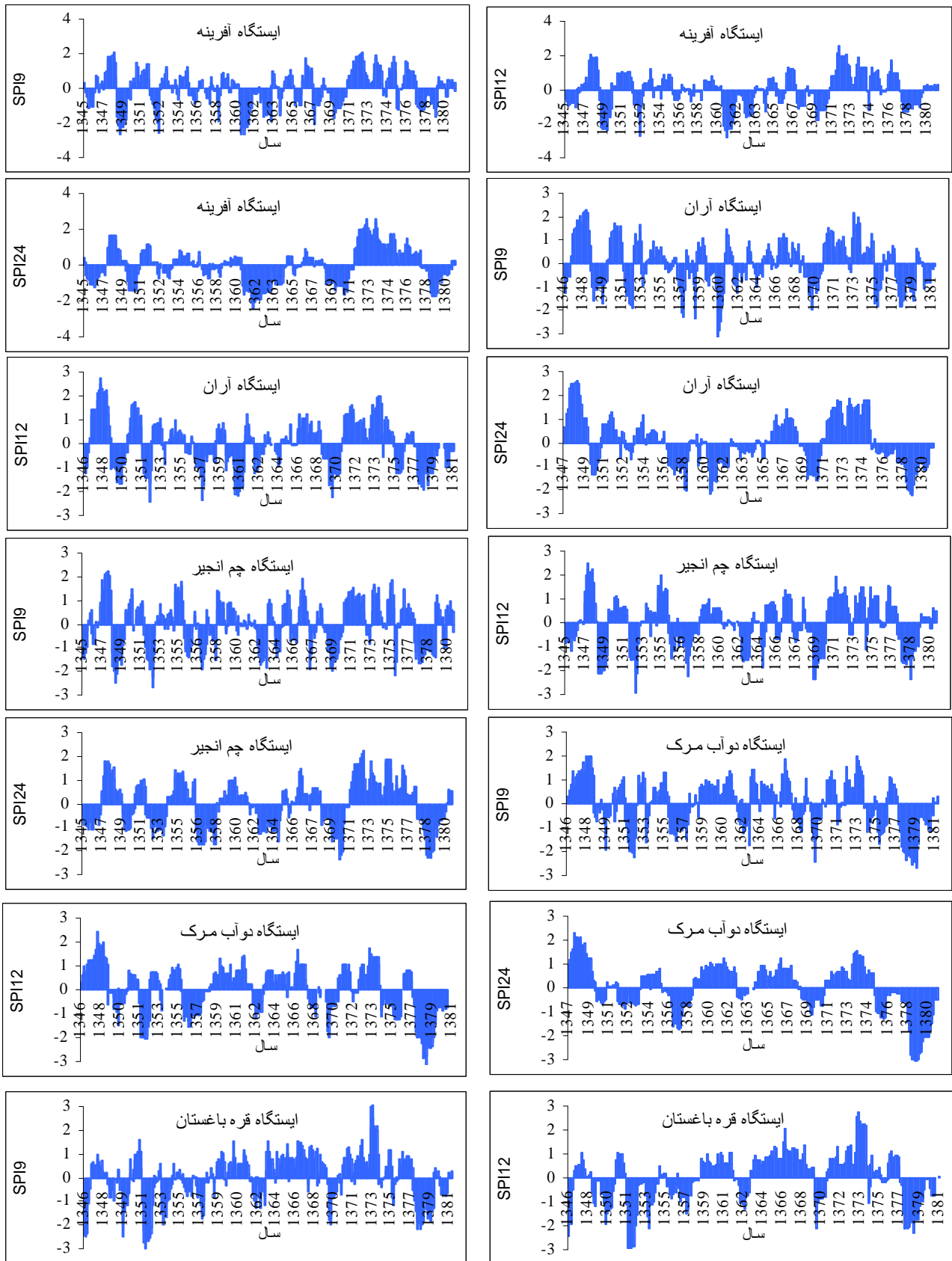
پس از محاسبه شاخص SPI در مقیاسهای 9، 12 و 24 ماهه، نمودارهای تغییرات این شاخص برای ایستگاههای مختلف ترسیم گردید (شکل 2). با استفاده از این نمودارها می توان سالهایی که در آنها خشک سالی اتفاق افتاده است را مشخص نمود. بر اساس شاخصهای SPI و دهکها در بیشتر مناطق حوضه آبخیز کرخه طی سالهای 63-1362، 70-1369، 78-

