

## کاربرد شاخص خشکسالی (CPEI) در تعیین متغیرهای مناسب برای تحلیل خشکسالی‌های ایران

حسن ذوالفقاری<sup>۱</sup>، دانشیار آب و هواشناسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.  
زهرا نوری سامله، کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/ ۲۴ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۶/۲۷

### چکیده

خشکسالی با استفاده از شاخص‌های متعددی مطالعه می‌شود. عنصر رایج در اکثر این شاخص‌ها، بارندگی است. اهمیت بارش در تحلیل و پیش بینی خشکسالی‌ها باعث شده است که محققان شاخص‌های متعددی بر اساس متغیرهای بارشی تعریف و ارائه نمایند. در پژوهش حاضر، شاخص متغیرهای تاثیرگذار بارندگی (CPEI) برای بررسی خشکسالی‌های فصلی و سالانه ایران مورد استفاده قرار گرفته است. در این شیوه، برخلاف شاخص‌های کمی مورد استفاده در مطالعه خشکسالی‌ها، خروجی‌ها به صورت مدل‌های ریاضی و مقادیر کمی ارائه نمی‌شود بلکه نتایج شاخص مذکور به صورت تعداد و عناوین متغیرهای تاثیرگذار بارندگی هستند که می‌توانند در بررسی مطالعه خشکسالی در یک مکان مورد استفاده مدلسازان قرار بگیرد. در این راستا، داده‌های بارش روزانه ۴۰ ایستگاه سینوپتیک ایران طی دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۹ مورد استفاده قرار گرفت. براساس روش‌های ریاضی - آماری و مقادیر همبستگی بین متغیرها، ترکیب بهینه‌ای از متغیرهای تاثیرگذار بارندگی برای هر ایستگاه تعیین و میزان انطباق دوره‌های زمانی و مکانی با شاخص CPEI برای بررسی خشکسالی‌ها و پایش آن‌ها در ایران به دست آمد. نقشه‌های پهنه بندی براساس تناسب ایستگاه‌ها با شاخص CPEI تهیه شد. نتایج نشان داد که در بیشتر ایستگاه‌ها شاخص مذکور قابل استفاده است و از شاخص CPEI برای تعیین دوره‌های خشک فصلی و سالانه در ایران می‌توان در طراحی مدل‌ها استفاده نمود. همچنین معلوم شد که استفاده از این روش برای مطالعه خشکسالی‌های فصل بهار و سالانه مناسب‌تر از بقیه دوره‌های زمانی است. مناطق شمالی و شمالغرب، در دوره‌های سالانه و فصلی (به استثنای فصل بهار) با شاخص CPEI، هماهنگی کمتری نشان دادند.

واژگان کلیدی: خشکسالی، شاخص CPEI، متغیرهای بارش، ایران

## مقدمه

خشکسالی عارضه ای است که از کاهش غیر منتظره بارش، در مدتی معین در منطقه ای که لزوماً خشک نیست سرچشمه می‌گیرد. میزان این کاهش آن قدر است که روند عادی رشد را در منطقه مختل می‌سازد و اثرات بی‌درنگ و مضر بر کشاورزی و اثرات درازمدت بر عرضه منابع آب به جا می‌گذارد. بنابراین خشکسالی ویژگی دائمی یک منطقه نیست و در هر رژیم آب و هوایی می‌تواند اتفاق افتد (کاویانی، ۱۳۸۰). هرچند خشکسالی در هر اقلیمی اتفاق می‌افتد اما خصوصیات آن در هر منطقه تفاوت دارد (Hinsdale & Tallasse, ۲۰۰۳).

برای خشکسالی که پدیده‌ای اقلیمی است و از انواع مخاطرات جوی نامحسوس به‌شمار می‌رود، تعاریف متعددی ارائه شده است ولی به طور کلی این پدیده حاصل کمبود بارش طی یک دوره ممتد زمانی، معمولاً یک فصل یا بیشتر است. این کاهش بارش منجر به نقصان آب برای برخی فعالیت‌ها، گروه‌ها و یا یک بخش زیست محیطی می‌شود (امیدوار، ۱۳۹۰: ۷۵). تعریف خشکسالی‌ها، به‌وسیله سازمان جهانی هواشناسی<sup>۱</sup> نیز نشان می‌دهد که خشکسالی‌ها بر اساس بارندگی، ترکیب بارندگی و دما، رطوبت و یا تبخیر، رطوبت خاک و پارامتر محصول، شاخص‌های اقلیمی و برآورد تبخیر و تعرق، تعاریف و گرایش‌های عمومی طبقه بندی می‌شوند (شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۸۹).

کشف وقوع خشکسالی قبل از شروع آن خیلی دشوار است چرا که طبیعت خزنده‌ای دارد اگر چه براساس شناخت الگوی توسعه‌ای دقیق خشکسالی، در مراحل آغازین می‌تواند تعیین شود (Kim et al, ۲۰۰۸). خشکسالی پدیده‌ای جهانی و پرتکرار، مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. طولانی شدن خشکسالی در این مناطق، بر اکوسیستم‌ها، بوم‌های طبیعی و سیستم‌های اجتماعی و اقتصادی تاثیرگذار است (Touchan et al, ۲۰۰۵). مدیریت خشکسالی به شاخص‌هایی وابسته است که شرایط خشکسالی و آستانه‌هایی که واکنش‌ها را نسبت به خشکسالی فعال می‌نماید تعیین می‌کنند (Tsakiris et al, ۲۰۰۷).

شاخص‌های خشکسالی انحراف متغیرهای اقلیمی از شرایط نرمال را در فواصل زمانی (ماه، فصل و سال) بررسی می‌کنند (Paulo et al, ۲۰۱۲: ۱۴۸۲). شاخص‌های خشکسالی متعددی طی دهه‌های گذشته از طرف متخصصان، طراحی و پیشنهاد شده است و محققان براساس این شاخص‌ها، پارامترهای گوناگون خشکسالی مثل شدت، مدت، گستره و غیره را مورد بررسی قرار می‌دهند (Mishra & Singh, ۲۰۱۰). به‌دلیل پیچیده بودن خشکسالی یک شاخص نمی‌تواند تصویر کاملی از شدت و تاثیرات بالقوه آن نشان دهد (Heim, ۲۰۰۲). هر کدام از این شاخص‌ها، مانند شاخص شدت خشکسالی پالم<sup>۲</sup> شاخص خشکسالی بالم و مولی<sup>۳</sup>، شاخص بارش استاندارد شده<sup>۴</sup> و غیره، یک یا چند پارامتر خشکسالی را ارزیابی می‌کنند. هر یک از این شاخص‌ها فقط برای کاربردهای خاص در منطقه‌ی خاصی معتبرند، که علت آن متغیر بودن شرایط هواشناختی مؤثر بر ایجاد پدیده‌ی خشکسالی از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر است. ولی برای مناطقی که دارای شرایط اقلیمی یکسانی هستند، می‌توان از شاخص‌های خشکسالی یکسانی استفاده نمود (آسیایی، ۱۳۸۵). توجه به ضعف شاخص‌های رایج درپایش خشکسالی، محققان مطالعات خشکسالی را به ارائه شاخص‌های جدید برای برطرف کردن ضعف شاخص‌ها و بهبود بخشیدن به پیشرفت مطالعات خشکسالی رهنمون می‌سازد (Byun et al, ۱۹۹۹).

از آنجا که بارندگی بی‌ثبات‌ترین متغیر اقلیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود، از اهمیت زیادی برخوردار است. تغییرات بارش به‌طور مستقیم در رطوبت خاک، جریان‌های سطحی و زیرزمینی انعکاس می‌یابد. به همین دلیل، بارش

<sup>۱</sup> - World Meteorology Organization

<sup>۲</sup> - Palmer Drought Severity Index

<sup>۳</sup> - Bhalme and Mooley Drought index

<sup>۴</sup> - Standardized Precipitation Index

نخستین برداری است که می‌تواند در بررسی هر حالتی از خشکسالی، مورد توجه قرار گیرد (علیجانی و بابایی فیسی، ۱۳۹۲). بارندگی به عنوان فاکتور اصلی در ایجاد و تداوم خشکسالی نقش کنترل کننده دارد (Benjamin & Saunders, ۲۰۰۲). شاخص متغیرهای تاثیرگذار بارندگی<sup>۱</sup>، شاخصی است که اثرگذاری متغیرهای بارشی را در وقوع خشکسالی، اندازه‌گیری و شدت آن‌ها را تعیین می‌کند. به نظر می‌رسد استفاده از این شاخص که برای اولین بار در کشور نیجریه بکار گرفته شده است نتایج رضایت‌بخشی داشته است (Otin, ۲۰۱۰). نگاهی به ادبیات موضوع در متون علمی و پژوهشی نشان از تنوع مدل‌ها و روش‌های مورد استفاده برای تحلیل، پیش‌بینی و پایش این مخاطره اقلیمی دارد. ارائه مطالعات موردی در این زمینه به عنوان پیشینه موضوع صرفاً باعث اطالۀ مطلب خواهد شد لذا در اینجا برای احتراز از طولانی شدن مطلب سعی گردیده است که فقط موضوعات مرتبط با روش ارائه شده در حوزه مطالعه خشکسالی که البته به لحاظ تازگی آن چندان غنی هم نیست ارائه گردد.

