

## مقایسه شاخص‌های خشک‌سالی اقلیمی در ایستگاه‌های بارشی ایران

### علی و خشوری

دانشجوی دکتری گروه جغرافیا (گرایش اقلیم‌شناسی)، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

### مرحوم زین العابدین جعفرپور\*

استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

### پرویز کردوانی

استاد گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۸

### چکیده

خشک‌سالی‌ها از جمله مهم‌ترین بلایای طبیعی هستند که علی‌رغم تلفات انسانی کم، از خسارت‌های اقتصادی و تبعات اجتماعی فراوانی برخوردار هستند. خشک‌سالی‌ها به سه شکل اقلیمی، هیدرولوژی و کشاورزی دیده می‌شوند؛ که نوع اول آن در وقوع و خاتمه انواع دیگر از تقدم و اولویت برخوردار است. پژوهش حاضر خشک‌سالی اقلیمی را مد نظر قرار داده و تأثیر بارندگی را بر شاخص‌های این نوع از خشک‌سالی ارزیابی کرده است. بدین نحو که ابتدا آمار بارندگی تمامی ایستگاه‌ها مورد توجه واقع شد و از بین تمامی ایستگاه‌های موجود، ۳۶ ایستگاه که دارای آمار هواشناسی کامل‌تر و معتبرتری نسبت به بقیه ایستگاه‌ها بودند، انتخاب شدند. سپس از بین شاخص‌های خشک‌سالی اقلیمی شش شاخص SPI، RAI، SIAP، PNPI، DI، Z را برگزیده و خشک‌سالی هر کدام از ایستگاه‌های انتخابی به وسیله این شاخص‌ها تعیین گردید. در نهایت رابطه تغییرات بارندگی با نتایج هر یک از شاخص‌ها به وسیله سه روش مورد سنجش قرار گرفت. روش اول تأثیرات مستقیم بارندگی بر شاخص‌ها، روش دوم سنجش شاخص‌های خشک‌سالی با روش TOPSIS و روش سوم پهنه‌بندی ضرایب همبستگی شاخص‌ها با بارندگی در سطح ایران. در پایان مشخص گردید شاخص DI بیشترین رابطه را با بارندگی داشته و در تمامی پهنه ایران این رابطه با ضریب همبستگی بالا و به یکسان مشاهده می‌گردد.

واژگان کلیدی: خشک‌سالی اقلیمی - شاخص‌های خشک‌سالی اقلیمی: RAI, SIAP, PNPI, DI, Z و SPI - روش TOPSIS - ضریب همبستگی اسپیرمن - پهنه‌بندی.

### مقدمه

خشک‌سالی یکی از مخاطرات طبیعی و بلایی خطرناک است که در نتیجه کمبود بارشی کمتر از حد نرمال یا مورد انتظار پدید می‌آید. خشک‌سالی، پدیده‌ای طبیعی است و در تمامی دوره‌ها اتفاق افتاده است؛ ولی آثار آن در سال‌های اخیر که رشد جمعیت و میزان مصرف آب افزایش داشته، مشهودتر بوده است. خشک‌سالی به سه شکل: اقلیمی، هیدرولوژیک و

کشاورزی دیده می‌شود که نوع اول آن در وقوع و خاتمه انواع دیگر از تقدم و اولویت برخوردار است که در این پژوهش خشک‌سالی اقلیمی مورد نظر است. خشک‌سالی در تمام مناطق آب و هوایی اتفاق می‌افتد، به عبارتی خشک‌سالی ویژگی موقت تمام آب و هواها می‌باشد از این رو در هر جایی از کره زمین می‌تواند روی دهد.

تعاریف مختلفی توسط صاحب‌نظران برای خشک‌سالی با دیدگاه‌های متفاوت ارائه شده است؛ از جمله: به نظر پالمر خشک‌سالی عبارت است از کمبود رطوبت مستمر و غیر طبیعی (فرج زاده، موحد دانش و قائمی ۱۳۷۴، ۳۳). کاهش میزان بارندگی و افزایش دما، هر یک به تنهایی و یا به کمک هم. (میلر<sup>۱</sup> ۱۹۹۱، ۳۷۱) خشک‌سالی دارای دو مفهوم اقلیمی و هیدرولوژیک است. خشک‌سالی اقلیمی، سال یا دوره‌ای است که مقدار بارندگی آن کمتر از مقدار نرمال می‌باشد؛ همچنین خشک‌سالی هیدرولوژیک، سال یا دوره‌ای است که طی آن روان آب به‌طور قابل ملاحظه‌ای پایین‌تر از مقدار متوسط باشد (حجازی زاده ۱۳۸۹، ۱۷). خشک‌سالی عبارت است از کمتر باریدن از متوسط بارش سالانه و توزیع ناموزون بارندگی در منطقه (کردوانی ۱۳۸۰، ۴). با توجه به تعاریف متفاوت از مفهوم خشک‌سالی مادامی‌که اختلاف نظر در یک تعریف استاندارد وجود دارد می‌توان از مفهوم کمبود رطوبت مبتنی بر کاهش میزان بارش استفاده کرد (خوش‌اخلاق ۱۳۷۷، ۱۲).

متوسط بارندگی ایران بنا به نظرهای گوناگون حدود ۲۲۴ میلی‌متر (موحد دانش ۱۳۷۳، ۲۲۶) و ۲۵۰ میلی‌متر (علیزاده ۱۳۸۹، ۳۳) می‌باشد. با توجه به ارقام میانگین سالانه بارش‌های کشور، حجم آب قابل استحصال ۴۱۳ میلیارد متر مکعب (علیزاده ۱۳۸۹، ۳۳) و ۴۰۰ میلیارد متر مکعب (موحد دانش ۱۳۷۳، ۲۲۶) تخمین زده می‌شود؛ بنابراین منابع آبی کشور بسیار محدود است. با توجه به وضعیت طبیعی حاکم برای بروز این رخداد در کشور؛ لزوم شناخت، پیشگیری و راه‌های مقابله با آن اهمیت و اولویت خاص پیدا می‌کند و برخورد عاجل را در این رابطه می‌طلبد. در این راستا، به‌منظور تعیین شدت خشک‌سالی بایستی این پدیده از حالت کیفی و توصیفی به‌صورت کمی و عددی درآمده و شاخص‌هایی برای آن تعریف و ارائه شود. (پیرمردیان ۱۳۸۷، ۶۳) با توجه به توضیحاتی که می‌توان اذعان کرد که معضل خشک‌سالی در شرایط آب و هوایی ایران کاملاً محرز بوده و اهمیت مطالعه آن پیش‌نیاز همه طرح‌ها و پروژه‌های عمرانی است که در مورد منابع آبی می‌باشد (خوش‌اخلاق ۱۳۷۷، ۳).

ثبت و بررسی وقایع جوی به‌ویژه خشک‌سالی از دیرباز تاکنون وجود داشته ولی نگرش علمی و سیستماتیک به موضوع‌های مختلف آب و هواشناسی بعد از قرون وسطی رشد شدیدی کرد. به‌ویژه در اوایل قرن بیستم زمانی که به‌تدریج با پیشرفت علم آب و هواشناسی این موضوع بیشتر مورد توجه قرار گرفت (فرج زاده ۱۳۸۴، ۵). پالمر<sup>۲</sup> ۱۹۴۶ پژوهشگر آمریکایی را می‌توان جزء اولین پژوهشگرانی دانست که به‌طور علمی با استفاده از روش‌های آماری به بررسی ویژگی‌های مختلف این پدیده در آمریکا پرداخته است. وی با انتشار گزارشی تحت عنوان خشک‌سالی هواشناسی<sup>۳</sup> روش

<sup>۱</sup> - Miller

<sup>۲</sup> - Palmer

<sup>۳</sup> - Meteorological Drought

خود را ارائه کرد (فرج زاده ۱۳۸۴، ۶)، در تعیین دوره‌های خشک استرالیا، گیبس و ماهر<sup>۱</sup> با استفاده از شاخص دهک و مرتب کردن داده‌های بارندگی ماهانه گام‌های مهمی را برداشته‌اند. (گیبس و ماهر ۱۹۶۷، ۱۲۹)، در بررسی شدت خشک‌سالی‌ها در جنوب صحرا، لمب<sup>۲</sup> با استفاده از شاخص انحراف استاندارد، نتیجه گرفت که در دهه ۱۹۴۰، خشک‌سالی‌ها از شدت بیشتری برخوردار بوده‌اند و تا ۱۹۷۴ دوام داشته‌اند (لمب ۱۹۸۲، ۴۷)، در بررسی سال‌های خشک و تر در اسکاتلند، اسمیت<sup>۳</sup>، دهه ۱۹۳۰ را به‌عنوان خشک‌ترین دهه و دهه ۱۹۹۰ را مرطوب‌ترین دهه معرفی کرده است (اسمیت ۱۹۹۴، ۵۵۶)، در بررسی تغییرات بارندگی سالانه ترکیه، به‌صورت سال‌های تر و خشک، ترکش<sup>۴</sup> نتیجه گرفت ترسالی‌ها عموماً در سال‌های ۱۹۳۵ تا ۱۹۴۵، ۱۹۶۰ و اواخر دهه ۱۹۷۰ اتفاق افتاده است و خشک‌سالی‌ها در دهه ۱۹۳۰ و اواخر دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۸۰ و اوایل دهه ۱۹۹۰ به وجود آمده‌اند. (ترکش ۱۹۹۵، ۱۰۵۷)، در بررسی رابطه بین تغییرات دما و بارش با گردش اتمسفری در نروژ، باور<sup>۵</sup> و همکارانش عامل افزایش فراوانی زمستان‌های مرطوب را، با تغییرات فشار سطح آب‌های آزاد و تعاملات جوی - اقیانوسی مرتبط می‌داند. (باور ۲۰۰۰، ۱۷۰۸).