در این پژوهش به منظور پایش خشک سالی هواشناسی در حوضه آبخیز کرخه از بین شاخصهای خشک سالی، دو شاخص SPI و دهکهای بارندگی استفاده شد. قبل از اقدام به تحلیل دادهها لازم است که از کیفیت دادهها و همچنین کامل بودن سری دادهها اطمینان حاصل نمود. بدون ارزیابی صحیح دادهها، انجام تحلیلهای آماری، نتایج قابل اطمینانی به دست نمی دهد. به منظور بررسی همگنی دادههای بارندگی روش آزمون توالی مورد استفاده قرار گرفت و مشخص شد که دادههای بارندگی در ایستگاههای منتخب همگن می باشند. به منظور محاسبه شاخص SPI در مقیاسهای 9، 12 و 24 ماهه از برنامه SPI استفاده شد (سعادت، 1385). برنامه SPI برنامه ایست که ورودی آن دادههای بارندگی ماهانه و خروجی آن بارندگی ماهانه در قالب بارش استاندارد شده (SPI) می باشد. پس از محاسبه شاخص SPI شدت خشک سالی با استفاده از رابطه (5) برای ایستگاههای منتخب، تعیین شد. به منظور ناحیه بندی خشک سالیها توسط شاخص SPI دو ویژگی شدت خشک سالی و درصد فراوانی نسبی خشک سالی ناحیه بندی شد. منظور از درصد فراوانی نسبی خشک سالی، نسبت دوره ی خشک سالی به کل دوره آماری می باشد. برای محاسبه درصد فراوانی خشک سالی در ایستگاههای مختلف ابتدا با توجه به مقادیر SPI محاسبه شده دورههای خشک سالی مشخص شد و از جمع این دورهها کل دوره خشک سالی در هر ایستگاه محاسبه شد و در نهایت با تقسیم دوره خشک سالی بر کل دوره آماری درصد فراوانی خشک سالی برای هر ایستگاه در سه مقیاس 9، 12 و 24 ماهه به دست آمد.

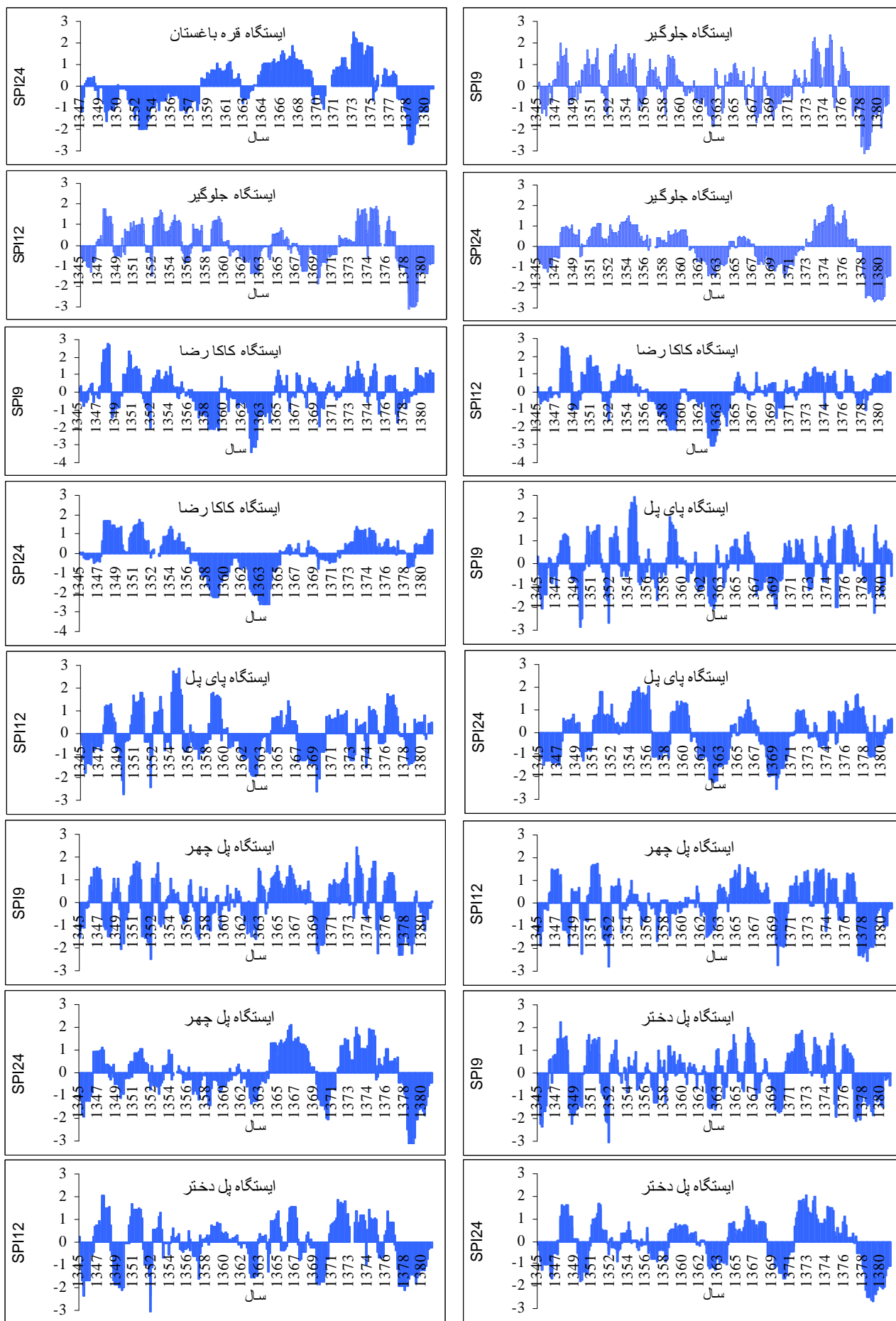
ناحیه‌بندی و پایش خشک‌سالی هواشناسی در حوضه‌ی آبخیز کرخه با استفاده از ...