مصطفی (۱۹۸۴) چهار متغیر مقدار بارش، شروع بارش، پایان بارش و طول دوره مرطوب را با توجه به اهمیت آن‌ها در مطالعه خشکسالی‌های نیجریه مورد ارزیابی قرار داد. وی خشکسالی‌های اتفاق افتاده را با تغییرات این متغیرها تطابق داده و نقش هر کدام از این متغیرها را در خشکسالی‌های نیجریه رتبه بندی نمود.

ادفولالو<sup>۲</sup> (۱۹۸۶) به مطالعه ارتباط بین متغیرهای شروع بارش، تاخیر شروع بارش و طول فصل بارش با خشکسالی-های نیجریه پرداخت. اولانیران<sup>۳</sup> و همکاران (۱۹۸۹) با بررسی ۳ متغیر شروع بارش، تاخیر شروع بارش و طول فصل بارش در دوره آماری ۱۹۸۵-۱۹۱۹، تغییرات بارشی بلند مدت در نیجریه را تحلیل نمودند.

اوتون (۲۰۰۵)، خشکسالی را با استفاده از شاخص متغیرهای تاثیرگذار بارندگی (CPEI) در منطقه ساحل آفریقا بررسی نمود. وی از آمار روزانه بارش سال‌های (۲۰۰۳-۱۹۱۶) برای ۷ ایستگاه این منطقه استفاده نمود. نتایج کار او نشان داد که با ترکیب حداکثر ۶ متغیر بارشی، مخاطره خشکسالی قابل پایش است، بدین معنی که با ترکیب ۶ متغیر بارشی، خشکسالی‌های آن منطقه با دقت بالایی قابل بررسی است. وی با بررسی ارتباط تعداد متغیرهای بارشی با خشکسالی‌های اتفاق افتاده در نیجریه به این نتیجه دست یافت که حداقل تعداد در ترکیب متغیرها برای پیش‌بینی خشکسالی با شاخص مذکور، ۳ متغیر است.

اجانگیو<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی تغییرات روند مقدار بارش و شروع بارش در کانو در کشور نیجریه برای ۸۷ سال از سال ۲۰۰۲-۱۹۱۶، به اهمیت متغیرهای بارشی توجه نمودند. آن‌ها در دوره مورد مطالعه ارتباط نوسانات مقدار بارش دریافتی با شروع بارش فصلی را با استفاده از آزمون‌های آماری بررسی نمودند.

اوتون (۲۰۱۰)، کاربرد شاخص CPEI را در تعیین خشکسالی منطقه نیمه خشک نیجریه بررسی نمود. وی از آمار روزانه بارش ۷ ایستگاه سینوپتیک، برای سالهای ۲۰۰۲-۱۹۱۸ استفاده نموده است. وی با استفاده از شاخص CPEI و مقایسه این شاخص با شاخصهای شدت خشکسالی پالمر، بالم و مولی، ناهنجاری بارش و شاخص بارش استاندارد شده در کارخود، حداقل متغیرهای لازم برای ایستگاه‌ها را مشخص کرد. متغیرهای بارشی مقدار بارش، تعداد کل روزهای مرطوب و تعداد روزهای خشک بیش‌ترین درصد فراوانی را در شاخص‌گذاری نیجریه داشتند. نتایج نشان داده است که از شاخص CPEI در مطالعه خشکسالی‌های آن منطقه می‌توان به‌خوبی استفاده نمود.

همانطوریکه در بالا نیز اشاره شد به لحاظ تازگی موضوع و روش ارائه شده، کار زیادی در این خصوص در سطح جهان و از جمله ایران صورت نگرفته است. در این مطالعه که برای اولین بار برای تحلیل خشکسالی‌ها در ایران با استفاده از شاخص

<sup>۱</sup> - Conjunctive Precipitation Effectiveness Index

<sup>۲</sup> - Adefolalu

<sup>۳</sup> - Olaniran

<sup>۴</sup> - Ojonigu

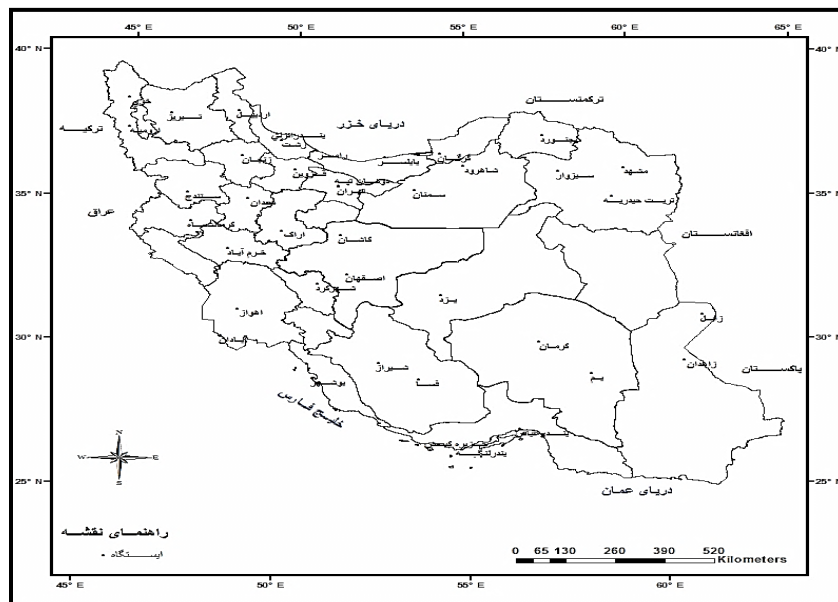
CPEI صورت می‌گیرد، سعی شده است با توجه به روش کار اوتون (۲۰۰۵)، متغیرهای تاثیرگذار بارندگی در سطح ایستگاه‌های مورد استفاده برای ایران، شناسایی و پیشنهاد گردد.

### داده‌ها و روش کار

در این مطالعه، از آمار بارش روزانه یک دوره ۳۰ ساله، از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۹ استفاده شده است. به جهت نقص کم داده‌ها، نیاز کمتری هم به بازسازی داده‌ها وجود داشت. آمار مورد استفاده در این مطالعه از بانک اطلاعاتی گروه جغرافیای دانشگاه رازی اخذ شده است. از مجموع ایستگاه‌های سینوپتیک کشور، ۴۰ ایستگاه دارای شرایط مناسب در دوره آماری ۳۰ ساله بودند. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱، و توزیع جغرافیایی آن‌ها در شکل ۱ مشاهده می‌شود. جهت آزمون همگنی داده‌ها، از روش موسوم به جرم مضاعف استفاده شده است که معمولاً برای آزمون همگنی داده‌های مربوط به بارندگی و رواناب استفاده می‌شود (فرج زاده، ۱۳۸۹: ۲۵).