در ایران نیز در سال‌های اخیر تلاش‌های به‌صورت تدوین کتاب، پایان‌نامه و مقاله در خصوص بررسی آماری یا فیزیکی وقایع جوی و خشک‌سالی‌ها انجام گرفته که در این خصوص می‌توان به خشک‌سالی و راه‌های مقابله با آن در ایران (کردوانی، ۱۳۸۰)، خشک‌سالی از مفهوم تا راهکار (فرج زاده، ۱۳۸۴) و مقدمه‌ای بر خشک‌سالی و شاخص‌های آن (حجازی زاده، ۱۳۸۹) اشاره نمود. همچنین پایان‌نامه‌های؛ بررسی آماری خشک‌سالی‌های ایران (فرج زاده، ۱۳۷۴)، ناهنجاری‌های اقلیمی ایران و پدیده انسو (مدرس پور، ۱۳۷۳)، تأثیر پرفشار جنب حاره در تغییر اقلیم ایران (حجازی زاده، ۱۳۷۲)، توزیع بلوکینگ و تأثیر آن بر روی بارش‌های دوره‌ای ایران (عزیزی، ۱۳۷۵) که دو رساله اخیر به‌ویژه مورد آخری در خصوص پراکنش و محل ترجیحی سیستم‌های پرفشار مانع و تأثیر آن روی میزان بارش‌های ایران از اهمیت زیادی در بررسی سینوپتیکی دوره‌های مرطوب و خشک برخوردار است؛ و همچنین پژوهش در خشک‌سالی‌های فراگیر ایران با استفاده از تحلیل‌های سینوپتیکی (خوش‌اخلاق، ۱۳۷۷) که علت خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌ها را الگوهای فشار می‌داند، می‌توان اشاره کرد.

در زمینه مقالات غیور و مسعودیان به بررسی گستردگی و فراوانی خشک‌سالی‌های ایران پرداخته‌اند (غیور و مسعودیان ۱۳۷۶، ۳۹)، همچنین غیور و خسروی اثر پدیده انسو بر ناهنجاری‌های بارش تابستانی و پاییزی جنوب شرق ایران را بررسی کردند (غیور و خسروی ۱۳۸۰، ۱۷۴)، ناظم السادات به بررسی تأثیر دمای سطح آب خلیج فارس بر بارندگی‌های جنوب ایران پرداخت (ناظم السادات ۱۳۷۷، ۴۴)، کمالی و خزانه‌داری اقدام به تحلیل خشک‌سالی اخیر مشهد با به‌کارگیری برخی از شاخص‌های خشک‌سالی کردند (کمالی و خزانه‌داری ۱۳۸۱، ۹۲).

1 - Gibbs and Maher

2 - Lamb

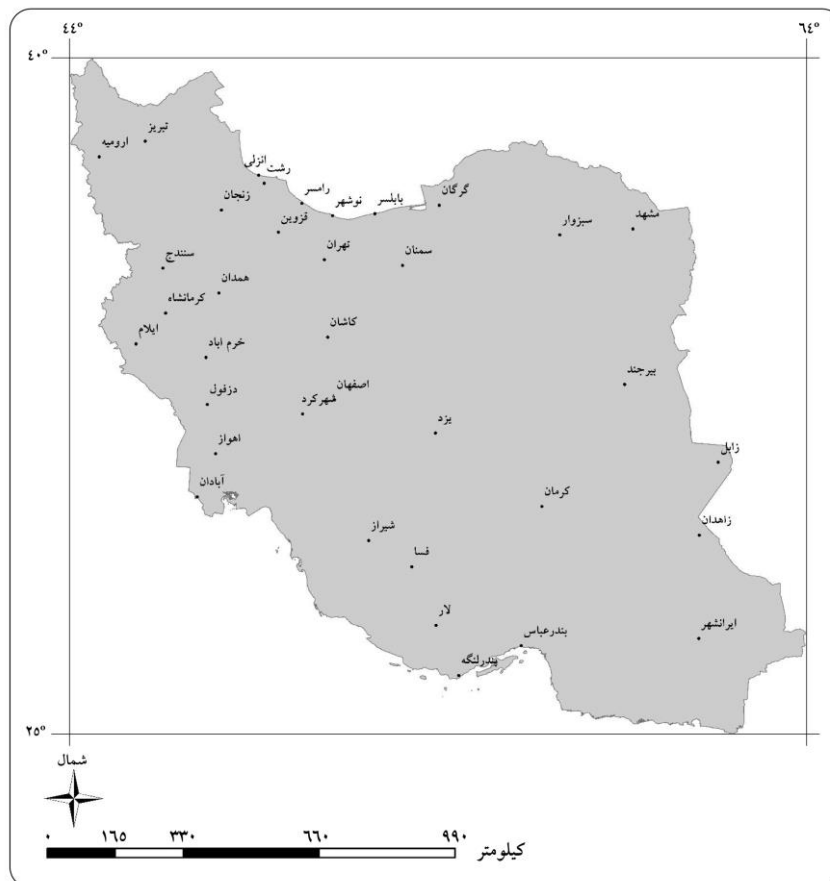
3 - Smith

4 - Turkes

5 - Bauer

### موقعیت جغرافیایی

با توجه به موضوع پژوهش تمام کشور در محدوده مورد مطالعه انتخاب گردید، لذا در بیان موقعیت جغرافیایی ایران باید اذعان کرد که این کشور در عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی قرار گرفته و حدود ۱/۵ درجه از مدار رأس‌السرطان فاصله دارد؛ از نظر طول جغرافیایی نیز در بین نصف‌النهارات ۴۴ تا ۶۴ درجه شرقی قرار گرفته است. طبق قضیه حد مرکزی بسیاری از نویسندگان معتقدند که صرف‌نظر از توزیع جامعه آماری حداقل یک نمونه ۳۰ تایی لازم است تا بتوان گفت توزیع آماره  $\chi^2$  نرمال است. (آذر، ۱۳۸۱، ۲:۲۵) در این پژوهش ابتدا تقریباً تمامی ایستگاه‌های ایران مد نظر قرار گرفت اما متأسفانه با توجه به نقص‌های غیر قابل‌ترمیم آمار بارندگی اکثر ایستگاه‌ها از جمله کوتاه بودن دوره آماری و پیوسته نبودن آن‌ها از کل ایستگاه‌های موجود در ایران، ۳۶ ایستگاه با توجه به تداوم و اعتبار داده‌های بارش انتخاب شده‌اند. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های انتخاب شده را نشان می‌دهد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

داده‌ها و روش‌ها

دوره زمانی مورد بررسی از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ به مدت ۳۰ سال است که آمار بارش سالانه و ماهانه ایستگاه‌های انتخابی برداشت شده است. همچنین آمار دمای سالانه، رطوبت نسبی سالانه و تعداد روزهای بارندگی در یک سال نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

بنا به این که پژوهشگری بتواند از نتایج به دست آمده از یک نمونه، به نتایجی درباره جامعه آماری برسد، باید نمونه او یک نمونه کاملاً تصادفی باشد. از این رو آمارهای بارشی ایستگاه‌های انتخابی قبل از تجزیه و تحلیل توسط آزمون Run test توسط نرم افزار SPSS مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به نتایج این آزمون می‌توان با اطمینان تصادفی بودن داده‌ها را تأیید نمود؛ سپس بررسی و تجزیه و تحلیل آماری بر روی آمار بارندگی ایستگاه‌های منتخب صورت گرفت. بدین صورت که مقادیر بارندگی تمامی ایستگاه‌های انتخابی با شاخص‌های خشک‌سالی اقلیمی که عبارت‌اند از: RAI, SIAP, PNPI, Z, DI و SPI تحلیل و ارزشیابی شدند؛ همچنین برای دقت و اطمینان بیشتر روش TOPSIS نیز برای تک‌تک ایستگاه‌ها به کار گرفته شد.

یکی از عوامل مهم و اساسی در مطالعات خشک‌سالی در هر منطقه، شاخص‌هایی است که به توان بر اساس آن‌ها میزان شدت، تداوم خشک‌سالی و ... را در یک منطقه ارزیابی کرد.

شاخص خشک‌سالی امکان توصیف و بیان خشک‌سالی به صورت کمی را فراهم می‌کند. شاخص خشک‌سالی تابعی از عوامل مختلف محیطی است که بر پدیده خشک‌سالی اثر می‌گذارند. در نهایت حاصل فرآیند، تابع یک متغیر است که ارزیابی خشک‌سالی‌ها و تصمیم‌گیری‌های آینده، به مراتب مفیدتر از ردیف‌های متعدد داده‌های مرتبط با خشک‌سالی است (هایس و اسوبودا ۱۹۹۹، ۱۶).

## شاخص‌های خشک‌سالی اقلیمی

### - شاخص Z

نمره‌های استاندارد، وضعیت نمره‌ها نسبت به میانگین را تعیین می‌کنند. نمره استاندارد، در حقیقت نمره انحراف استاندارد است. اگر نمره‌های انحراف از میانگین ( $x_i - \bar{x}$ ) را بر انحراف استاندارد مجموعه نمره‌ها (S) تقسیم کنیم، نمره‌های استاندارد به دست می‌آید. برای تبدیل نمرات خام به نمرات Z از فرمول زیر استفاده می‌شود.

$$Z = \frac{x_i - \bar{x}}{SD}$$

که در آن:

$x_i$ : نمرات خام  $\bar{x}$ : میانگین نمرات SD: انحراف معیار استاندارد نمرات؛

برای به کارگیری شاخص Z در مطالعات خشک‌سالی از داده‌های سالانه، فصلی و یا ماهانه بارش ابتدا میانگین و انحراف معیار استاندارد گرفته و سپس نمره Z را به دست می‌آوریم. در جدول ۱ طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی و ترسالی را نشان می‌دهد.