که در بیشتر مناطق استان اصفهان خشک‌سالی شدید اتفاق افتاده است، مشخص نمود.

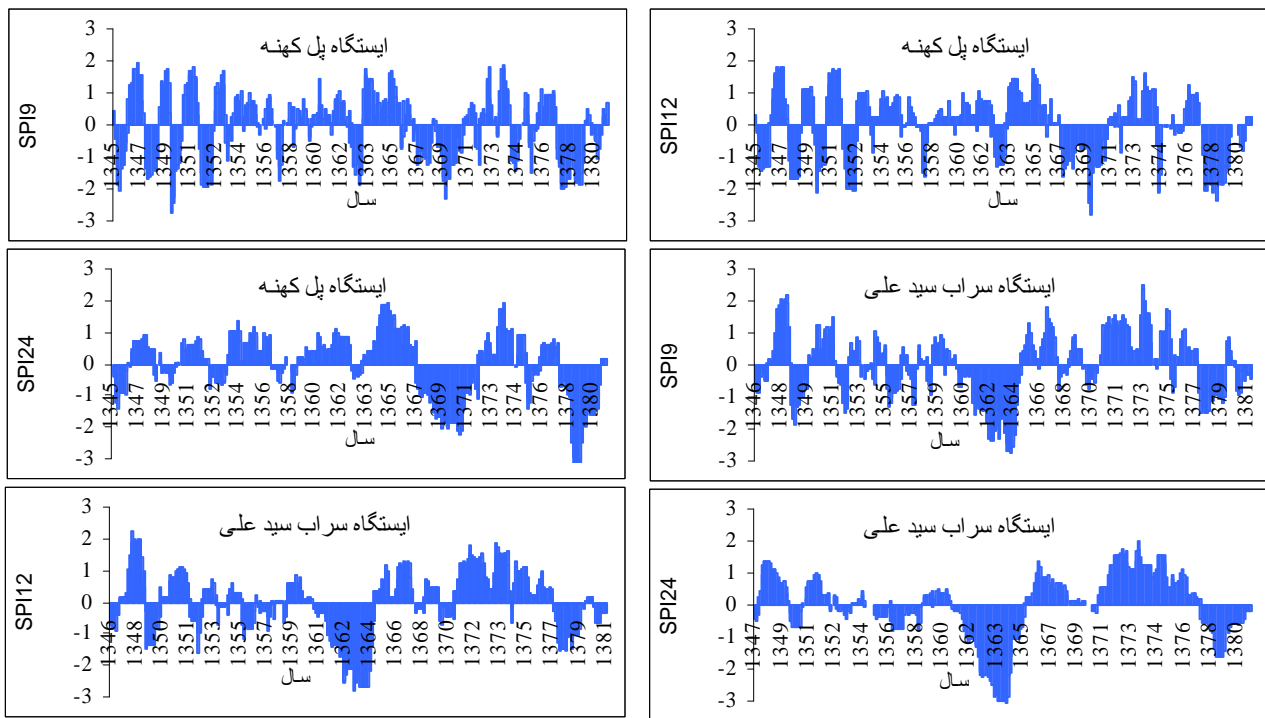
1377 و 1378-79 خشک‌سالی هواشناسی اتفاق افتاده است. سعادت‌ی (1385) نیز با استفاده از شاخص SPI سال‌های 1377-78 و 1378-79 را به‌عنوان سال‌هایی