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

| ردیف | ایستگاه     | عرض جغرافیایی دقیقه درجه | طول جغرافیایی دقیقه درجه | ارتفاع (متر) | ردیف | ایستگاه  | عرض جغرافیایی دقیقه درجه | طول جغرافیایی دقیقه درجه | ارتفاع (متر) |
|------|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------|------|----------|--------------------------|--------------------------|--------------|
| ۱    | آبادان      | ۳۰ ۲۲                    | ۴۸ ۱۵                    | ۶۰۶          | ۲۱   | رامسر    | ۳۶ ۵۴                    | ۵۰ ۴۰                    | ۲۰           |
| ۲    | اراک        | ۳۴ ۰۶                    | ۴۹ ۴۶                    | ۱۷۰۸         | ۲۲   | رشت      | ۳۷ ۱۲                    | ۴۹ ۳۹                    | ۳۶۷          |
| ۳    | اردبیل      | ۳۸ ۱۵                    | ۴۸ ۱۷                    | ۱۳۲۲         | ۲۳   | زابل     | ۳۱ ۰۲                    | ۶۱ ۲۹                    | ۴۸۹۲         |
| ۴    | ارومیه      | ۳۷ ۳۲                    | ۴۵ ۰۵                    | ۱۳۱۵۹        | ۲۴   | زاهدان   | ۲۹ ۲۸                    | ۶۰ ۵۲                    | ۱۳۷۰         |
| ۵    | اصفهان      | ۳۲ ۳۷                    | ۵۱ ۴۰                    | ۱۵۵۰۴        | ۲۵   | زنجان    | ۳۶ ۴۱                    | ۴۸ ۲۹                    | ۱۶۶۳         |
| ۶    | اهواز       | ۳۱ ۲۰                    | ۴۸ ۴۰                    | ۲۲۵          | ۲۶   | سبزوار   | ۳۶ ۱۲                    | ۵۷ ۴۳                    | ۹۷۷۶         |
| ۷    | بابل        | ۳۶ ۴۳                    | ۵۲ ۱۹                    | ۲۱           | ۲۷   | سمنان    | ۳۵ ۳۵                    | ۵۳ ۳۳                    | ۱۱۳۰۸        |
| ۸    | بجنورد      | ۳۷ ۲۸                    | ۵۷ ۱۹                    | ۱۰۹۱         | ۲۸   | سنندج    | ۳۵ ۲۰                    | ۴۷ ۰                     | ۱۳۷۳۴        |
| ۹    | بم          | ۲۹ ۰۶                    | ۵۸ ۲۱                    | ۱۰۶۶۹        | ۲۹   | شاهرود   | ۳۶ ۲۵                    | ۵۴ ۵۷                    | ۱۳۴۵۳        |
| ۱۰   | بندر انزلی  | ۳۷ ۲۸                    | ۴۹ ۲۸                    | ۲۶۲          | ۳۰   | شهرکرد   | ۳۲ ۱۷                    | ۵۰ ۵۱                    | ۲۰۴۸۹        |
| ۱۱   | بندر عباس   | ۲۷ ۱۳                    | ۵۶ ۲۲                    | ۹۸           | ۳۱   | شیراز    | ۲۹ ۳۲                    | ۵۲ ۳۶                    | ۱۴۸۱         |
| ۱۲   | بندر لنگه   | ۲۶ ۳۲                    | ۵۴ ۵۰                    | ۲۲۷          | ۳۲   | فسا      | ۲۸ ۵۸                    | ۵۳ ۴۱                    | ۱۲۸۸۳        |
| ۱۳   | بوشهر       | ۲۸ ۵۹                    | ۵۰ ۵۰                    | ۱۹۶          | ۳۳   | قزوین    | ۳۶ ۱۵                    | ۵۰ ۰۳                    | ۱۲۷۹۲        |
| ۱۴   | تبریز       | ۳۸ ۰۵                    | ۴۶ ۱۷                    | ۱۳۶۱         | ۳۴   | کاشان    | ۳۳ ۵۹                    | ۵۱ ۲۷                    | ۹۸۲۳         |
| ۱۵   | تربت حیدریه | ۳۵ ۱۶                    | ۵۹ ۱۳                    | ۱۴۵۰۸        | ۳۵   | کرمان    | ۳۰ ۱۵                    | ۵۶ ۵۸                    | ۱۷۵۳۸        |
| ۱۶   | تهران       | ۳۵ ۴۱                    | ۵۱ ۱۹                    | ۱۱۹۰         | ۳۶   | کرمانشاه | ۳۴ ۲۱                    | ۴۷ ۰۹                    | ۱۳۱۸۶        |
| ۱۷   | جزیره کیش   | ۲۶ ۳۰                    | ۵۳ ۵۹                    | ۳۰           | ۳۷   | گرگان    | ۳۶ ۵۱                    | ۵۴ ۱۶                    | ۱۳۲          |
| ۱۸   | خرم آباد    | ۳۳ ۲۶                    | ۴۸ ۱۷                    | ۱۱۴۷۸        | ۳۸   | مشهد     | ۳۶ ۱۶                    | ۵۹ ۳۸                    | ۹۹۹۲         |
| ۱۹   | خوی         | ۳۸ ۳۳                    | ۴۴ ۵۸                    | ۱۱۰۳         | ۳۹   | همدان    | ۳۵ ۱۲                    | ۴۸ ۴۳                    | ۱۶۷۹۳        |
| ۲۰   | دوشان تپه   | ۳۵ ۴۲                    | ۵۱ ۲۰                    | ۱۲۰۹۲        | ۴۰   | یزد      | ۳۱ ۵۴                    | ۵۴ ۱۷                    | ۱۲۲۷۲        |



شکل ۱: توزیع جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در گستره ایران

به دلیل اینکه مقادیر متغیرهای تاثیرگذار بارندگی از نظر واحدهای اندازه‌گیری متفاوت هستند؛ برای مثال مقدار میانگین ارتفاع بارش فصلی یا سالانه (Mean Annual / Seasonal Rainfall Depth) به میلیمتر و تعداد کل روزهای خشک فصل مرطوب سال (Total no of dry days within a wet season) به عدد می‌باشد، باید به یک مقدار استاندارد تبدیل می‌شدند تا محاسبه آن‌ها در فرمول شاخص CPEI به راحتی امکان‌پذیر گردد. بنابراین مقادیر استاندارد هر یک از متغیرها از آمار روزانه بارش ایستگاه‌ها استخراج و با استفاده از فرمول زیر که در صفحه گسترده Excel نوشته شده است، محاسبه شد:

رابطه ۱

$$kSV_{I,j} = \frac{kSV_{I,j} - k\bar{V}_{I,j}}{6kV_j}$$

$kSV_{I,j}$  = متغیر بارشی مورد استفاده  $I$  = سال مورد مطالعه  $j$  = فصل مورد مطالعه  $kV_{I,j}$  = میانگین متغیر بارشی مورد نظر  $6kV_j$  = انحراف معیار متغیر بارشی مورد نظر

در گام بعدی با استفاده از نرم افزار SPSS، ارتباط بین متغیرهای تعیین شده در مرحله قبل، به روش همبستگی پیرسون محاسبه شد (جدول ۲). این مرحله از کار مشخص می‌کند در ایستگاه مورد مطالعه ارتباط معنی داری بین متغیرها وجود دارد یا نه؟ ارتباط قوی بین متغیرها نشان می‌دهد که متغیرهای تعیین شده می‌توانند در مدل‌سازی مورد استفاده قرار بگیرند.

ترکیبی از حالات مختلف مقادیر استاندارد شده هر متغیر در دوره سالانه و فصلی مورد مطالعه در مدل ریاضی زیر موسوم به شاخص CPEI جای‌گذاری می‌شود که فرمول مذکور در صفحه گسترده Excel فرمول نویسی و محاسبات مربوط به آن انجام شد.

رابطه ۲

$$CPEI_{i,j} = \frac{1}{3} \left( \left[ \frac{1}{n} \sum_{m=1}^{nv} (kSV_{I,j}) \right] + \left[ \frac{1}{n} \sum_{m=1}^{nv} (kSV_{I,j})^2 \times (kSGN) \right] + \left[ \frac{1}{n} \sum_{m=1}^{nv} (kSV_{I,j})^3 \right] \right)$$

$nv$  = تعداد متغیرهای مورد نظر در هر احتمال

$kSV_{I,j}$  = مقدار متغیر بارشی مورد نظر

$kSGN$  = علامت متغیر مورد نظر به این جهت که با به توان زوج رسیدن متغیر اثر علامت از بین نرود (اوتون، ۲۰۰۵):

۷۶ و ۷۷).

- ۱-ORS: آغاز بارش فصل یا دوره که اشاره به اولین روز بارش اتفاق افتاده در فصل یا دوره مورد نظر دارد.
- ۲-CRS: خاتمه بارش فصل یا دوره که به آخرین روز بارش اتفاق افتاده در فصل یا دوره مورد نظر اشاره دارد.
- ۳-LRS: طول فصل بارش، از اختلاف یا تفاضل آغاز بارش فصل و خاتمه بارش فصل به دست می آید.
- ۴-TWD: تعداد کل روزهای مرطوب که به تعداد روزهای بارانی فصل یا دوره مورد نظر اشاره دارد.
- ۵-TDS: تعداد کل دوره‌های خشک اشاره به تعداد دوره‌های خشک و بدون بارندگی در فصل یا دوره دارد.
- ۶-TDW: تعداد کل روزهای خشک فصل مرطوب.
- ۷-TDY: تعداد کل روزهای خشک سال.
- ۸-LDS: طول فصل خشک که اشاره به فاصله بین پایان بارش سال گذشته و شروع بارش فصل جاری دارد.
- ۹-MDL: حداکثر طول مدت دوره خشک فصل مرطوب.
- ۱۰-MAR: میانگین عمق بارش فصل یا سال.

#### • انتخاب ترکیب بهینه متغیرهای تاثیرگذار در ایستگاه‌ها

انتخاب ترکیب بهینه متغیرهای تاثیرگذار بارندگی ایستگاه‌ها، بر اساس محاسبه متغیر ۱۰ یا MAR (عمق بارش فصلی) به عنوان مهمترین و حداقل متغیر خروجی شاخص برای هر ایستگاه و سپس تعیین حالات مختلفی از مقادیر استاندارد (رابطه ۱)، تعیین ترکیبات متغیرهای تاثیرگذار بارندگی در (رابطه ۲) صورت گرفته است. مقایسه مقادیر بدست آمده از این حالات با مقدار بدست آمده از متغیر ۱۰ در محیط نرم افزار SPSS با روش همبستگی پیرسون محاسبه شده است. بدین ترتیب ترکیبات مختلف به دست آمده، رتبه‌بندی شده و بهترین ترکیب در ایستگاه‌ها که هم بیشترین تعداد و هم بالاترین همبستگی (حداقل ۰/۸) را با متغیر ۱۰ داشتند، انتخاب شده‌اند. برای مثال در جدول ۳ ایستگاه زاهدان به عنوان نمونه ذکر شده است. در حقیقت رابطه ۲ متغیر ۱۰ را برای پایش خشکسالی مانند شاخص‌های خشکسالی دیگر محاسبه می‌کند، اما هدف این است متغیرهای تاثیرگذار بارندگی بیشتری در شاخص گذاری خشکسالی بدست آید.