جدول ۱: تعیین درجات شدت خشک‌سالی و ترسالی بر اساس شاخص Z

نمره Z	دوره خشک و مرطوب
$+1/5 < Z$	مرطوب شدید
$+0/5 \leq Z \leq +1/5$	مرطوب متوسط
$-0/5 < Z < +0/5$	تقریباً نرمال
$-1/5 \leq Z \leq -0/5$	خشکی متوسط
$Z < -1/5$	خشکی شدید

مأخذ: حجازی زاده ۱۳۸۹

## - شاخص دهک DI

این شاخص به وسیله گیبس و ماهر در سال ۱۹۶۷ ارائه شده است. دهک‌ها مقادیری از مشاهدات هستند که دامنه تغییرات را به فاصله‌های دهکی مورد نیاز تقسیم می‌کنند؛ به طوری که فراوانی‌ها در هر یک از این فواصل، درصد معینی از فراوانی کل را تشکیل می‌دهند؛ بنابراین اگر دامنه تغییرات را به ده قسمت مساوی تقسیم کنیم به دهک‌ها خواهیم رسید (آذر ۱۳۸۲، ۱۰۴:۱)؛ به عبارت دیگر در شاخص دهک‌ها، توزیع بارش به وقوع پیوسته در یک دوره طولانی به ده بخش تقسیم می‌شود، هر یک از این بخش‌ها یک دهک نامیده می‌شود. دهک اول، معرف بارشی است که از ۱۰ درصد بارش کمتر و دهک دوم نشان‌دهنده مقدار بارشی است که از ۲۰ درصد بارش کمتر است (حجازی زاده ۱۳۸۹، ۱۵۸). این روش مشخص می‌کند که بارش یک ماه یا سال معین در چه بازه‌ای از دهک‌های متوالی سری بارندگی ماهانه یا سالانه قرار گرفته است.

تعیین دامنه دهکی با استفاده از رابطه زیر

$$D_i = i \times \frac{n+1}{10}$$

 $D_i$ : دهک  $i$ ام : شماره دهک  $n$ : تعداد داده‌های بارندگی.

جدول ۲ طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی را بر اساس شاخص دهک‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۲: طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی بر اساس شاخص دهک‌ها

شماره دهک	مفهوم اقلیمی	مقدار درصد وقوع
اول	خشک‌سالی بسیار شدید	کمتر از ۱۰ درصد
دوم	خشک‌سالی شدید	۱۰ تا ۲۰ درصد
سوم	خشک‌سالی	۲۰ تا ۳۰ درصد
چهارم	تقریباً نرمال	۳۰ تا ۴۰ درصد
پنجم	نرمال	۴۰ تا ۵۰ درصد
ششم	نرمال	۵۰ تا ۶۰ درصد
هفتم	کمی مرطوب	۶۰ تا ۷۰ درصد
هشتم	مرطوب	۷۰ تا ۸۰ درصد
نهم	بسیار مرطوب	۸۰ تا ۹۰ درصد
دهم	فوق‌العاده مرطوب	بیشتر از ۹۰ درصد

مأخذ: حجازی زاده ۱۳۸۹

### شاخص درصد بارش نرمال PNPI

این شاخص، یکی از ساده‌ترین روش‌های ارزیابی شدت خشک‌سالی است که برای بیان اولیه این پدیده مفید می‌باشد. شاخص PNPI از تقسیم مقدار واقعی بارش بر بارش نرمال و ضرب آن در عدد ۱۰۰ به دست می‌آید.

$$PNPI = \frac{P_i}{\bar{P}} \times 100$$

که در آن  $P_i$ ، مجموع بارندگی ماهانه یا سالانه و  $\bar{P}$ ، میانگین بارندگی ماهانه یا سالانه بلندمدت برحسب میلی‌متر است. این شاخص می‌تواند برای بازه‌های زمانی مختلف محاسبه شود. جدول ۳ طبقه‌بندی خشک‌سالی بر اساس شاخص PNPI را نشان می‌دهد.

جدول ۳: طبقه‌بندی خشک‌سالی بر اساس شاخص PNPI

درصد بارش	طبقه‌بندی خشک‌سالی
بیشتر از ۸۰ درصد	نرمال
۷۰ تا ۸۰ درصد	خشک‌سالی ضعیف
۵۵ تا ۷۰ درصد	خشک‌سالی متوسط
۴۰ تا ۵۵ درصد	خشک‌سالی شدید
کمتر از ۴۰ درصد	خشک‌سالی بسیار شدید

مأخذ: حجازی زاده ۱۳۸۹

### شاخص معیار بارندگی سالانه SIAP

اساس محاسبه این شاخص، انحراف داده‌های بارندگی از نرمال می‌باشد. مقیاس زمانی محاسبه این شاخص، سالانه است و علاوه بر پارامترهای میانگین، انحراف معیار استاندارد را نیز مدنظر قرار می‌دهد. برای تعیین شاخص SIAP از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$SIAP = \frac{P_i - \bar{P}}{SD}$$

که در آن :

$P_i$ : بارندگی سالانه  $\bar{P}$ : میانگین بارش سالانه  $SD$ : انحراف معیار؛

بدیهی است که هرچه مقدار عددی این شاخص کوچک‌تر باشد، خشک‌سالی شدیدتر است. جدول ۴ طبقه‌بندی شاخص خشک‌سالی SIAP را نشان می‌دهد.

جدول ۴: طبقه‌بندی خشک‌سالی بر اساس شاخص SIAP

درجه‌بندی خشک‌سالی	مفهوم اقلیمی
مساوی یا بیشتر از ۱/۰ +	سال خیلی مرطوب
بین ۰/۵+ تا ۱/۰+	سال مرطوب
بین ۰/۵- تا ۰/۵+	سال نرمال
بین ۱/۰- تا ۰/۵-	سال خشک
کمتر از ۱/۰-	سال بسیار خشک

مأخذ: حجازی زاده ۱۳۸۹

### شاخص ناهنجاری بارندگی RAI

شاخص ناهنجاری بارندگی توسط روی<sup>۱</sup> در سال ۱۹۶۵ ارائه شده است. اساس این شاخص، محاسبه انحراف میزان بارندگی از مقدار نرمال می‌باشد. مراحل محاسبه این شاخص به صورت زیر است:

۱. محاسبه میانگین درازمدت بارندگی در ایستگاه‌های موردنظر ( $\bar{P}$ );

۲. استخراج میانگین ده مورد از بیشترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی ( $\bar{m}$ );

۳. استخراج میانگین ده مورد از کمترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی ( $\bar{x}$ );

۴. مقایسه داده‌های بارندگی ( $P$ ) با میانگین درازمدت بارندگی ( $\bar{P}$ );

چنانچه  $P > \bar{P}$  یا ناهنجاری مثبت باشد، شاخص ناهنجاری بارندگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$RAI = 3 \left[ \frac{P - \bar{P}}{\bar{m} - \bar{P}} \right]$$

اگر  $P < \bar{P}$  یا ناهنجاری منفی باشد، شاخص ناهنجاری بارندگی به صورت زیر خواهد بود.

$$RAI = -3 \left[ \frac{P - \bar{P}}{\bar{x} - \bar{P}} \right]$$

۵. نسبت داده آستانه‌های +۳ و -۳ به ترتیب به میانگین ده مورد از شدیدترین ناهنجاری‌های مثبت و منفی به دست آمده از شاخص ناهنجاری بارندگی.

۶. با مقیاس‌گذاری روی مقادیر حاصل از شاخص ناهنجاری بارندگی، طبقات ناهنجاری با دامنه‌ای از شرایط رطوبت بسیار شدید تا خشک‌سالی بسیار شدید تعیین می‌شود. طبقه‌بندی خشک‌سالی بر اساس شاخص RAI در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵: طبقه‌بندی خشک‌سالی بر اساس شاخص RAI

وضعیت خشک‌سالی	آستانه‌های نسبت داده شده به RAI
نرمال	$\geq +0/3$
نزدیک نرمال	$+0/3$ تا $-0/3$
خشک‌سالی ضعیف	$-0/3$ تا $-1/2$
خشک‌سالی متوسط	$-1/2$ تا $-2/1$
خشک‌سالی شدید	$-2/1$ تا $-3$
خشک‌سالی بسیار شدید	$\leq -3$

مأخذ: حجازی زاده ۱۳۸۹

### شاخص استاندارد شده بارش SPI

شاخص استاندارد شده بارش SPI، شاخصی است که برای مقیاس‌های زمانی مختلف قابل محاسبه است. این روش به وسیله مک کی، دوسکن و جان کلئست<sup>۲</sup> در سال ۱۹۹۳ ارائه شده است. شاخص SPI از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{s}$$

که در آن:

<sup>۱</sup> - Rooy

<sup>۲</sup> - Jan Kleist



$P_i$ : مقدار بارش در دوره مورد نظر  $\bar{P}$ : میانگین درازمدت بارش برای دوره مورد نظر  $S$ : انحراف معیار مقدار بارش طبقه‌بندی خشک‌سالی بر اساس شاخص SPI در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶: طبقه‌بندی خشک‌سالی بر اساس شاخص SPI