شکل 2: نمودارهای تغییرات شاخص SPI در مقیاس‌های 9، 12 و 24 ماهه در ایستگاه‌های منتخب



ادامه شکل 2: نمودارهای تغییرات شاخص SPI در مقیاس‌های 9، 12 و 24 ماهه در ایستگاه‌های منتخب



ادامه شکل 2: نمودارهای تغییرات شاخص SPI در مقیاس‌های 9، 12 و 24 ماهه در ایستگاه‌های منتخب

نتایج نشان داد که بیشترین شدت خشک‌سالی در مقیاس 9 و 12 ماهه در جنوب حوضه اتفاق افتاده است و کم‌ترین شدت خشک‌سالی در قسمت شمال شرقی حوضه اتفاق افتاده است. هم‌چنین تغییرات شدت خشک‌سالی در قسمت مرکز حوضه بیشتر از بقیه نقاط است و شدت خشک‌سالی از غرب به شرق حوضه کاهش می‌یابد. هم‌چنین بیشترین فراوانی خشک‌سالی در قسمت جنوب و شمال غربی حوضه اتفاق افتاده است و کمترین فراوانی خشک‌سالی در قسمت شمال شرقی حوضه اتفاق افتاده است. هم‌چنین از سمت غرب به شرق حوضه از فراوانی خشک‌سالی‌ها کاسته می‌شود. مقایسه نقشه‌های ناحیه‌بندی شدت خشک‌سالی و درصد فراوانی نسبی خشک‌سالی بر اساس شاخص SPI در مقیاس 9 و 12 ماهه نشان می‌دهد که این دو ویژگی در سطح حوضه تغییرات یکسانی را داشته‌اند و در سطح حوضه هر جا فراوانی خشک‌سالی افزایش یافته باشد، شدت خشک‌سالی نیز افزایش یافته است. بیشترین شدت خشک‌سالی در مقیاس 24 ماهه در جنوب شرقی حوضه و کم‌ترین شدت خشک‌سالی در قسمت شمال حوضه اتفاق افتاده است. شدت خشک‌سالی بر اساس SPI 24

بر اساس نمودارهای تغییرات SPI، مقایسه آن برای دوره‌های 9، 12 و 24 ماهه نتایج زیر را نشان می‌دهد:

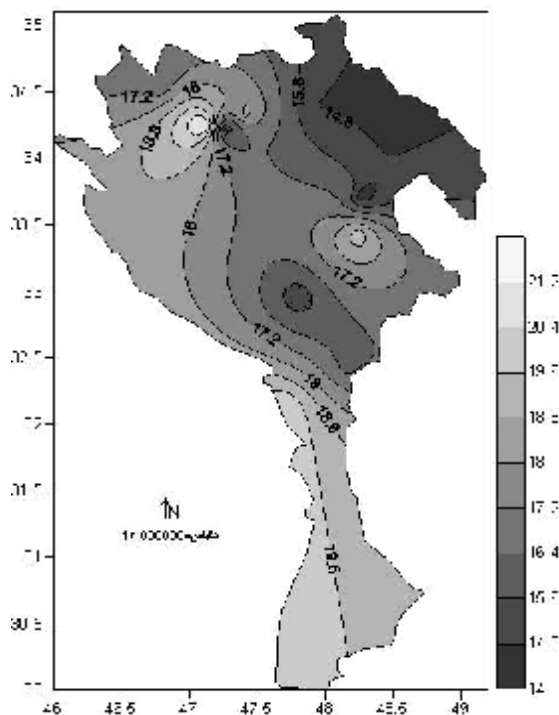
1- شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت دارای نوسانات بیشتری نسبت به مقیاس‌های بلندمدت می‌باشد و می‌توان چنین تفسیر نمود که SPI کوتاه مدت نسبت به شرایط رطوبتی حساس‌تر است. 2- در مقیاس زمانی 9 ماهه تعداد خشک‌سالی‌ها با آستانه‌های پیشنهادی زیاد ولی مدت تداوم این خشک‌سالی‌ها کم است. هر چه مقیاس زمانی افزایش یابد، تعداد خشک‌سالی‌ها کم و مدت تداوم خشک‌سالی‌ها طولانی‌تر است. 3- خشک‌سالی‌ها ابتدا در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر اتفاق می‌افتد و در صورت تداوم شرایط خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی بلندمدت نیز اتفاق می‌افتد. آسیایی (1385) نیز به نتایج مشابه نتایج فوق در کاربرد شاخص SPI در استان خراسان رضوی دست یافت.

نقشه‌های حاصل از ناحیه‌بندی خشک‌سالی بر اساس شاخص SPI در شکل‌های 3 تا 8 نشان داده شده است.