<sup>۱</sup> - Onset of rainy season

<sup>۲</sup> - Cessation of rainy season

<sup>۳</sup> - Length of the rainy season

<sup>۴</sup> - The total no of wet days

<sup>۵</sup> - Total no of dry spell

<sup>۶</sup> - Total no of dry days within a wet season

<sup>۷</sup> - Total no of dry days within a year

<sup>۸</sup> - Length of the dry season

<sup>۹</sup> - Maximum dry spell length within a wet season

<sup>۱۰</sup> - Mean Annual / Seasonal Rainfall Depth

جدول ۲: همبستگی بین متغیرهای تاثیر گذار بارندگی سالانه در ایستگاه زاهدان

| PEV <sub>S</sub>  | ORS <sub>۱</sub> | CRS <sub>۲</sub> | LRS <sub>۳</sub> | TWD <sub>۴</sub> | TDS <sub>۵</sub> | TDW <sub>۶</sub> | TDY <sub>۷</sub> | LDS <sub>۸</sub> | MDL <sub>۹</sub> | MAR <sub>۱۰</sub> |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| ORS <sub>۱</sub>  | ۱                | -۰.۰۱۲           | -۰.۵۰۸           | -۰.۴۴۸           | -۰.۳۴۴           | ۰.۴۳۳            | ۰.۴۲۰            | ۰.۶۵۲            | -۰.۱۳۶           | -۰.۳۶۴            |
| CRS <sub>۲</sub>  | -۰.۰۱۲           | ۱                | ۰.۸۶۷            | ۰.۴۲۰            | ۰.۴۰۵            | -۰.۴۲۵           | -۰.۴۸۸           | ۰.۰۳۲            | -۰.۷۲۴           | ۰.۴۰۱             |
| LRS <sub>۳</sub>  | -۰.۵۰۸           | ۰.۸۶۷            | ۱                | ۰.۵۸۵            | ۰.۵۲۰            | -۰.۵۸۲           | -۰.۶۳            | ۰.۲۹۷            | -۰.۵۵۶           | ۰.۵۲۷             |
| TWD <sub>۴</sub>  | -۰.۴۴۸           | ۰.۴۲۰            | ۰.۵۸۵            | ۱                | ۰.۵۱۱            | -۰.۹۹۹           | -۰.۹۹۲           | -۰.۴۴۰           | -۰.۳۴۸           | ۰.۸۰۶             |
| TDS <sub>۵</sub>  | -۰.۳۴۴           | ۰.۴۰۵            | ۰.۵۲۰            | ۰.۵۱۱            | ۱                | -۰.۵۱۴           | -۰.۵۱۳           | -۰.۱۰۱           | -۰.۰۶            | ۰.۴۸۰             |
| TDW <sub>۶</sub>  | ۰.۴۳۳            | -۰.۴۲۵           | -۰.۵۸۲           | -۰.۹۹۹           | -۰.۵۱۴           | ۱                | ۰.۹۹۴            | ۰.۴۲۴            | ۰.۳۵۳            | -۰.۸۰۲            |
| TDY <sub>۷</sub>  | ۰.۴۲۰            | -۰.۴۸۸           | -۰.۶۳            | -۰.۹۹۲           | -۰.۵۱۳           | ۰.۹۹۴            | ۱                | ۰.۴۳۸            | ۰.۴۱۶            | -۰.۷۹۵            |
| LDS <sub>۸</sub>  | ۰.۶۵۲            | -۰.۰۳۲           | -۰.۲۹۷           | -۰.۴۴۰           | -۰.۱۰۱           | ۰.۴۲۴            | ۰.۴۳۸            | ۱                | ۰.۰۱۷            | -۰.۲۸۳            |
| MDL <sub>۹</sub>  | -۰.۱۳۶           | -۰.۷۲۴           | -۰.۵۵۶           | -۰.۳۸۴           | -۰.۰۶            | ۰.۳۵۳            | ۰.۴۱۶            | ۰.۰۱۷            | ۱                | -۰.۲۳۶            |
| MAR <sub>۱۰</sub> | -۰.۳۶۴           | -۰.۴۰۱           | ۰.۵۲۷            | ۰.۸۰۶            | ۰.۴۸۰            | -۰.۸۰۲           | -۰.۷۹۵           | -۰.۲۸۳           | -۰.۲۳۶           | ۱                 |

جدول ۳: انتخاب ترکیب بهینه متغیرهای تاثیر گذار بارندگی سالانه در ایستگاه زاهدان

| ردیف | نمونه حالت‌های مختلف از متغیرهای تاثیر گذار بارندگی | مقدار همبستگی با متغیر ۱۰ |
|------|---|---------------------------|
| ۱    | ۱۰،۴  | ۰.۹۲۵                     |
| ۲    | ۱۰،۹،۴،۱  | ۰.۸۰۵                     |
| ۳    | ۱۰،۸،۷،۴،۳  | ۰.۷۸۲                     |
| ۴    | ۱۰،۸،۶،۴،۳،۱  | ۰.۷۰۳                     |
| ۵    | ۱۰،۷،۴  | ۰.۹۹۵                     |
| ۶    | ۱۰،۹،۸،۷،۶،۵،۴،۳،۲،۱                                | ۰.۵۱۶                     |
| ۷    | ۱۰،۷،۴،۳،۱  | ۰.۸۸۶                     |
| ۸    | ۱۰،۶،۴،۱  | ۰.۸۳۳                     |
| ۹    | ۱۰،۸،۶،۴،۳،۱  | ۰.۷۰۳                     |
| ۱۰   | ۱۰،۹،۷،۵،۴،۱  | ۰.۶۲۴                     |
| ۱۱   | ۱۰،۸،۴،۳،۱  | ۰.۷۹۲                     |

در نهایت، خشکسالی‌های فصلی و سالانه ایران، بر مبنای مطابقت و تناسب ایستگاهها با شاخص CPEI با روش IDW در نرم افزار ArcGIS پهنه‌بندی شده است.

### شرح و تفسیر نتایج

#### • تعیین ترکیب متغیرهای اثر گذار بارندگی برای ایستگاهها

هدف از شاخص گذاری CPEI، معرفی متغیرهای موثر بارشی<sup>۱</sup> در خشکسالی است (اوتون، ۲۰۰۵). در این قسمت سعی شده است بر اساس روش مذکور، برای هر ایستگاهی متغیرهای بارشی متعددی مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت اثر گذارترین متغیرهای بارشی (PEVs) برای مطالعه خشکسالی در هر ایستگاه و منطقه پیشنهاد گردد. در این قسمت از کار،

<sup>۱</sup>. Precipitation Effectiveness Variables

براساس رابطه ۲، متغیرهای حاصل از بررسی برای هر ایستگاه طی فصول سال (به جز تابستان) و همچنین سالانه در جداول ۴ تا ۷ ارائه شده است.

جدول ۴: ترکیب متغیرهای استخراج شده برای ایستگاه‌ها در فصل زمستان

| ردیف | ایستگاه     | PEV <sub>S</sub>        | ردیف | ایستگاه  | PEV <sub>S</sub>                  |
|------|-------------|-------------------------|------|----------|-----------------------------------|
| ۱    | آبادان      | MAR                     | ۲۱   | رامسر    | MAR, TDS                          |
| ۲    | اراک        | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS | ۲۲   | رشت      | MAR                               |
| ۳    | اردبیل      | MAR                     | ۲۳   | زابل     | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS           |
| ۴    | ارومیه      | MAR                     | ۲۴   | زاهدان   | TWD, MDL, MAR                     |
| ۵    | اصفهان      | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS | ۲۵   | زنجان    | MAR, TDS                          |
| ۶    | اهواز       | TDS, MDL, MAR           | ۲۶   | سبزوار   | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS           |
| ۷    | بابلسر      | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS | ۲۷   | سمنان    | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS           |
| ۸    | بجنورد      | MAR, TWD, LRS, TDY, CRS | ۲۸   | سنندج    | MAR, TWD, LRS, TDY, CRS           |
| ۹    | بم          | MAR, CRS, MDL, TWD      | ۲۹   | شاهرود   | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS           |
| ۱۰   | بندر انزلی  | MAR                     | ۳۰   | شهرکرد   | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS           |
| ۱۱   | بندر عباس   | TWD, MDL, MAR           | ۳۱   | شیراز    | MAR                               |
| ۱۲   | بندر لنگه   | TWD, MDL, MAR           | ۳۲   | فسا      | MAR                               |
| ۱۳   | بوشهر       | MAR, TDS                | ۳۳   | قزوین    | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS           |
| ۱۴   | تبریز       | MAR, TDS                | ۳۴   | کاشان    | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS           |
| ۱۵   | تربت حیدریه | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS | ۳۵   | کرمان    | MAR, TDS                          |
| ۱۶   | تهران       | MAR, CRS, MDL, TWD      | ۳۶   | کرمانشاه | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS           |
| ۱۷   | جزیره کیش   | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS | ۳۷   | گرگان    | MAR                               |
| ۱۸   | خرم آباد    | MAR, TDS                | ۳۸   | مشهد     | MAR, MDL, TDY, TDS, LRS, TWD, ORS |
| ۱۹   | خوی         | MAR                     | ۳۹   | همدان    | MAR, TDS                          |
| ۲۰   | دوشان تپه   | MAR, TDS                | ۴۰   | یزد      | ORS, TWD, MAR                     |