درجه خشک‌سالی	ارزش SPI
ترسالی حاد	+۲/۰
ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹
نزدیک نرمال	+۰/۹۹ تا -۰/۹۹
خشک‌سالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
خشک‌سالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
خشک‌سالی حاد	-۲/۰

مأخذ: حجازی زاده ۱۳۸۹

### روش TOPSIS در رتبه‌بندی خشک‌سالی

در این روش، از چهار پارامتر اقلیمی، برای سال‌های مختلف یک ایستگاه استفاده می‌شود که این پارامترها شامل بارش، دما، رطوبت نسبی و تعداد روزهای بارش می‌باشند، سهم هر یک از پارامترهای اقلیمی در میزان خشک‌سالی متفاوت می‌باشد و بنابراین لازم است تا وزن هر یک در میزان خشک‌سالی معین شود. (حجازی زاده ۱۳۸۹، ۲۴۱) در این روش ابتدا نوع اقلیم هر ایستگاه محاسبه و بعد از مشخص شدن نوع اقلیم ایستگاه، وزن‌های مورد نظر انتخاب می‌شود. عناصر جوی در رخداد خشک‌سالی متفاوت عمل می‌کنند. به‌عنوان مثال، پارامتر دما نسبت به بارش، رطوبت نسبی و تعداد روزهای بارش، در رابطه با پدیده خشک‌سالی، عملکرد معکوس دارد؛ به‌طوری‌که مقادیر دمایی بالا در مقابل مقادیر اندک بارش، رطوبت و تعداد روزهای بارش، باعث افزایش شدت خشک‌سالی می‌شوند. به‌عبارت‌دیگر، هر چه میزان بارش کمتر و مقدار دما بیشتر باشد، احتمال وقوع خشک‌سالی یا تشدید آن افزایش پیدا می‌کند. از این‌رو پارامترهایی که گرایش افزایشی آن‌ها در عدم وقوع خشک‌سالی مؤثر است، به‌عنوان شاخص مثبت، و پارامترهایی که گرایش کاهش‌ی آن‌ها در نبود خشک‌سالی مؤثر است، به‌عنوان شاخص منفی در نظر گرفته می‌شوند.

جدول ۷: محدوده طبقه‌بندی خشک‌سالی در روش TOPSIS

رتبه TOPSIS	el	طبقات شدت خشک‌سالی
۱	بیش از ۰/۹۱	ترسالی بسیار شدید
۲	۰/۸۱ تا ۰/۹۰	ترسالی شدید
۳	۰/۷۱ تا ۰/۸۰	ترسالی متوسط
۴	۰/۶۱ تا ۰/۷۰	ترسالی ضعیف
۵	۰/۴۱ تا ۰/۶۰	نرمال
۶	۰/۳۱ تا ۰/۴۰	خشک‌سالی ضعیف
۷	۰/۲۱ تا ۰/۳۰	خشک‌سالی متوسط
۸	۰/۱۱ تا ۰/۲۰	خشک‌سالی شدید
۹	۰/۱۰ و کمتر از ۰/۱۰	خشک‌سالی بسیار شدید

مأخذ: حجازی زاده ۱۳۸۹

همیشه خروجی CI بین صفر تا یک متغیر است، به گونه‌ای که هر چه ضریب CI بیشتر باشد، گویای حالت مرطوب و هر چه مقدار آن کمتر باشد، گویای وضعیت خشک‌تر است.

## نتایج و بحث

در مطالب گذشته به معرفی شاخص‌ها پرداخته شد و همچنین با استفاده از نرم‌افزار DIC<sup>۱</sup> شاخص‌های خشک‌سالی اقلیمی Z، DI، PNPI، SIAP، RAI و SPI بر روی آمار بارندگی ۳۰ ساله ایستگاه‌های انتخابی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

اکنون شاخص‌های خشک‌سالی را برای کل ایستگاه‌ها با یکدیگر مقایسه می‌کنیم؛ برای انجام این کار از سه روش زیر بهره می‌گیریم.

### روش اول: استفاده از روش همبستگی بین بارندگی و رتبه‌های هر شاخص:

برای مقایسه شاخص‌های خشک‌سالی اقلیمی در هر ایستگاه از ضریب همبستگی اسپیرمن بین میزان بارندگی و رتبه حاصل از هر شاخص در ایستگاه‌های انتخابی استفاده می‌کنیم. علت محاسبه ضریب اسپیرمن بین رتبه هر شاخص با میزان بارندگی این است که بارندگی بیشترین تأثیر را بر عملکرد شاخص‌ها دارد. با توجه به ساختار و فرمول شاخص‌های خشک‌سالی نشان می‌دهد که بارندگی تنها پارامتر تأثیرگذار و مؤثر در روند عملکرد و رتبه‌بندی شاخص‌ها است. از طرفی انتخاب ضریب همبستگی اسپیرمن به این دلیل است که شاخص‌ها شدت خشک‌سالی را با رتبه‌ها تفکیک می‌کنند و چون همبستگی بین رتبه و میزان بارندگی است باید از ضریب اسپیرمن استفاده شود و نه پیرسون؛ بنابراین ضرایب اسپیرمن بین رتبه‌ها و میزان بارندگی با نرم‌افزار SPSS تعیین شد. به صورت نمونه مقادیر بارندگی و رتبه‌های حاصل از به کارگیری شاخص Z برای ایستگاه لار در جدول ۸ ارائه گردیده که ضریب همبستگی اسپیرمن بین این دو متغیر ۰/۹۳۸ می‌باشد.

**جدول ۸:** مقادیر بارندگی و رتبه‌های حاصل از به کارگیری شاخص Z برای ایستگاه لار

سال	۱۹۸۱	۱۹۸۲	۱۹۸۳	۱۹۸۴	۱۹۸۵	۱۹۸۶	۱۹۸۷	۱۹۸۸	۱۹۸۹	۱۹۹۰
آمار بارندگی	۱۵۷	۲۹۶/۵	۱۹۸	۱۲۵/۷	۱۱۵	۲۳۴	۸۵	۲۳۴	۱۸۴	۷۸
رتبه شاخص Z	۳	۴	۳	۲	۲	۳	۲	۳	۳	۲
سال	۱۹۹۱	۱۹۹۲	۱۹۹۳	۱۹۹۴	۱۹۹۵	۱۹۹۶	۱۹۹۷	۱۹۹۸	۱۹۹۹	۲۰۰۰
آمار بارندگی	۳۴۳/۸	۳۹۸/۴	۴۲۰	۱۱۷/۳	۴۴۰/۵	۳۵۴	۲۶۶	۱۹۸/۱	۱۲۳/۶	۱۰۲/۱
رتبه شاخص Z	۴	۵	۵	۲	۵	۴	۴	۳	۲	۲
سال	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰
آمار بارندگی	۵۵/۳	۱۴۱/۲	۱۹۲/۱	۲۰۸/۸	۱۴۰/۳	۱۶۰/۱	۱۳۲/۷	۹۰/۶	۲۳۹/۲	۷۴/۷
رتبه شاخص Z	۲	۲	۳	۳	۲	۳	۲	۲	۳	۲

مآخذ: یافته‌های پژوهش

برای رتبه‌بندی شاخص‌ها در کل پهنه ایران به مقایسه میانگین ضرایب همبستگی اسپیرمن بارندگی ۳۶ ایستگاه با رتبه شاخص‌ها می‌پردازیم بدین نحو که برای هر کدام از شاخص‌ها در هر یک از ایستگاه‌ها یک ضریب همبستگی به دست آمده است میانگین این ۳۶ ضریب مربوط به یک شاخص را به دست آورده و از آن به عنوان میانگین ضریب همبستگی آن شاخص در کل پهنه ایران استفاده می‌کنیم.

با توجه به جدول ۹ شاخص DI با میانگین ضریب اسپیرمن ۰/۹۹۵ به عنوان منطبق‌ترین شاخص خشک‌سالی برای تمام پهنه ایران معرفی می‌گردد پس از آن شاخص‌های SIAP با میانگین ۰/۹۵۷ و RAI با میانگین ۰/۹۵۶ و Z با میانگین ۰/۹۴۷ و SPI با میانگین ۰/۸۳۱ و در آخر PNPI با میانگین ۰/۷۶۰ اولویت‌بندی می‌شوند.