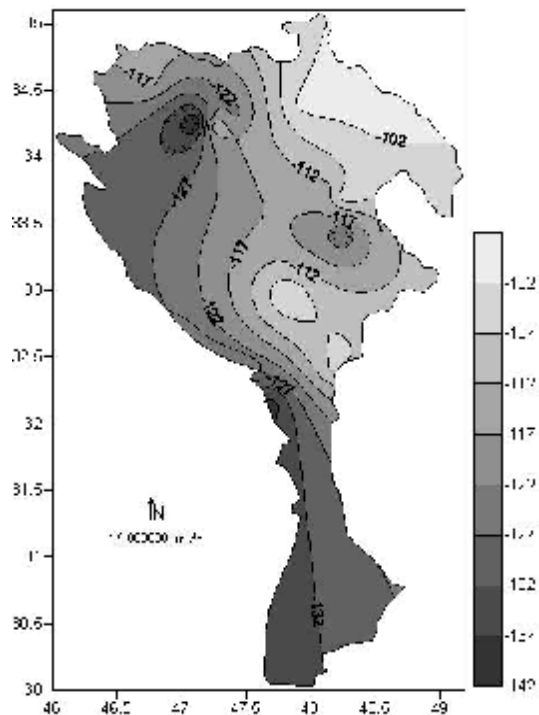


شمال غربی حوضه بیشتر و در قسمت شمال شرقی حوضه کم تر می باشد.

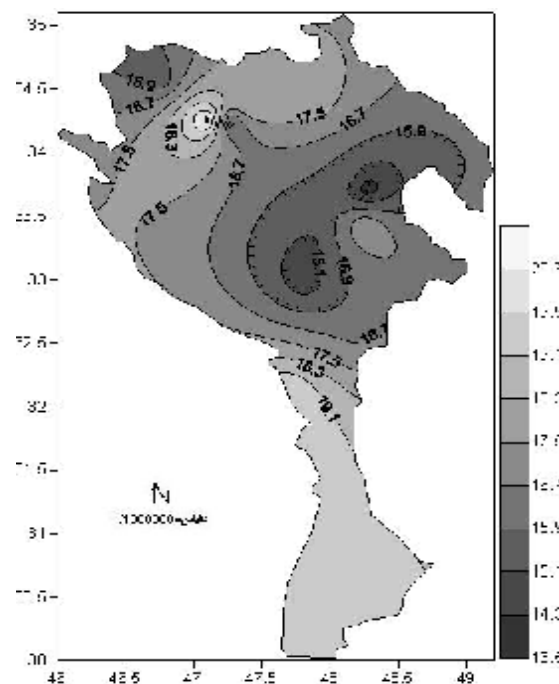
ماهه از سمت شرق به غرب حوضه کاهش یافته است. همچنین فراوانی خشک سالی ها در قسمت جنوب و



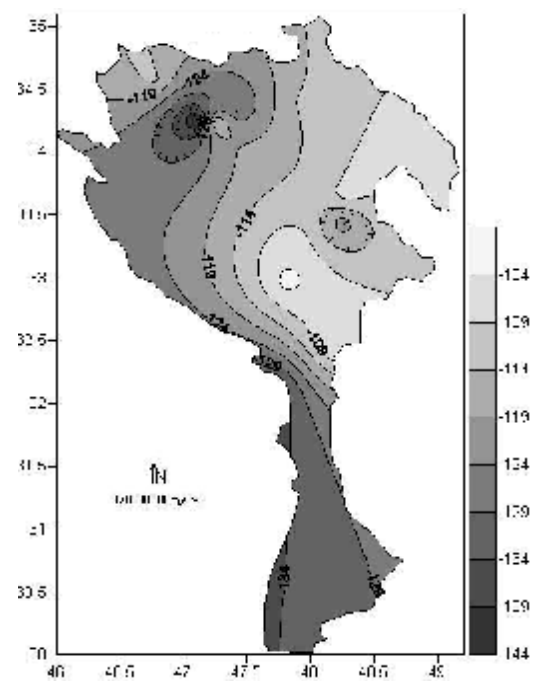
شکل 4: ناحیه بندی درصد فراوانی خشک سالی (SPI) (ماه 9)