جدول ۵: ترکیب متغیرهای استخراج شده برای ایستگاه‌ها در فصل بهار

| ردیف | ایستگاه     | PEV <sub>s</sub>                       | ردیف | ایستگاه  | PEV <sub>s</sub>        |
|------|-------------|--|------|----------|-------------------------|
| ۱    | آبادان      | MAR, CRS, MDL, TWD                     | ۲۱   | رامسر    | TWD, MDL, MAR           |
| ۲    | اراک        | MAR, CRS, MDL, TWD                     | ۲۲   | رشت      | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS |
| ۳    | اردبیل      | MAR, CRS, MDL, TWD                     | ۲۳   | زابل     | MAR                     |
| ۴    | ارومیه      | MAR, CRS, MDL, TWD                     | ۲۴   | زاهدان   | MAR, CRS, MDL, TWD      |
| ۵    | اصفهان      | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS                | ۲۵   | زنجان    | MAR, CRS, MDL, TWD      |
| ۶    | اهواز       | MAR, CRS, MDL, TWD                     | ۲۶   | سبزوار   | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS |
| ۷    | بابلسر      | CRS, TWD, MAR                          | ۲۷   | سمنان    | LRS, TDS, MDL, MAR      |
| ۸    | بجنورد      | MAR, CRS, MDL, TWD                     | ۲۸   | سنندج    | MAR, CRS, MDL, TWD      |
| ۹    | بیم         | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS                | ۲۹   | شاهرود   | MAR, CRS, MDL, TWD      |
| ۱۰   | بندر انزلی  | MAR, CRS, MDL, TWD                     | ۳۰   | شهرکرد   | TDS, MDL, MAR           |
| ۱۱   | بندر عباس   | MAR, MDL, TDY, TDS, TWD, LRS, CRS, ORS | ۳۱   | شیراز    | MAR, CRS, MDL, TWD      |
| ۱۲   | بندر لنگه   | TDS, MDL, MAR                          | ۳۲   | فسا      | MAR, TDS                |
| ۱۳   | بوشهر       | CRS, MDL, MAR                          | ۳۳   | قزوین    | MAR, CRS, MDL, TWD      |
| ۱۴   | تبریز       | MAR, CRS, MDL, TWD                     | ۳۴   | کاشان    | MAR, CRS, MDL, TWD      |
| ۱۵   | تربت حیدریه | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS                | ۳۵   | کرمان    | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS |
| ۱۶   | تهران       | MAR, CRS, MDL, TWD                     | ۳۶   | کرمانشاه | MAR, CRS, MDL, TWD      |
| ۱۷   | جزیره کیش   | MAR, ORS, TDS, MDL                     | ۳۷   | گرگان    | TWD, MDL, MAR           |
| ۱۸   | خرم آباد    | TWD, MDL, MAR                          | ۳۸   | مشهد     | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS |
| ۱۹   | خوی         | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS                | ۳۹   | همدان    | TWD, MDL, MAR           |
| ۲۰   | دوشان تپه   | MAR, CRS, MDL, TWD                     | ۴۰   | یزد      | MAR, LRS, MDL, TDY, TDS |

جدول ۶: ترکیب متغیرهای استخراج شده برای ایستگاه‌ها در فصل پاییز

| ردیف | ایستگاه     | PEV <sub>s</sub>        | ردیف | ایستگاه  | PEV <sub>s</sub>                  |
|------|-------------|-------------------------|------|----------|-----------------------------------|
| ۱    | آبادان      | MAR, ORS, LRS           | ۲۱   | رامسر    | MAR                               |
| ۲    | اراک        | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS | ۲۲   | رشت      | TWD, MDL, MAR                     |
| ۳    | اردبیل      | MAR, TWD                | ۲۳   | زابل     | MAR, ORS, TDS, MDL                |
| ۴    | ارومیه      | MAR, TDS                | ۲۴   | زاهدان   | MAR, MDL, TDY, TDS, LRS, TWD, ORS |
| ۵    | اصفهان      | MAR, TDS                | ۲۵   | زنجان    | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS           |
| ۶    | اهواز       | MAR, TWD, LRS, CRS, ORS | ۲۶   | سبزوار   | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS           |
| ۷    | بابلسر      | MAR                     | ۲۷   | سمنان    | TDS, MDL, MAR                     |
| ۸    | بجنورد      | MAR, LRS, TDS, TDY, ORS | ۲۸   | سنندج    | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS           |
| ۹    | بیم         | MAR, TWD, LRS, CRS, ORS | ۲۹   | شاهرود   | MAR                               |
| ۱۰   | بندر انزلی  | MAR                     | ۳۰   | شهرکرد   | MAR, TDS                          |
| ۱۱   | بندر عباس   | TWD, MDL, MAR           | ۳۱   | شیراز    | LRS, MDL, MAR                     |
| ۱۲   | بندر لنگه   | MAR, TWD, LRS, CRS, ORS | ۳۲   | فسا      | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS           |
| ۱۳   | بوشهر       | CRS, LRS, MAR           | ۳۳   | قزوین    | TWD, MDL, MAR                     |
| ۱۴   | تبریز       | ORS, LRS, MAR           | ۳۴   | کاشان    | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS           |
| ۱۵   | تربت حیدریه | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS | ۳۵   | کرمان    | MAR, MDL, TDY, TDS, LRS, TWD, ORS |
| ۱۶   | تهران       | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS | ۳۶   | کرمانشاه | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS           |
| ۱۷   | جزیره کیش   | MAR, LRS, CRS, ORS      | ۳۷   | گرگان    | MAR                               |
| ۱۸   | خرم آباد    | MAR, TDS                | ۳۸   | مشهد     | MAR, TWD, LRS, TDY, CRS           |
| ۱۹   | خوی         | ORS, TWD, MAR           | ۳۹   | همدان    | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS           |
| ۲۰   | دوشان تپه   | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS | ۴۰   | یزد      | MAR, TWD, LRS, TDY, CRS           |

جدول ۷: ترکیب متغیرهای استخراج شده برای ایستگاه‌ها در فصل سالانه

| ردیف | ایستگاه     | PEV <sub>S</sub>             | ردیف | ایستگاه  | PEV <sub>S</sub>             |
|------|-------------|------------------------------|------|----------|------------------------------|
| ۱    | آبادان      | MAR, TDY, TWD                | ۲۱   | رامسر    | MAR, TWD                     |
| ۲    | اراک        | MAR, TDY, TWD                | ۲۲   | رشت      | MAR, TDY, TWD                |
| ۳    | اردبیل      | MAR, TDY, TWD                | ۲۳   | زابل     | MAR, TDY, TWD                |
| ۴    | ارومیه      | MAR, TDY, TWD                | ۲۴   | زاهدان   | TWD, TDY, MAR                |
| ۵    | اصفهان      | MAR, CRS, MDL                | ۲۵   | زنجان    | MAR, TDY, TWD                |
| ۶    | اهواز       | MAR, TDY, TWD                | ۲۶   | سبزوار   | TDS, TDY, MAR                |
| ۷    | بابلسر      | MAR                          | ۲۷   | سمنان    | MAR, TDY, TWD                |
| ۸    | بجنورد      | MAR, TDY, TWD                | ۲۸   | سندج     | MAR, MDL, LDS, TDS, TWD, ORS |
| ۹    | بم          | MAR, TDY, TWD                | ۲۹   | شاهرود   | MAR, TWD                     |
| ۱۰   | بندر انزلی  | MAR                          | ۳۰   | شهرکرد   | MAR, TDY, TWD                |
| ۱۱   | بندر عباس   | MAR, TDY, TWD                | ۳۱   | شیراز    | MAR, TDY, TWD                |
| ۱۲   | بندر لنگه   | TWD, LDS, MAR                | ۳۲   | فسا      | MAR, TDY, TWD                |
| ۱۳   | بوشهر       | MAR, TDY, TWD                | ۳۳   | قزوین    | TWD, LDS, MAR                |
| ۱۴   | تبریز       | MAR, TDY, TWD                | ۳۴   | کاشان    | MAR, MDL, TWD, ORS           |
| ۱۵   | تربت حیدریه | CRS, TWD, MAR                | ۳۵   | کرمان    | MAR, TWD, TDY, LRS, CRS, TDS |
| ۱۶   | تهران       | MAR, MDL, LDS, TDS, TWD, ORS | ۳۶   | کرمانشاه | MAR, LDS, TWD, LRS, ORS      |
| ۱۷   | جزیره کیش   | MAR, LRS, CRS, ORS           | ۳۷   | گرگان    | MAR, TWD                     |
| ۱۸   | خرم آباد    | MAR, LDS, TDS, TWD, LRS, ORS | ۳۸   | مشهد     | MAR, TDY, TWD                |
| ۱۹   | خوی         | ORS, TWD, TDS, MAR           | ۳۹   | همدان    | MAR, TDY, TWD                |
| ۲۰   | دوشان تپه   | MAR, TDY, TWD                | ۴۰   | یزد      | MAR, TDY, TDS, LRS, ORS, LDS |

همان‌طوریکه در جداول ۲ تا ۵ مشاهده می‌شود، در همه ایستگاه‌ها مقدار بارش، متغیر ثابت است و در همه ترکیبات حضور داشت و این اهمیت مقدار بارش را در همه شاخص‌ها و از جمله این شاخص نشان می‌دهد. برای تعیین تاثیرگذارترین متغیرها بعد از مقدار بارش در هر ایستگاه، در نرم افزار SPSS فراوانی هر کدام از متغیرها در دوره‌های زمانی مورد مطالعه محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۶ نشان داده شده است. مقادیر فراوانی متغیرها نشان می‌دهد تفاوت فاحشی بین درصد حضور متغیرها وجود ندارد و متغیرهای MAR، MDL، TDY و TDS به ترتیب بیش‌ترین فراوانی را در دوره‌های مختلف داشته است. همچنین متغیر LDS در دوره سالانه از متغیرهای مهم بوده است که با ۶۶/۷ درصد مشخص شده است.