جدول ۹: ضرایب همبستگی اسپیرمن بین بارندگی ۳۶ ایستگاه با رتبه شاخص‌های شش‌گانه

انزلی	رشت	رامسر	نوشهر	گرگان	بابلسر	ارومیه	تبریز	همدان	زنجان	قزوین	Z
۰/۹۵۳	۰/۹۴۳	۰/۹۴۲	۰/۹۵۸	۰/۹۵۸	۰/۹۵۰	۰/۹۱۰	۰/۹۵۱	۰/۹۴۶	۰/۹۶۶	۰/۹۵۱	Z
۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	DI
۰/۵۸۹	۰/۶۴۸	۰/۷۳۸	۰/۵۲۰	۰/۶۴۸	۰/۵۹۰	۰/۷۴۰	۰/۷۳۹	۰/۶۹۶	۰/۶۴۹	۰/۷۴۰	PNPI
۰/۹۶۹	۰/۹۵۲	۰/۹۶۸	۰/۹۶۰	۰/۹۷۸	۰/۹۶۰	۰/۹۱۶	۰/۹۶۰	۰/۹۶۲	۰/۹۷۵	۰/۹۶۰	SIAP
۰/۹۳۱	۰/۹۵۳	۰/۹۶۲	۰/۹۵۵	۰/۹۱۷	۰/۹۴۴	۰/۹۶۱	۰/۹۶۹	۰/۹۶۸	۰/۹۳۰	۰/۹۵۵	RAI
۰/۸۳۶	۰/۸۸۲	۰/۹۲۳	۰/۸۰۸	۰/۸۰۹	۰/۸۳۴	۰/۸۳۷	۰/۸۸۲	۰/۸۳۵	۰/۷۴۰	۰/۸۰۹	SPI

دنباله جدول ۹

شهرکرد	شیراز	فسا	مشهد	سبزوار	سنندج	کرمانشاه	ایلام	خرم‌آباد	دزفول	اهواز	Z
۰/۹۵۰	۰/۹۴۸	۰/۹۳۰	۰/۹۶۱	۰/۹۵۲	۰/۹۳۲	۰/۹۵۱	۰/۹۵۹	۰/۹۴۳	۰/۹۵۲	۰/۹۲۸	Z
۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	DI
۰/۷۳۶	۰/۷۷۷	۰/۸۱۰	۰/۷۴۰	۰/۸۰۸	۰/۹۴۶	۰/۶۴۸	۰/۷۳۹	۰/۶۹۷	۰/۷۷۶	۰/۷۷۸	PNPI
۰/۹۵۴	۰/۹۵۳	۰/۹۳۱	۰/۹۶۷	۰/۹۷۵	۰/۹۳۲	۰/۹۶۰	۰/۹۶۶	۰/۹۵۱	۰/۹۶۴	۰/۹۳۱	SIAP
۰/۹۶۱	۰/۹۶۲	۰/۹۵۲	۰/۹۶۲	۰/۹۶۲	۰/۹۵۲	۰/۹۶۶	۰/۹۶۹	۰/۹۶۶	۰/۹۶۲	۰/۹۷۱	RAI
۰/۷۷۶	۰/۸۰۹	۰/۸۱۰	۰/۸۳۶	۰/۸۰۸	۰/۷۷۶	۰/۸۵۷	۰/۷۷۸	۰/۸۰۹	۰/۸۳۶	۰/۸۳۷	SPI

دنباله جدول ۹

آبادان	لار	بندرعباس	بندرلنگه	ایران‌شهر	زاهدان	زابل	کرمان	یزد	اصفهان	کاشان	Z
۰/۹۵۵	۰/۹۳۸	۰/۹۴۷	۰/۹۵۲	۰/۹۴۴	۰/۹۴۶	۰/۹۶۳	۰/۹۵۲	۰/۹۵۱	۰/۹۴۶	۰/۹۵۰	Z
۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	DI
۰/۸۵۹	۰/۹۱۷	۰/۹۰۱	۰/۸۷۵	۰/۸۸۲	۰/۹۱۳	۰/۸۸۳	۰/۸۶۰	۰/۸۳۸	۰/۸۱۰	۰/۸۳۴	PNPI
۰/۹۷۲	۰/۹۶۴	۰/۹۶۵	۰/۹۶۷	۰/۹۶۰	۰/۹۶۵	۰/۹۷۳	۰/۹۵۱	۰/۹۶۰	۰/۹۵۳	۰/۹۷۵	SIAP
۰/۹۵۳	۰/۹۷۵	۰/۹۵۴	۰/۹۶۹	۰/۹۴۴	۰/۹۵۲	۰/۹۴۴	۰/۹۶۲	۰/۹۷۴	۰/۹۶۹	۰/۹۵۸	RAI
۰/۸۹۴	۰/۸۸۲	۰/۸۳۶	۰/۸۳۷	۰/۸۳۶	۰/۹۱۱	۰/۸۰۸	۰/۸۳۴	۰/۸۰۹	۰/۸۳۷	۰/۸۸۳	SPI

دنباله جدول ۹

بیرجند	سمنان	تهران	میانگین	Z
۰/۹۳۰	۰/۹۲۷	۰/۹۶۳	۰/۹۴۷	Z
۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	DI
۰/۷۷۷	۰/۷۷۵	۰/۸۰۷	۰/۷۶۰	PNPI
۰/۹۳۱	۰/۹۲۹	۰/۹۷۲	۰/۹۵۷	SIAP
۰/۹۵۲	۰/۹۵۰	۰/۹۳۲	۰/۹۵۶	RAI
۰/۸۳۷	۰/۷۴۱	۰/۸۶۱	۰/۸۳۱	SPI

مأخذ: یافته‌های پژوهش

### روش دوم: استفاده از ضرایب همبستگی بین روش Topsis و رتبه شاخص‌ها:

روش Topsis علاوه بر میزان بارندگی از دیگر پارامترهای اقلیمی از جمله دما، رطوبت نسبی و تعداد روزهای بارندگی نیز جهت تعیین خشک‌سالی استفاده می‌نماید. به علت نقص آماری در پارامترهای مورد استفاده در روش Topsis قادر نبودیم که این روش را برای ۳۶ ایستگاه به کاربندیم و فقط برای ۲۶ ایستگاه مورد محاسبه قرار گرفت. در مرحله بعد ضریب همبستگی اسپیرمن بین نتایج رتبه‌بندی شاخص‌ها در هر کدام از ۲۶ ایستگاه با نتایج روش Topsis همان ایستگاه‌ها، محاسبه شده و در نهایت میانگین ضرایب اسپیرمن برای هر شاخص تعیین گردید.

با مقایسه میانگین‌های جدول ۱۰ مشخص می‌شود که شاخص DI با میانگین ۰/۹۱۹ منطبق‌ترین شاخص خشک‌سالی اقلیمی با روش تاپسیس بوده و پس از آن شاخص‌های SIAP با میانگین ۰/۸۹۷، RAI با میانگین ۰/۸۹۰، Z با میانگین ۰/۸۸۶، SPI با میانگین ۰/۷۷۳ و نهایتاً PNPI با میانگین ۰/۶۸۵ درجات بعدی انطباق را به خود اختصاص داده‌اند. قابل توجه است که نتایج اولویت بندی شاخص‌ها در روش دوم کاملاً مشابه روش اول است که این حاکی از آن است که روش دوم بر نتایج روش اول صحنه می‌گذارد.

جدول ۱۰: ضرایب همبستگی اسپیرمن بین رتبه شاخص‌ها با رتبه روش Topsis در ۲۶ ایستگاه

انزلی	رشت	رامسر	نوشهر	گرگان	بابلسر	ارومیه	تبریز	همدان	زنجان	قزوین	Z
۰/۸۵۷	۰/۸۷۳	۰/۹۰۱	۰/۹۲۲	۰/۸۸۹	۰/۸۶۴	۰/۸۸۱	۰/۸۹۳	۰/۸۵۳	۰/۸۳۲	۰/۸۱۹	
۰/۹۱۸	۰/۹۵۸	۰/۹۵۵	۰/۹۵۷	۰/۹۲۴	۰/۹۰۶	۰/۹۰۲	۰/۹۴۷	۰/۹۰۴	۰/۸۲۲	۰/۷۵۹	DI
۰/۵۲۱	۰/۶۴۸	۰/۶۵۴	۰/۴۹۴	۰/۵۸۴	۰/۵۱۴	۰/۶۷۸	۰/۶۸۰	۰/۶۵۸	۰/۵۹۷	۰/۵۳۶	PNPI
۰/۸۷۳	۰/۸۸۹	۰/۹۳۲	۰/۹۱۷	۰/۹۱۸	۰/۸۶۹	۰/۸۷۳	۰/۸۹۴	۰/۸۷۷	۰/۸۵۲	۰/۸۴۲	SIAP
۰/۸۶۳	۰/۹۴۳	۰/۹۴۱	۰/۹۱۸	۰/۸۹۶	۰/۹۱۰	۰/۸۵۶	۰/۹۳۰	۰/۸۸۹	۰/۸۰۳	۰/۶۷۸	RAI
۰/۷۸۵	۰/۸۵۳	۰/۸۶۹	۰/۷۹۵	۰/۷۸۲	۰/۷۷۸	۰/۷۸۲	۰/۸۳۸	۰/۷۵۴	۰/۶۵۴	۰/۶۵۷	SPI

شهرکرد	مشهد	سیزوار	سنندج	کرمانشاه	اهواز	بندرعباس	بندرلنگه	ایران‌شهر	زاهدان	Z
۰/۹۳۵	۰/۹۱۰	۰/۹۳۶	۰/۹۰۹	۰/۸۴۳	۰/۸۶۳	۰/۹۱۱	۰/۹۰۳	۰/۷۵۲	۰/۹۱۸	
۰/۹۷۲	۰/۹۴۷	۰/۹۷۱	۰/۹۱۶	۰/۹۱۴	۰/۹۲۲	۰/۹۴۲	۰/۹۱۲	۰/۸۲۸	۰/۹۳۷	DI
۰/۹۳۶	۰/۶۳۴	۰/۸۰۸	۰/۶۲۹	۰/۵۷۴	۰/۷۳۶	۰/۸۵۳	۰/۷۶۲	۰/۷۶۶	۰/۸۵۸	PNPI
۰/۹۴۷	۰/۹۰۳	۰/۹۵۵	۰/۹۰۹	۰/۸۵۷	۰/۸۷۷	۰/۹۲۲	۰/۹۱۰	۰/۷۶۳	۰/۹۳۸	SIAP
۰/۹۴۱	۰/۹۱۳	۰/۹۵۴	۰/۸۵۰	۰/۹۰۳	۰/۹۱۴	۰/۸۸۵	۰/۹۰۷	۰/۸۱۷	۰/۸۹۳	RAI
۰/۷۳۶	۰/۷۵۹	۰/۸۰۸	۰/۷۶۲	۰/۷۳۵	۰/۷۸۱	۰/۷۶۶	۰/۷۳۶	۰/۷۱۵	۰/۸۸۲	SPI