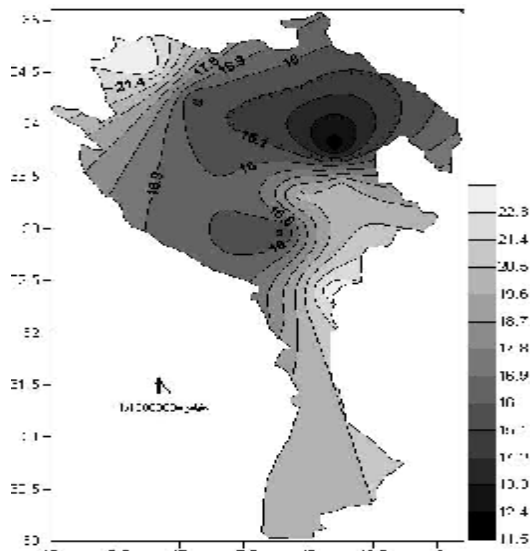
شکل 3: ناحیه بندی شدت خشک سالی (SPI 9 ماهه)



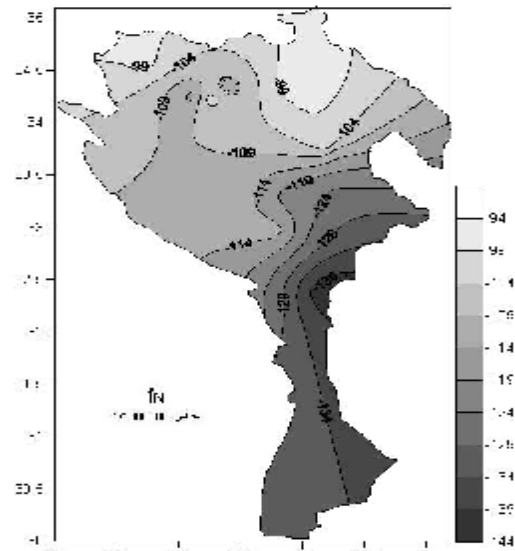
شکل 6: ناحیه بندی درصد فراوانی خشک سالی (SPI 12 ماهه)



شکل 5: ناحیه بندی شدت خشک سالی (SPI 12 ماهه)



شکل 8: ناحیه‌بندی درصد فراوانی خشک‌سالی  
(24 ماهه SPI)



شکل 7: ناحیه‌بندی شدت خشک‌سالی  
(24 ماهه SPI)

شکل (9) ناحیه‌بندی دهک 10 درصد را در سطح حوضه آبخیز کرخه نشان می‌دهد. بر اساس این شکل قسمت‌های شرقی حوضه شرایط بهتری دارند و در قسمت جنوب حوضه دهک 10 درصد کمتر از بقیه نقاط است. این نقشه همچنین نشان می‌دهد که قسمت‌های شمالی حوضه شرایط بهتری را از نظر بارندگی نسبت به قسمت‌های جنوبی آن دارند.

جدول 4 دهک‌های بارندگی را در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. پس از محاسبه دهک‌های سالانه آمار بارندگی سالانه به تفکیک هر سال برای هر ایستگاه در یکی از طبقه‌های دهگانه قرار داده شد. نتایج نشان داد که بر اساس شاخص دهک‌ها در بیشتر مناطق حوضه آبخیز کرخه طی سال‌های 63-1362، 70-1369، 78-1377 و 79-1378 خشک‌سالی هواشناسی اتفاق افتاده است.

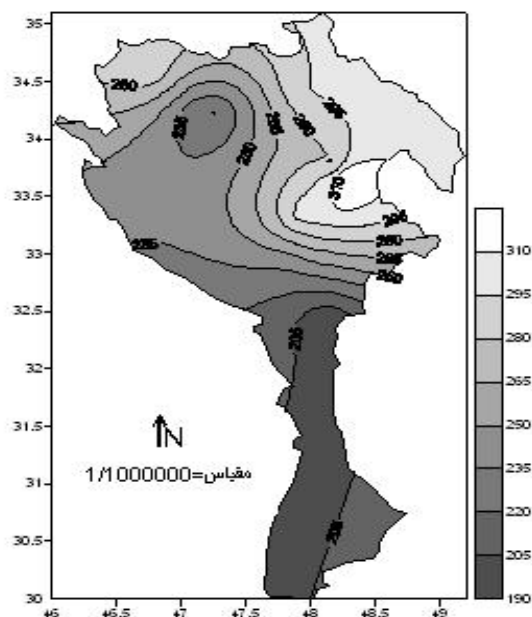
جدول 4: دهک‌های سالانه در ایستگاه‌های منتخب در منطقه مورد مطالعه بر حسب میلی‌متر