جدول ۸: درصد اهمیت متغیرهای بارشی موثر در دوره‌های زمانی مختلف

| PEV <sub>S</sub> | ORS | CRS  | LRS  | TWD  | TDS  | TDY  | LDS  | MDL  | MAR |
|------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| زمستان           | ۱.۵ | ۴.۶  | ۱۶.۹ | ۳۳.۸ | ۵۱.۵ | ۶۳.۸ | ۰    | ۶۹.۲ | ۱۰۰ |
| بهار             | ۱.۳ | ۱۳.۸ | ۲۰.۶ | ۴۰.۶ | ۵۰   | ۵۶.۳ | ۰    | ۷۵   | ۱۰۰ |
| پاییز            | ۷.۴ | ۱۲.۱ | ۲۸.۲ | ۴۳.۶ | ۵۷   | ۶۷.۸ | ۰    | ۷۳.۲ | ۱۰۰ |
| تابستان          | ۴.۵ | ۱۸.۲ | ۲۷.۳ | ۵۰   | ۵۴.۵ | ۵۹.۱ | ۰    | ۷۲.۷ | ۱۰۰ |
| سالانه           | ۵.۳ | ۷.۶  | ۱۰.۸ | ۳۷.۱ | ۴۲.۴ | ۶۱.۴ | ۶۶.۷ | ۶۹.۷ | ۱۰۰ |

### • تطبیق نتایج شاخص CPEI در دوره‌های زمانی مختلف برای ایران

برای شناسایی و تعیین ایستگاه‌های مناسب و یا نامناسب براساس کارایی شاخص تشخیص CPEI طی دوره‌های زمانی مثلاً فصول و یا سالانه، بنا بر نظر اوتون (۲۰۰۵: ۸)، آستانه سه متغیر در نظر گرفته شد. به این ترتیب که اگر در فصلی یا یک دوره ای یک ایستگاه با کمتر از ۳ متغیر تاثیرگذار بارشی مشخص شده باشد به این معنی است که شاخص CPEI برای آن ایستگاه در آن دوره زمانی مناسب نخواهد بود. جدول ۷ نتایج این بررسی را برای فصول مختلف بر اساس تعداد ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. لازم به ذکر است با توجه به این نکته که تابستان به جز در موارد محدود و در تعداد معدودی از ایستگاه‌های کشور (در معدود ایستگاه‌های مورد استفاده از شمال کشور) فصل خشک و یا کاملاً خشک می‌باشد، مثل موارد قبلی مورد بررسی قرار نگرفتند.

جدول ۹: رتبه‌بندی دوره‌های زمانی از نظر تناسب شاخص CPEI برای بررسی خشکسالی‌ها

| رتبه | دوره‌ها | تعداد ایستگاه‌های مناسب | درصد |
|------|---------|-------------------------|------|
| ۱    | بهار    | ۳۸                      | ۹۵   |
| ۲    | سالانه  | ۳۵                      | ۸۷/۵ |
| ۳    | پاییز   | ۳۰                      | ۷۵   |
| ۴    | زمستان  | ۲۳                      | ۵۷   |

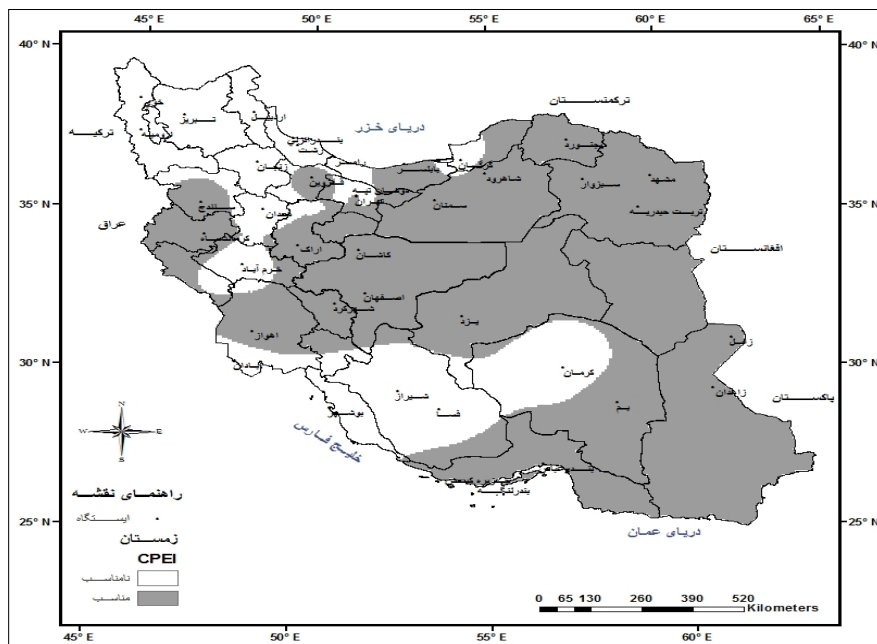
بنا بر این براساس تحلیل فوق الذکر و نتایج جدول ۷، به دلیل بالا بودن تعداد ایستگاه‌های نامناسب، می‌توان گفت که شاخص CPEI برای فصول زمستان و پاییز نسبت به بقیه دوره‌ها از اعتبار کمتری برخوردار است. استفاده از این شاخص برای بررسی خشکسالی‌های فصل بهار و دوره سالانه در مجموع مناسب‌تر خواهد بود.

### • تحلیل زمانی نتایج شاخص CPEI

بر مبنای کفایت و یا عدم کفایت تعداد متغیرهای موثر بارشی که به معنای اعتبار شاخص مورد استفاده در یک زمان برای یک مکان معین نیز است، با استفاده از نرم افزار ArcGIS و با روش درونیایی IDW، اقدام به پهنه‌بندی کشور گردید. نتایج پهنه‌بندی برای دوره‌های زمانی مورد مطالعه در اشکال ۲ تا ۵ ارائه شده است

#### الف) فصل زمستان

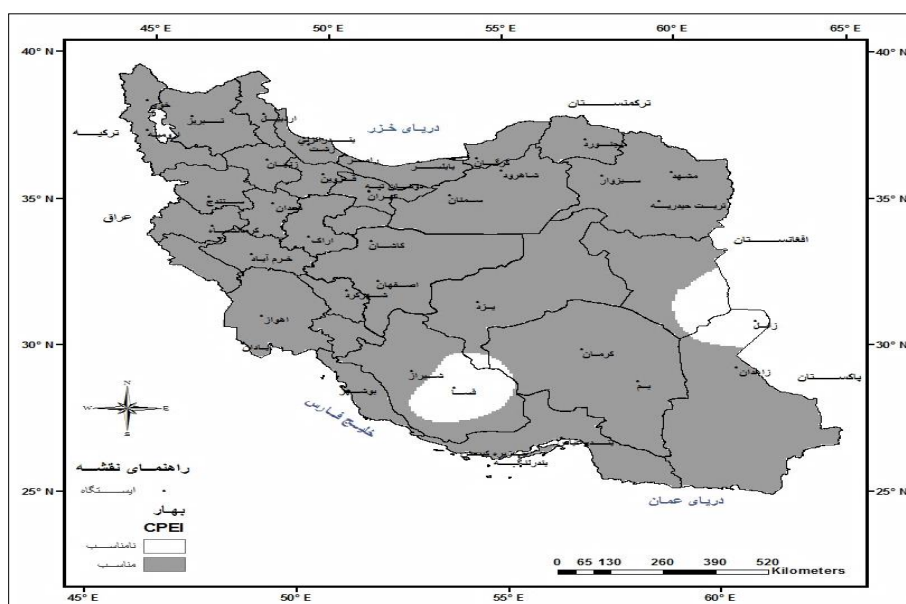
زمستان، فصل بارانی در اغلب ایستگاه‌های کشور است. تغییرات میزان بارش دریافتی در این فصل می‌تواند تعیین کننده وضعیت آبی طی دوره موردنظر در ایستگاه‌ها باشد. با اینکه در این فصل مقدار بارش تمامی ایستگاه‌ها به حداکثر می‌رسد، روابط بین متغیرها بیشتر از دوره‌های دیگر کاهش می‌یابد. مناسب بودن ایستگاه بدین معنی است که حداقل ۳ متغیر در شاخص CPEI برای پایش خشکسالی حضور داشته باشد و روابط بین متغیرها معنی‌دار باشد. در ایستگاه‌های مناسب، مقادیر همبستگی به هم نزدیک و بالاتر از ایستگاه‌های نامناسب است. تمام ایستگاه‌های شمالغرب و شمال کشور به غیر از بابلسر، قسمتهایی از مناطق غرب و جنوبغرب کشور برای ارزیابی با این شاخص نامناسب است که بیشتر از سایر فصول، با شاخص CPEI ناهماهنگی نشان می‌دهد.