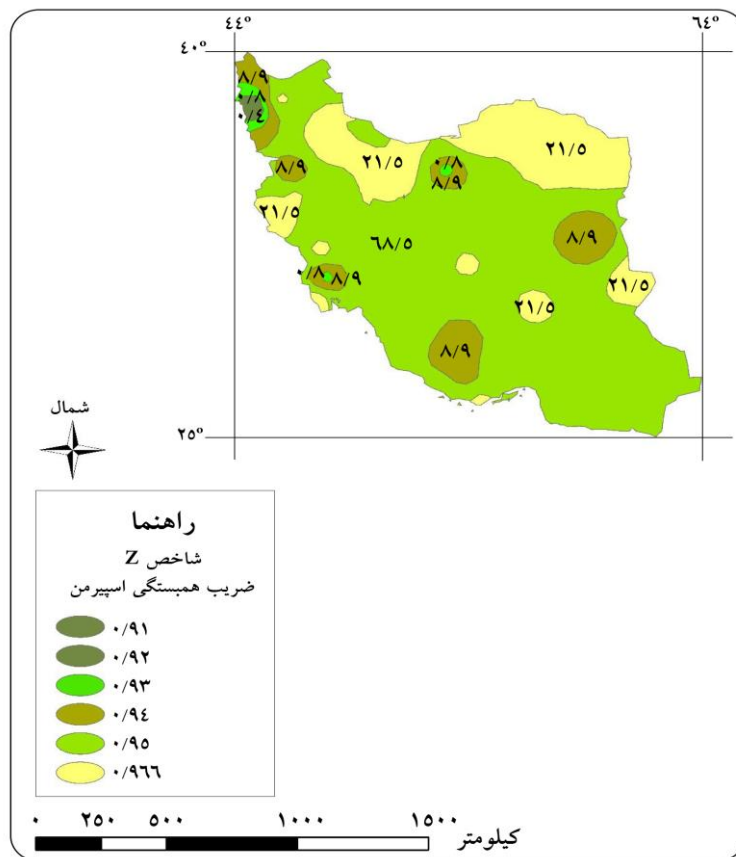
دنباله جدول ۱۰

کرمان	یزد	کاشان	سمنان	تهران	میانگین
۰/۹۳۷	۰/۹۲۶	۰/۹۰۹	۰/۸۹۹	۰/۹۰۵	۰/۸۸۶
۰/۹۵۴	۰/۹۱۲	۰/۹۵۰	۰/۹۱۸	۰/۹۶۱	۰/۹۱۹
۰/۸۳۰	۰/۸۰۹	۰/۷۴۰	۰/۷۴۸	۰/۷۶۷	۰/۶۸۵
۰/۹۳۶	۰/۹۳۵	۰/۹۲۴	۰/۹۱۱	۰/۹۲۰	۰/۸۹۷
۰/۹۱۱	۰/۹۰۱	۰/۹۲۹	۰/۸۹۳	۰/۹۰۷	۰/۸۹۰
۰/۷۵۲	۰/۷۸۸	۰/۸۲۰	۰/۷۳۲	۰/۷۸۹	۰/۷۷۳

مأخذ: یافته‌های پژوهش

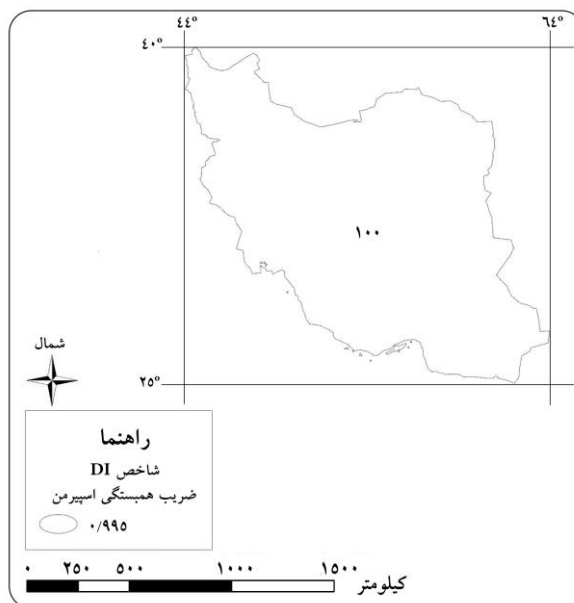
**روش سوم:** پهنه‌بندی ضریب همبستگی اسپیرمن بین بارندگی و رتبه شاخص‌های خشک‌سالی:

برای مقایسه شاخص‌های خشک‌سالی اقلیمی روش پهنه‌بندی نیز به کار گرفته شد؛ بدین نحو که با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن بارندگی و رتبه آن شاخص در هر یک از ایستگاه‌ها و به کمک نرم‌افزار ArcGIS و از طریق مدل IDW، ۶ نقشه پهنه‌بندی تهیه گردید. پهنه‌ها معرف میزان انطباق هر شاخص با بارندگی است. در هر نقشه راهنمایی تنظیم شده که اعداد آن بیانگر ضریب همبستگی بارندگی و رتبه آن شاخص است. هر پهنه که متعلق به ضریب معین می‌باشد با رنگ ویژه‌ای نمایش داده شده است. به‌طور مثال رنگ سفید نشانگر ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹۶ و رنگ زرد نماینده ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹۵ می‌باشد. به‌طور کلی نقشه‌ها به نحوی طراحی شده‌اند که راهنمای آن‌ها تا حد امکان با یکدیگر انطباق داشته باشند. همچنین در سطح نقشه شاهد اعدادی هستیم که درصد مساحت هر یک از پهنه‌ها را نشان می‌دهند.



شکل ۲: پهنه‌بندی ضریب همبستگی اسپیرمن بارندگی و رتبه‌های شاخص Z مأخذ: یافته‌های پژوهش

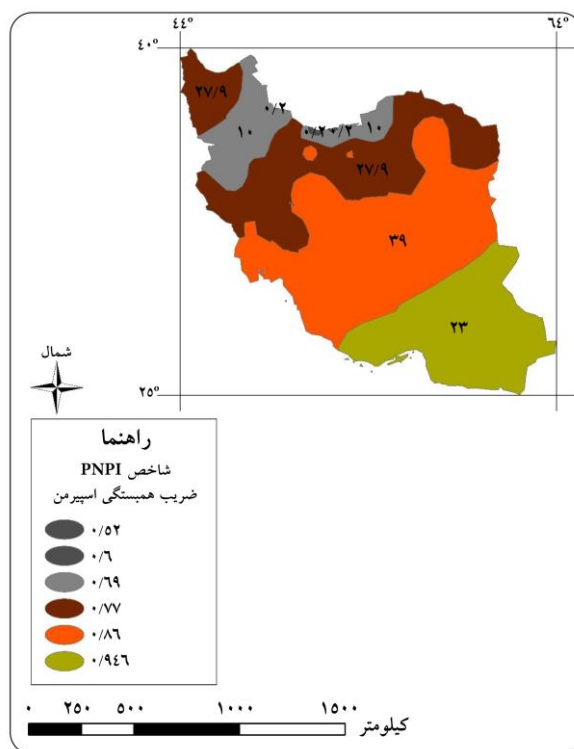
در شکل ۲ کمترین و بیشترین ضریب به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۹۶۶ هستند، به بیانی رنگ زرد معرف پهنه‌هایی با بیشترین ضریب که ۲۱/۵ درصد از مساحت ایران را شامل می‌گردد و در مقابل بیشترین مساحت متعلق به رنگ سبز با ۶۸/۵ درصد که رتبه دوم را در بین ضرایب دارا است.



مأخذ: یافته‌های پژوهش

شکل ۳: پهنه‌بندی ضریب همبستگی اسپیرمن بارندگی و رتبه‌های شاخص DI

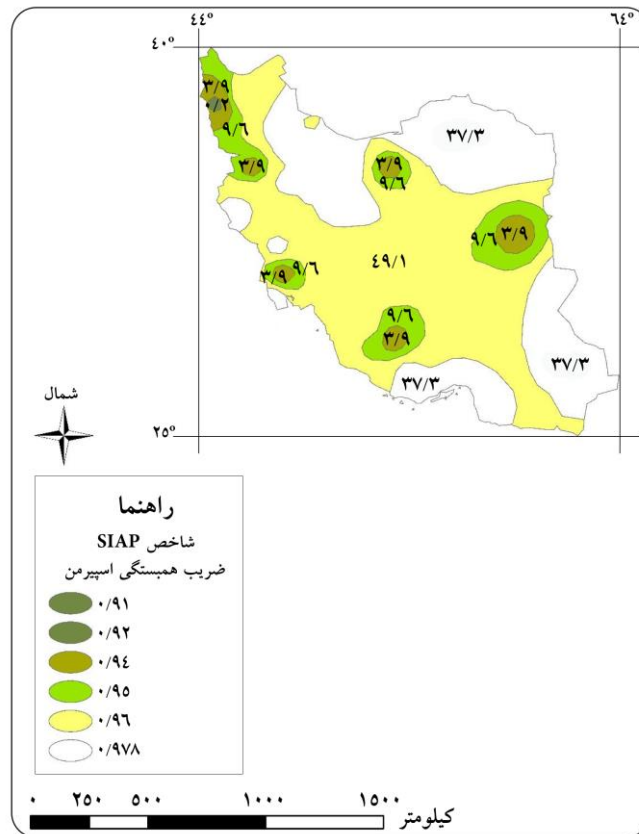
در شکل ۳ تمام سطح نقشه را یک پهنه در بر می‌گیرد که معرف ضریب همبستگی ۰/۹۹۵ می‌باشد. به عبارتی بیشترین ضریب همبستگی تمامی سطح کشور را شامل می‌شود.