|       |       |        |       |       |       |       |       |       | دهک          |
|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| %90   | %80   | %70    | %60   | %50   | %40   | %30   | %20   | %10   | ایستگاه      |
| 693/9 | 623/8 | 550/4  | 516/4 | 502   | 462/4 | 396/7 | 345/8 | 298/9 | آفرینه       |
| 635/3 | 549   | 499    | 461   | 436/2 | 389/8 | 377/8 | 320/8 | 293/1 | آران         |
| 635/8 | 590/1 | 556/5  | 528/4 | 484   | 452/2 | 419/6 | 358/6 | 314/4 | چم انجیر     |
| 641/1 | 587/2 | 567/5  | 553/5 | 471/5 | 454/7 | 386/7 | 351/8 | 289/5 | دو آب مرک    |
| 491/6 | 471/4 | 450/4  | 440/4 | 395   | 375   | 358   | 300/7 | 219   | قره باغستان  |
| 701/6 | 596/1 | 542/27 | 471/2 | 429/7 | 381/9 | 314/9 | 291/7 | 242/7 | جلوگیر       |
| 695/8 | 653   | 592/1  | 534/2 | 501   | 465/2 | 419/2 | 387/8 | 320   | کاکا رضا     |
| 437/1 | 376/1 | 336/2  | 321/1 | 270/6 | 258/3 | 236   | 212/2 | 190   | پای پل       |
| 554/3 | 506/1 | 467/9  | 436/6 | 387/9 | 372/2 | 375/5 | 320/1 | 239/4 | پل چهر       |
| 639/6 | 544   | 503/4  | 435/8 | 402/2 | 372/8 | 350/2 | 271/4 | 212/7 | پل دختر      |
| 514/2 | 472/7 | 435/7  | 401/2 | 394   | 374/3 | 354/2 | 258/7 | 223/4 | پل کهنه      |
| 774/8 | 665/5 | 576/5  | 536/6 | 519/2 | 461/9 | 430/6 | 356/6 | 279/3 | سراب سید علی |

غرب به شرق حوضه کاهش یافته است و شدت و فراوانی خشکسالی هواشناسی در سطح حوضه با یکدیگر رابطه مستقیمی داشته‌اند و با افزایش فراوانی خشکسالی، شدت آن نیز افزایش یافته است.

بر اساس نتایج این تحقیق شاخص SPI علاوه بر مزیت‌هایی که دارد، محدودیت‌هایی دارد. مقیاس‌های کوتاه‌مدت شاخص SPI (3 و 6 ماهه) برای پایش خشکسالی هواشناسی مناسب نیستند زیرا این مقیاس‌ها نوسانات جزئی بارش را نیز به عنوان خشکسالی نشان می‌دهند. در مقیاس‌های بلندمدت (24 و 48 ماهه) نیز شاخص SPI برای پایش خشکسالی هواشناسی مناسب نیست، زیرا مقادیر شاخص SPI در این مقیاس‌ها به صفر نزدیک می‌شود.

بر اساس نتایج حاصل شاخص دهک‌های بارندگی نیز دارای محدودیت‌هایی است. یکی از این محدودیت‌ها مقیاس زمانی این شاخص است که مانند شاخص SPI در مقیاس‌های 3، 6، 9 و ... ماهه قابل محاسبه نیست. همچنین محدودیت دیگر شاخص دهک این است که در مقیاس سالانه به وسیله این شاخص زمان دقیق خشکسالی تعیین نمی‌شود بدین مفهوم که دهک‌های سالانه، سال‌های اتفاق خشکسالی را تعیین می‌کنند ولی اینکه در چه زمان‌هایی از این سال‌ها خشکسالی اتفاق افتاده، مشخص نیست. نتایج محاسبه دهک‌ها نشان داد که بر اساس شاخص دهک‌ها در بیشتر مناطق حوضه آبخیز کرخه طی سال‌های 1362-63، 1369-70، 78-1377 و 1378-79 خشکسالی هواشناسی اتفاق افتاده است. نقشه ناحیه بندی دهک‌ها همچنین نشان داد که قسمت‌های شمالی حوضه شرایط بهتری را از نظر بارندگی نسبت به قسمت‌های جنوبی آن دارند.



شکل 9: ناحیه‌بندی دهک 10 درصد

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق خشکسالی‌ها در حوضه آبخیز کرخه در دوره آماری بین سال‌های 46-1345 تا 81-1380 مورد بررسی قرار گرفت. دو شاخص SPI و دهک‌ها به منظور تعیین دوره‌های خشکسالی هواشناسی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که خشکسالی هواشناسی با شدت‌های مختلف بر اساس شاخص‌های SPI و دهک‌های بارندگی در سطح حوضه اتفاق افتاده است و کل حوضه خشکسالی هواشناسی را تجربه کرده است. بر اساس نتایج به دست آمده در سال‌هایی که از نظر شاخص SPI خشکسالی هواشناسی شدید اتفاق افتاده است، مقادیر بارندگی بیشتر در دهک‌های اول، دوم و سوم قرار داشته است. این مطلب بیانگر این نکته است که دو شاخص SPI و دهک‌ها در تعیین وضعیت خشکسالی، نتایج تقریباً مشابهی نشان می‌دهند. به طور کلی شدت و فراوانی خشکسالی هواشناسی از سمت