شکل ۲: پهنه بندی ایران در فصل زمستان براساس میزان تناسب و یا عدم تناسب با شاخص CPEI

(ب) فصل بهار

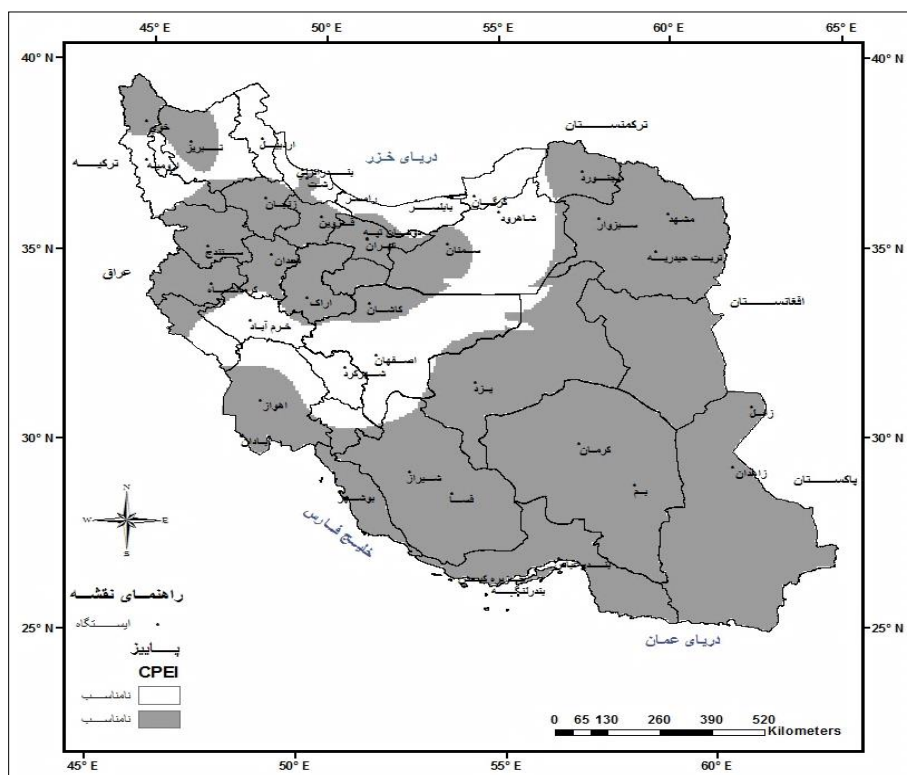
فصل بهار سومین فصل پر بارش کشور بعد از فصول پاییز و زمستان است (به استثناء مناطق شمالی و شمالغرب کشور). در این فصل همانطور که شکل ۳ نشان می‌دهد، بیشتر مناطق کشور برای ارزیابی با شاخص CPEI مناسب هستند. در این فصل به غیر از ۲ ایستگاه زابل و فسا همه ایستگاه‌ها (۹۵ درصد از ایستگاه‌ها) یا نزدیک به تمامی مناطق کشور برای پایش خشکسالی با شاخص یاد شده مناسب هستند. نکته قابل توجه این است که در این فصل در ایستگاه بندرعباس همه متغیرهای موثر بارشی مورد مطالعه در دوره فصلی در ترکیب شاخص CPEI حضور داشتند.



شکل ۳: پهنه بندی ایران در فصل بهار براساس میزان تناسب و یا عدم تناسب با شاخص CPEI

## ج) فصل پاییز

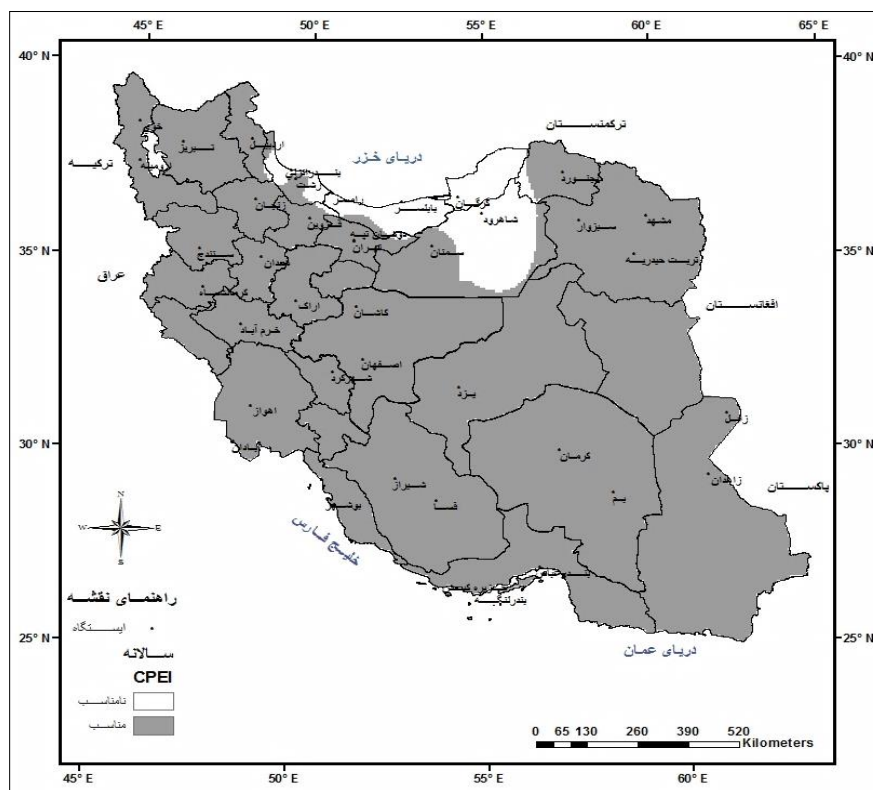
پاییز همزمان با شروع سال آبی در کشور می‌باشد که بارش همه ایستگاه‌ها در این فصل همزمان با ورود سیستم‌های سینوپتیک آغاز می‌شود. در این فصل نیز مانند زمستان ایستگاه‌های واقع در شمال و بیشتر ایستگاه‌های شمالغرب کشور نامناسب ارزیابی شدند (شکل ۴). ایستگاه‌های شاهرود، اصفهان، شهرکرد و خرم‌آباد نیز در فصل پاییز با شاخص CPEI تناسب نداشتند که به صورت باریکه‌ای از شمالشرق تا قسمت‌های میانی و غرب کشور کشیده شده است. در مجموع این فصل با ۳۰ ایستگاه مناسب (۷۵ درصد ایستگاه‌ها) در رتبه سوم در میان ۴ دوره قرار گرفت. نکته قابل توجه در این دوره این است که متغیر شروع بارش در فصل پاییز بالاترین درصد فراوانی را بین دوره‌های مختلف نشان می‌دهد (جدول ۶).



شکل ۴: پهنه بندی ایران در فصل پاییز براساس میزان تناسب و یا عدم تناسب با شاخص CPEI

## د) دوره سالانه

در دوره سالانه که طولانی‌ترین دوره ارزیابی شاخص CPEI در این مطالعه نیز هست، همانند فصل بهار اکثر نقاط کشور هماهنگی قابل توجهی با این شاخص داشتند. همانند فصول زمستان و پاییز، ایستگاه‌های شمالی برای شاخص‌گذاری با شاخص مذکور نامناسب بودند (شکل ۵). در این دوره تعداد و ترکیب بیشتر ایستگاه‌ها شباهت زیادی با هم داشتند که نشان می‌دهد با طولانی شدن دوره، متغیرهای بارشی یکسانی در بین مناطق مختلف در وقوع و شدت خشکسالی نقش دارند. شکل ۵ نشان می‌دهد که ایستگاه‌های واقع در شمال کشور و ایستگاه شاهرود که ۵ ایستگاه را شامل می‌شوند نامناسب هستند. در مجموع در دوره سالانه ۸۷/۵ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه مناسب ارزیابی شدند که در رتبه دوم تناسب با شاخص CPEI قرار می‌گیرد.