مأخذ: یافته‌های پژوهش

شکل ۴: پهنه‌بندی ضریب همبستگی اسپیرمن بارندگی و رتبه‌های شاخص PNPI

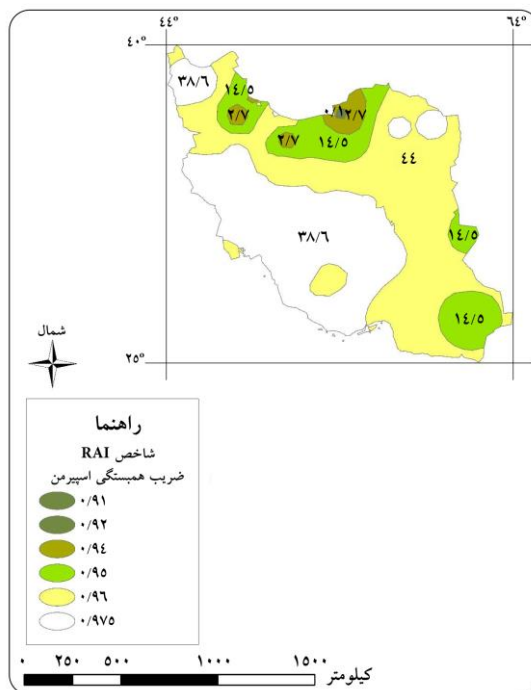
در شکل ۴ بیشترین ضریب همبستگی ۰/۹۴۶ است و ۲۳ درصد از مساحت ایران با این ضریب پوشیده شده است. یعنی از پهنه‌های سفید، زرد و سبز که به ترتیب بیشترین ضرایب را شامل می‌شوند خبری نیست. همچنین بیشترین مساحت (۳۹ درصد) به ضریب ۰/۸۶ تعلق دارد.



مأخذ: یافته‌های پژوهش

**شکل ۵:** پهنه‌بندی ضریب همبستگی اسپیرمن بارندگی و رتبه‌های شاخص SIAP

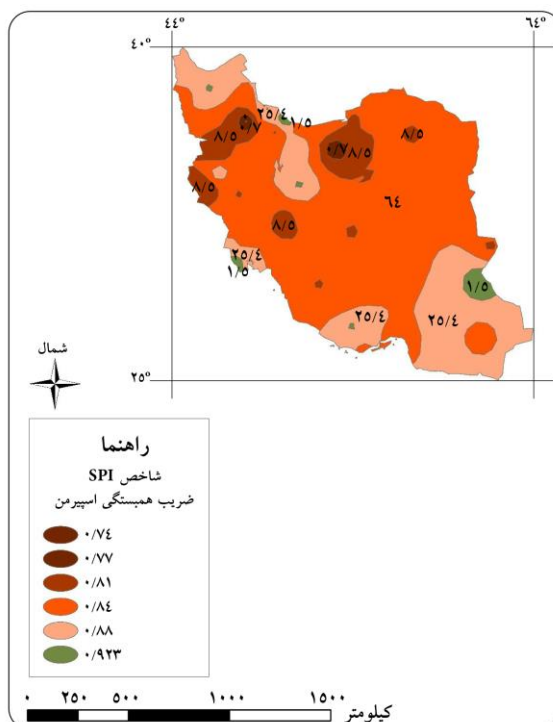
در شکل ۵ بیشترین ضریب ۰/۹۷۸ که ۳۷/۳ درصد مساحت نقشه را به خود اختصاص داده از طرفی بیشترین مساحت یعنی ۴۹/۱ درصد متعلق به ضریب ۰/۹۶ است.



مأخذ: یافته‌های پژوهش

**شکل ۶:** پهنه‌بندی ضریب همبستگی اسپیرمن بارندگی و رتبه‌های شاخص RAI

در شکل عیب‌شترین ضریب ۰/۹۷۵ که ۳۸/۶ درصد از مساحت ایران را در برمی‌گیرد، ضریب کمتر از آن ۰/۹۶ بوده که ۴۴ درصد از کل مساحت ایران را می‌پوشاند.



مأخذ: یافته‌های پژوهش

**شکل ۷:** پهنه‌بندی ضریب همبستگی اسپیرمن بارندگی و رتبه‌های شاخص SPI



در شکل ۷ حداکثر ضریب همبستگی به دست آمده ۰/۹۲۳ است که تنها توانسته ۱/۵ درصد از مساحت کشور را در بر گیرد، بیشترین مساحت ۶۴ درصد است که مربوط به ضریب ۰/۸۴ می باشد.

با نگاهی اجمالی به نقشه های پهنه بندی مشخص می شود که ۳ رنگ سفید، زرد و سبز به ترتیب معرف ضرایب همبستگی بالای ۰/۹۶، ۰/۹۵ و ۰/۹۴ هستند. در نقشه DI تنها رنگ سفید به چشم می خورد، این شاخص در تمام سطح کشور انطباق بسیار زیادی با بارندگی دارد. در نقشه های ۵ و ۶ نیز شاهد رنگ سفید هستیم که حاکی از انطباق زیاد شاخص های SIAP و RAI با بارندگی بوده و هر کدام حدود ۳۷/۳ و ۳۸/۶ درصد از مساحت کل ایران را شامل می شوند. در این دو نقشه رنگ زرد نیز وجود دارد که به ترتیب ۴۹/۱ و ۴۴ درصد از مساحت را دارا است. اگر مجموع رنگ های برتر سفید و زرد را در نظر بگیریم شاخص های SIAP و سپس RAI، ۸۶/۴ و ۸۲/۶ درصد از مساحت ایران را شامل می شوند.

در نقشه ۲ رنگ سفید وجود ندارد؛ رنگ زرد ۲۱/۵ درصد از ایران را پوشش می دهد. رنگ سبز که رتبه پایین تری را دارا است ۶۸/۵ درصد از مساحت کل را پوشانده است. پس می توان گفت شاخص Z در مقایسه با شاخص های SIAP و RAI انطباق کمتری با بارندگی دارد.

در نقشه های ۴ و ۷ رنگ های برتر سفید، زرد و سبز وجود ندارند. در نقشه ۷ فقط ۱/۵ درصد از کل مساحت ایران با رنگ سبز زیتونی پوشانده شده که آن هم ضریب بالاتر از ۰/۸۸ را نشان می دهد که زیاد مطلوب نیست و در حدود ۹۸/۵ درصد از مساحت ایران که در طیف رنگی صورتی تا قهوه ای تیره قرار گرفته اند دارای ضرایب پایین بین ۰/۸۸ و ۰/۷۴ هستند که نشان از انطباق بسیار ضعیف شاخص SPI با بارندگی است. در نقشه ۴، ۲۳ درصد از مساحت کل با ضریب بالای ۰/۸۶ پوشانده شده و در بقیه نقشه با رنگ هایی در طیف قرمز تا خاکستری تیره مواجه هستیم که ضریب همبستگی پایینی بین ۰/۸۶ تا ۰/۵۲ را دارند. این رنگ ها وسعتی معادل ۷۷ درصد از کل ایران را در بر می گیرند؛ به عبارتی شاخص PNPI در سطح وسیعی از کشور انطباق بسیار پایینی با بارندگی دارد.

### نتیجه گیری

شاخص های ۶ گانه خشک سالی اقلیمی را می توان از دیدگاه های مختلف مورد مقایسه قرار داد اما رویکردی که در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته تأثیر بارندگی بر شاخص ها است. تغییرات بارندگی در هر نقطه ای می تواند موجب تغییر در رتبه های شاخص خشک سالی گردد. جهت کمی کردن و بررسی دقیق تر این تأثیرات از ضریب همبستگی اسپیرمن به نحوی که در متن به آن اشاره شده استفاده گردیده است. بررسی ضرایب به دست آمده از روش های مختلفی مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج زیر حاصل شده است.

در روش اول به مقایسه میانگین ضرایب همبستگی بین بارندگی و رتبه هر شاخص پرداخته شده به طوری که برای هر یک از شاخص ها در کل ایستگاه های انتخابی تنها یک عدد به دست آمده به عبارتی حاصل تمام محاسبات ۶ عدد

می‌باشد که بالاترین عدد مربوط به میانگین ضریب همبستگی بارندگی با شاخص DI ۰/۹۹۵ است. از این رو روشن می‌گردد که تأثیر بارندگی بر شاخص DI بیشتر از شاخص‌های دیگر است. بعد از شاخص‌های SIAP و RAI به ترتیب با ضرایب ۰/۹۵۷ و ۰/۹۵۶ که در هر دو، ضرایب به دست آمده بالاتر از ۰/۹۵ می‌باشد و نشان می‌دهد این دو شاخص نیز بعد از DI بسیار تحت تأثیر بارندگی هستند. شاخص Z با میانگین ضریب ۰/۹۴۷ بعد از شاخص‌های فوق متأثر از بارندگی است. در انتها دو شاخص SPI و PNPI با میانگین ضرایب ۰/۸۳۱ و ۰/۷۶۰ کمترین ارتباط را با بارندگی دارند. به عبارتی ضریب همبستگی هر دو کمتر از ۰/۹ بوده که باعث می‌شود آن‌ها در انتهای رویکرد مقایسه‌ای قرار گیرند.