## منابع

- آسیایی، م.، 1385. شاخص‌های خشک‌سالی، انتشارات سخن‌گستر، 174 صفحه.
- اسلامیان، س.، مدرس، ر. و سلطانی، س. 1385. گروه‌بندی مکانی خشک‌سالی با استفاده از شاخص استاندارد بارش در استان اصفهان، مجله آب و فاضلاب، 57: 72-75.
- بیابانکی، م. 1383. تحلیل جریان کم با استفاده از روش هیبرید در حوضه آبریز کرخه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. 121 صفحه.
- درویشی بایگی، ن. 1381. پایش خشک‌سالی با استفاده از نمایه‌های خشک‌سالی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تبریز.
- رضائی، ن. ا. 1380. تحلیل و پیش‌بینی خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌های استان مازندران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- سازمان تحقیقات منابع آب (تماب). 1369. مجموعه گزارشات طرح جامع آب کشور. انتشارات وزارت نیرو. 24 صفحه.
- سعادت، س. 1385. تحلیل فراوانی و پهنه‌بندی خشک‌سالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد در استان اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان. 133 صفحه.
- صفدری، ع. ا. 1382. تحلیل کمی شدت، تداوم، فراوانی و گستره خشک‌سالی‌ها به کمک داده‌های بارندگی (مطالعه موردی: حوضه آبریز کارون)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- عباسی، ل. 1380. بررسی و ارزیابی شاخص‌های شدت خشک‌سالی استان خوزستان در سال آبی 80-1379، مجموعه مقالات اولین کنفرانس بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، زابل، جلد سوم، ص 155-168.
- Bhuiyan, C. 2004. Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli terrain of India. *Proceedings of the 2nd ISPRS Conference, Istanbul*.
- Bordi, S., Frigio, S., Parenti, P., Speranza, A. and Sutera, A. 2001. The analysis of the standardized precipitation index in Mediterranean area. *Annali Di Geofisica*, 44(5-6): 965-977.
- Giddings, L., Soto, M., Rutherford, B. M. and Maarouf, A. 2005. Standardized precipitation index zones for Mexico. *Atmosfera*, PP: 33-56.
- Hayes, M. J. 2006. Drought Indices. Available online at: <http://www.drought.unl.edu/whatis/indices.htm>.
- Hughes, B. L. and Saunders, M. A. 2002. A drought climatology for Europe. *Int. J. Climatol*, 22: 1571-1592.
- Hung, W. U, Hayes, M. J., Wilhite, D. A. and Svoboda, M. D. 2005. The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. *Int. J. Climatol*, 25: 505-520.
- Lukas, A and Vasiliades, L. 2004. Probabilistic analysis of drought spatio-temporal characteristics in Thessaly region, Greece. *National Hazard and Earth System Sciences*, 4: 719-731.
- Shiau, J. T. 2006. Fitting drought duration and severity with two-dimensional copulas. *Water Resources Management*, 20: 795-815.

## Monitoring and Regionalization of Meteorological Drought in Karkhe Watershed Using Standardized Precipitation Index and Precipitation Deciles

Ghasemi<sup>1</sup>, M., Eslamian<sup>2</sup>, S. S. and Soltani<sup>3</sup>, S.

### Abstract

Drought is one of the most important natural hazards which usually happens in different regions of Iran. This study was conducted in order to determine meteorological droughts in Karkhe watershed according to precipitation data for 12 meteorological stations using SPI and Deciles indices. The data homogeneity was examined by run test performance. Then all the required data were prepared for 9, 12 and 24-month SPI's and annual deciles were computed. Drought intensity and percent of drought frequency were regionalized using Kriging method for both SPI and decile of 10 percent. The results showed that at first droughts happen in short time scales of SPI and if drought conditions continue, they will happen in longer time scales. Meteorological drought intensity and percent of drought frequency decrease from west to east of Karkhe watershed. Also, if the drought frequency percent (the ratio of drought periods to total record periods) increases, the drought intensity will increase.

**Keywords:** Drought, SPI, Regionalization, Deciles, Precipitation, Karkhe, Hydrometeorology

---

1. Postgraduate student, Department of Water, Isfahan University of Technology.

2. Associate Prof, Department of Water, Isfahan University of Technology.

3. Phd Student, Department of Water, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