شکل ۵: پهنه بندی ایران در دوره سالانه براساس میزان تناسب یا عدم تناسب با شاخص CPEI

#### ه) فصل تابستان

به دلیل کم بودن تعداد ایستگاه‌های دارای بارندگی در فصل تابستان، نتایج مربوط به این دوره، جداگانه در این قسمت بیان شده است. گرچه تعداد ایستگاهها کم بود، اما محاسبات نشان داد که این فصل نیز برای ارزیابی خشکسالی با شاخص CPEI نامناسب نیست (جدول ۸). در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه در این فصل، ایستگاه رشت با یک متغیر بارشی، نامناسب می‌باشد. ایستگاه‌های رامسر و گرگان با بیش‌ترین تعداد متغیرها در شاخص CPEI، در بین ایستگاه‌های شمالی تعیین شدند. ایستگاه زاهدان در جنوبشرق کشور که دارای بارش تابستانی است نیز با ۴ متغیر برای شاخص‌گذاری با شاخص مذکور مناسب می‌باشد. در فصل تابستان متغیرهای عمق بارش (MAR)، حداکثر مدت دوره خشک (MDL)، تعداد روزهای خشک (TDY)، تعداد دوره‌های خشک (TDS) و تعداد روزهای مرطوب (TWD)، بالاترین فراوانی را در ترکیب شاخص CPEI در ایستگاه‌ها داشتند.

جدول ۱۰: ترکیب شاخص CPEI در ایستگاه‌های سینوپتیک ایران طی فصل تابستان

| ردیف | ایستگاه    | PEV <sub>s</sub>        |
|------|------------|-------------------------|
| ۱    | بندر انزلی | TWD, MDL, MAR           |
| ۲    | بابلسر     | MAR, CRS, MDL, TWD      |
| ۳    | رامسر      | MAR, TDY, TDS, TWD, LRS |
| ۴    | رشت        | MAR                     |
| ۵    | زاهدان     | MAR, CRS, MDL, TWD      |
| ۶    | گرگان      | MAR, TWD, LRS, CRS, ORS |

## نتیجه‌گیری

هدف از شاخص‌گذاری یا شاخص‌سازی خشکسالی، کمی‌سازی شرایط وقوع و یا طبقه‌بندی ویژگی‌های آن است. شاخص CPEI برای اولین بار در کشور نیجریه و با هدف شاخص‌گذاری خشکسالی در مناطق نیمه‌خشک طراحی شده است (اوتون، ۲۰۱۰). نتایج مطالعات در شرایط آب‌وهوایی مشابه ایران نشان داده است که این شاخص قابلیت تعیین متغیرهای مناسب بارشی برای تحلیل و مطالعه خشکسالی‌های فصلی و سالانه را دارد. نتایج این مطالعه نیز نشان داد که شباهت فراوانی بین ترکیب متغیرها در این مطالعات وجود دارد. به نظر می‌رسد برای مناطق نیمه‌خشک و حتی خشک ایران در مورد این شاخص نتایج قابل قبولی می‌نماید و بالعکس در نقاط پر بارش کشور این شاخص تناسب کمتری نشان می‌دهد. در کل می‌توان گفت در مناطقی که شاخص CPEI نامناسب ارزیابی شده است، مطالعه دیگر شاخص‌ها مناسب‌تر می‌باشد و شاخص‌هایی مثل شاخص ناهنجاری بارندگی (RAI) و شاخص استاندارد شده بارش (SPI) با دخالت دادن متغیر مقدار بارش که در شاخص CPEI نیز متغیر ثابت ترکیب متغیرهای بارشی در کل ایستگاه‌ها در همه دوره‌های مورد مطالعه بود، مناسب‌تر می‌باشد، چرا که این شاخص نتوانسته است در این مناطق ارتباط منطقی بین متغیرهای بارشی بیشتری را کشف نماید. این موضوع به نوعی در کار سبزی‌پرور و کاظمی (۱۳۸۹) که اظهار داشته‌اند شاخص RAI و برخی دیگر از شاخص‌های خشکسالی در مطالعه خشکسالی‌های منطقه نیمه‌خشک سرد نتایج بهتری ارائه می‌نماید، نیز مورد توجه قرار گرفته است.

## منابع

- آسیایی، مهدی (۱۳۸۵) پایش خشکسالی در مشهد با استفاده از شاخص خشکسالی پالم، *جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای*، شماره ۷ هفتم، صص ۱۸۶-۱۶۷.
- امیدوار، کمال (۱۳۹۰)، مخاطرات طبیعی، انتشارات دانشگاه یزد، یزد.
- سبزی‌پرور، علی‌اکبر و کاظمی، آزاده (۱۳۸۹)، ارزیابی تطبیقی هفت نمایه خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای، *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، شماره ۱، صص ۹۷-۱۱۱.
- شمسی‌پور، علی‌اکبر، علوی‌پناه، سید کاظم، و محمدی، حسین (۱۳۸۹)، بررسی کارایی شاخص‌های گیاهی و حرارتی ماهواره NOAA-AVHRR در تحلیل خشکسالی منطقه کاشان، *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، شماره ۳، صص ۴۴۵-۴۶۵.
- علیجانی، بهلول و بابایی فینی، ام‌السلمه (۱۳۹۲)، تحلیل فضایی خشکسالی‌های بلندمدت ایران، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، سال ۴۵، شماره ۳، صص ۱-۱۲.
- فرج زاده، منوچهر (۱۳۸۹)، *تکنیک‌های اقلیم‌شناسی*، انتشارات سمت، تهران.
- کاویانی، محمدرضا (۱۳۸۰)، بررسی اقلیمی شاخص‌های خشکی و خشکسالی، *تحقیقات جغرافیایی*، دانشگاه اصفهان، شماره ۱۶، صص ۷۱-۸۹.

Adefolalu, D.O. (۱۹۸۶), "Further Aspects of Sahelian Drought as Evident From Rainfall regime of Nigeria", *Arch. Met. Geophys. Bioclim.* ۳۶: ۲۷۷-۲۹۵.

Benjamin, L. H & Saunders, M. A., (۲۰۰۲) "A Drought Climatology for Europe", *Int. J. Climatol.* ۲۲: ۱۰۷۱-۱۰۹۲.

Byun, H. R., Wilhite, D. A. (۱۹۹۹) "Objective Quantification of Drought Severity and Duration", *Journal of Climate.* ۱۲: ۲۷۴۷-۲۷۵۶.

Heim JR, R.R. (۲۰۰۲) "A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States", *American Meteorological Society*, ۸۳: ۱۱۴۹-۱۱۶۵.

Hisdal, H. & Tallaksen L. M. (۲۰۰۳) "Drought Event Definition" Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe, *Technical Report*. ۶: p ۴۱.

- Ojonigu F. Ati.Sedu Q. Muhammed and Ati, Maeyam. H. (۲۰۰۸), "Variations and Trends in Annual Rainfall Amounts and the Onset of the Rainy Season for Kano for ۸۷ Yaers (۱۹۱۶-۲۰۰۲)" *Journal of Applied Sciences Research*. ۱۲: ۱۹۵۹-۱۹۶۲.
- Olaniran O.J., & summer, G.N.(۱۹۸۹)" A Study of Climatic Variability in Nigeria Based on the Onset, Retreat and Length of the Rainy Season", *Int. J. Climatol*. ۹: ۲۵۳-۲۶۹.
- Otun, J.A.(۲۰۰۵), "Analysis and Quantification of Drought Using Meteorological Indices in The Sudano –Sahel region of Nigeria", Unpublished PhD Thesis, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria, pp۲۳۲.
- Otun, J.A.(۲۰۱۰), "Using precipitation effectiveness variables in indexing Drought in semi-arid regions", *African Journal of Agricultural Research*. ۵: ۱۷۸۴-۱۷۹۳.
- Kim, D. W., Byun, H.R, & Choi, K.S.(۲۰۰۹)"Evaluation, Modification, and Application of the Effective Drought Index to ۲۰۰-Year Drought Climatology of Seoul, Korea", *Journal of Hydrology*. ۳۷۸: ۱-۱۲.
- Mishra, A. K. & Singh, V. P.(۲۰۱۰), "A Review of Drought Concepts", *Journal of Hydrology*. ۳۹۱: ۲۰۲-۲۱۶.
- Mustapha, S.(۱۹۸۴), "Statistical Characteristics of Droughts in Nigeria", Proceedings of inter-departmental seminar papers, December ۱۹۸۴, (ed. by Abatan A.O. and Jarosz J.J), Faculty of Engineering, Ahmadu Bello University, Zaria. ۲: ۲۰۹ – ۲۲۶.
- Paulo, A. A., Rosa R. D., & Pereira L. S.(۲۰۱۲) "Climate Trends and Behaviour of and Drought Indices Based on Precipitation Evapotranspiration in Portugal", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, ۱۲: ۱۴۸۱-۱۴۹۱.
- Touchan, R., Funkhouser, G., Hughes, M., & Erkan, N.(۲۰۰۵) "Standardized Precipitation Index Reconstructed From Turkish Tree-Ring Widths", *Climatic Change*, ۷۲: ۳۳۹-۳۵۳.
- Tsakiris, A., Loukas, A., Pangalou, D., Vangelis, H., Tigkas, D., Rossi G. & Cancelliere, A.(۲۰۰۷) "Drought characterization", Drought management guidelines technical annex. Zaragoza, (Option s Méditerran éen n es : *Série B.Etu des et Rech erch es*. ۵۸: ۸۵-۱۰۲.