در روش دوم با معیار قرار دادن روش تاپسیس به مقایسه شاخص‌های خشک‌سالی پرداخته شد. روش تاپسیس که روشی برای تعیین میزان خشک‌سالی است و متغیرهای متعددی را در بر می‌گیرد از اعتبار ویژه‌ای برخوردار است؛ بنابراین با تعیین میزان ارتباط بین شاخص‌ها و روش تاپسیس به وسیله ضرایب همبستگی مقایسه شاخص‌های خشک‌سالی صورت گرفت. حاصل این روند ۶ عدد بوده که این اعداد میانگین کل ضرایب همبستگی به دست آمده است. شاخص DI با بیشترین میانگین ضریب همبستگی (۰/۹۱۹) بالاترین انطباق را با روش تاپسیس دارد، پس از آن SIAP و RAI به ترتیب با ۰/۸۹۷ و ۰/۸۹۰ با کمی فاصله نسبت به DI، با روش تاپسیس منطبق هستند. در ادامه شاخص Z با ۰/۸۸۶ و شاخص‌های SPI و PNPI با کاهش چشمگیر به ترتیب با ۰/۷۷۳ و ۰/۶۸۵ انطباق متوسطی با روش تاپسیس دارند. به بیان دیگر فقط شاخص DI دارای ضریب همبستگی بالای ۰/۹ بوده و بقیه شاخص‌ها ضرایب همبستگی کمتر از ۰/۹ (۰/۸۹ تا ۰/۶۸) را کسب کرده‌اند.

در روش سوم که نقشه‌های پهنه‌بندی ضرایب همبستگی بین بارندگی و رتبه شاخص‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهد حاکی از آن است که شاخص DI با ضریب همبستگی ۰/۹۹۵ کل مساحت ایران را در بر می‌گیرد. بعد از آن در نقشه‌های SIAP و RAI شاهد آن هستیم که مجموع دو ضریب همبستگی برتر این شاخص‌ها که بالاتر از ۰/۹۵ است به ترتیب مساحت‌های ۸۶/۴ و ۸۲/۶ درصد از کل ایران را پوشش داده‌اند و بعد از DI بیشترین انطباق را با بارندگی در سطح وسیعی از ایران دارند.

نقشه پهنه‌بندی شاخص Z نشان می‌دهد که ۲۱/۵ درصد مساحت کل ضریب همبستگی بالای ۰/۹۵ را دارا است و بقیه مساحت کشور تحت پوشش ضرایب همبستگی کمتر از آن می‌باشند.

در نقشه‌های SPI و PNPI ضرایب همبستگی بین بارندگی و رتبه این دو شاخص نسبت به شاخص‌های فوق به شدت کاهش یافته است؛ به طوری که بالاترین ضرایب این دو شاخص با کمترین ضرایب در شاخص‌های قبلی برابری می‌کند. در نقشه پهنه‌بندی شاخص SPI تنها ۱/۵ درصد از مساحت کل دارای ضریب بالاتر از ۰/۸۸ است که نشان می‌دهد نه تنها میزان ضریب همبستگی در این نقشه کم شده بلکه مساحت این ضریب نیز کاهش بسیار زیادی دارد. در مقابل قسمت اعظم مساحت ایران تحت پوشش ضرایب همبستگی کمتر از ۰/۸۸ می‌باشند.

در نقشه PNPI، ۲۳ درصد از مساحت متعلق به ضریب همبستگی بالای ۰/۸۶ است. در مقایسه با نقشه SPI هر چند مساحت بیشتری تحت پوشش بالاترین ضریب به دست آمده می‌باشد اما ضرایب مربوط به این شاخص بیش از هر شاخص دیگری نوسان دارد. بنابراین در این شاخص ضرایب کم، مساحت‌های زیادی را در بر گرفته‌اند که نشان از انطباق بسیار کم شاخص PNPI با بارندگی در سطح وسیعی از کشور است.

نتیجه نهایی اینکه هر چند میانگین ضرایب همبستگی به دست آمده در روش اول و دوم از نظر مقدار متفاوت‌اند اما ترتیب آن‌ها برای شاخص‌های مختلف یکسان است و نتایج به دست آمده در هر دو روش مؤید یکدیگرند. به بیان دیگر روش اول و دوم یعنی سنجش شاخص‌ها با بارندگی و روش تاپسیس نتایج یکسانی به دست می‌دهد. همچنین در روش سوم که با توجه به دو عامل ضریب همبستگی و مساحت در برگیرنده هر کدام از ضرایب به مقایسه شاخص‌ها پرداخته، ترتیب شاخص‌های به دست آمده مانند دو روش اول و دوم است.

## منابع

- ۱- آذر، عادل (۱۳۸۲): آمار و کاربرد آن در مدیریت، جلد اول، تهران، انتشارات سمت.
- ۲- آذر، عادل (۱۳۸۱): آمار و کاربرد آن در مدیریت، جلد دوم، تهران، انتشارات سمت.
- ۳- پیرمردیان، نادر و امیر شمس نیا و محمدعلی شاهرخ نیا (زمستان ۱۳۸۷): «پایش و تحلیل پراکندگی مکانی شدت خشک‌سالی سال زراعی ۸۰-۱۳۷۹ استان فارس با استفاده از شاخص معیار شده بارش SPI در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS»، مجله مهندسی آب، سال اول، صص ۶۱-۷۰.
- ۴- حجازی زاده، زهرا (۱۳۷۲): بررسی نوسانات فشار زیاد جنب حاره در تغییر فصل ایران، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۵- حجازی زاده، زهرا و سعید جوی زاده (۱۳۸۹): مقدمه‌ای بر خشک‌سالی و شاخص‌های آن، تهران، انتشارات سمت.
- ۶- خوش‌اخلاق، فرامرز (۱۳۷۷): تحقیق در خشک‌سالی‌های فراگیر ایران با استفاده از تحلیل‌های سینوپتیکی، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
- ۷- عزیزی، قاسم (۱۳۷۵): بلوکینگ و اثرات آن بر بارش‌های ایران، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۸- علیزاده، امین (۱۳۸۹): اصول هیدرولوژی کاربردی، مشهد، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).
- ۹- غیور، حسنعلی و ابوالفضل مسعودیان (تابستان ۱۳۷۶): «بزرگی، گستره و فراوانی خشک‌سالی‌ها در ایران»، مجله تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۵، مشهد، صص ۳۹-۲۵.
- ۱۰- غیور، حسنعلی و محمود خسروی (۱۳۸۰): «تأثیر پدیده انسو بر ناهنجاری‌های بارش تابستانی و پاییزی منطقه جنوب شرق ایران»، مجله تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۲، مشهد، صص ۱۷۴-۱۴۱.
- ۱۱- فرج زاده، منوچهر و علی‌اصغر موحد دانش و هوشنگ قائمی (۱۳۷۴): «خشک‌سالی در ایران»، مجله دانش کشاورزی، شماره ۱ و ۲، تبریز، صص ۵۱-۳۱.
- ۱۲- فرج زاده، منوچهر (۱۳۷۴): بررسی آماری خشک‌سالی در ایران، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.

- ۱۳- فرج زاده، منوچهر (۱۳۸۴): خشک‌سالی از مفهوم تا راهکار، تهران، انتشارات سازمان جغرافیایی وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح.
- ۱۴- کردوانی، پرویز (۱۳۸۰): خشک‌سالی و راه‌های مقابله با آن در ایران، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۵- کمالی، غلامعلی و لیلی خزانه‌داری (بهار و تابستان ۱۳۸۱): «تحلیل خشک‌سالی اخیر مشهد با به‌کارگیری برخی از شاخص‌های خشک‌سالی»، مجله نیوار، شماره ۴۴ و ۴۵، تهران، صص ۹۳-۷۹.
- ۱۶- مدرس پور، آزاده (۱۳۷۳): ناهنجاری‌های اقلیمی ایران و پدیده ENSO، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی.
- ۱۷- موحد دانش، علی‌اصغر (۱۳۷۳): هیدرولوژی آب‌های سطحی ایران، تهران، انتشارات سمت.
- ۱۸- ناظم السادات، سید محمدجعفر (تابستان ۱۳۷۷): «بررسی تأثیر دمای سطح آب خلیج فارس بر بارندگی‌های جنوب ایران»، مجله نیوار، شماره ۳۸، تهران، صص ۴۶-۳۳.

- 19- Auer, I.H. and E. Farland, (2000): Temperature and Precipitation Variations in Norway during 1990-1994 and Their Links To Atmospheric Circulation. *International Journal of Climatology*, 20, pp: 1693-1708
- 20- Gibbs, W. and V. Maher, (1967): Rainfall Deficiency and Drought Indicators. *Bulletin Bur Meteorology Asustralia*, 48, Pp: 117-129
- 21- Hayes, M. J., Svoboda, M.D., Wilhite, D.M. and D.V. Vanyarkno. (1999): Monitoring The 1996 Drought Using The Standardized Precipitation Index. *Bulletin of The American Meteorological Society*, Vol. 80, No. 3, P 43.
- 22- Lamb, P, (1982): Persistence of Sub Saharan Drought Climatology. *Nature*, 299, pp: 46-47.
- 23- Miller, G.T, (1991): *Environmental Sciences*, Word Worth, Pub. Belmont, California. Monitoring The Vernal Advancements and Retro Gradation. (Green Wave Effect) of Nature Vegetation, (1973): Pp: 371. NASA/GSFC Final Report.
- 24- Smith, K, (1994): Precipitation Over Scotland, 1757-1992: Some Aspect of Temporal Variability. *International Journal of Climatology*, 14, Pp: 543-556
- 25- Turkes, M, (1995): Spatial and Temporal Analysis of Annual Rainfall Variations in Turkey. *International Journal of Climatology*, 16, pp: 1056-1057.