

ارزیابی تطبیقی هفت نمایه خشک سالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه ای

علی اکبر سبزی پرور^۱
آزاده کاظمی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۰/۱۶

این مطالعه با هدف مقایسه چند بعدی هفت نمایه خشک سالی هواشناسی و با استفاده از آمار بارندگی یک دوره آبی ۳۵ ساله (۱۳۴۶-۱۳۴۵ تا ۱۳۷۹-۱۳۸۰) در ۲۲ ایستگاه استان همدان انجام یافته است. نمایه‌های خشک سالی مورد بررسی عبارتند از: نمایه دهک ها (DI)؛ نمایه درصد نرمال بارندگی (PNPI)؛ نمایه معیار استاندارد Z (Z)؛ نمایه ناهنجاری بارش (RAI)؛ نمایه بارش استاندارد شده (SPI)؛ نمایه Z چینی (CZI) و نمایه Z چینی تعدیل یافته (MCZI). پس از محاسبه نمایه های خشک سالی فوق در مقیاس زمانی مورد نظر، نتایج براساس معیارهای شباهت توالی سال های خشک، نرمال و تر با استفاده از روش تحلیل خوشه ای (Cluster analysis) و همبستگی آماری بین نمایه‌ها، دسته بندی و مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی‌ها از دیدگاه تحلیل خوشه‌ای نشان داد که سنجه‌های RAI، Z و DI از نظر آماری مشابه بوده و در ارزیابی های خشک سالی نیز در شرایط اقلیمی سرد نیمه خشک استان همدان به نتایج نسبتاً مشابهی ختم می شوند. در ارزیابی روابط همبستگی نیز، نمایه‌های زوج شده SPI-RAI، Z-PNPI، RAI-Z، RAI-PNPI، Z-PNPI و CZI در اغلب ایستگاه های استان در سطح اطمینان مطلوبی ($p < 0.05$) رابطه همبستگی بالا ($R^2 > 0.95$) با یکدیگر از خود نشان دادند، ولی در تحلیل خوشه ای فقط نمایه های RAI، Z و DI در یک گروه قرار گرفتند. محاسبات نشان داد که نتایج معیارهای RAI، Z و DI از لحاظ توصیف وضعیت خشک سالی بسیار به هم نزدیک می باشند. بر این اساس، معیارهای ناهنجاری بارش (RAI)، Z و

۱- دانشیار، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده کشاورزی.

۲- کارشناس ارشد رشته آبیاری، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده کشاورزی* (مسئول مکاتبات)

۳- استادیار، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده کشاورزی

۴- استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور

۵- دانشجوی دکتری، دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی

دهک ها (DI) به ترتیب به عنوان بهترین سنجها جهت ارزیابی خشک سالی هواشناسی در شرایط اقلیمی سرد نیمه خشک شناخته شدند. نتایج حاصل از معیارهای منتخب نشان داد که در سال های ۴۶-۴۷، ۵۵-۵۶، ۶۲-۶۳، ۶۷-۶۸، ۶۹-۷۰، ۷۵-۷۶ و ۷۷-۷۸ خشک سالی های شدید در اغلب نقاط استان اتفاق افتاده است. این نتایج با شواهد واقعی رخ داده (افت شدید عملکرد محصولات کشاورزی، کاهش سطح آب های زیر زمینی و کاهش دبی رودخانه های استان) مطابقت خوبی نشان داد. علی رغم استفاده همه گیر نمایه SPI در پایش خشک سالی های کشور، در این مطالعه شاخص SPI جهت ارزیابی خشک سالی های هواشناسی در شرایط اقلیمی سرد نیمه خشک مناسب تشخیص داده نشد.

واژه های کلیدی: خشک سالی هواشناسی، نمایه های خشک سالی، تحلیل خوشه ای، اقلیم سرد نیمه خشک.

مقدمه

بحران های سیاسی، اجتماعی و اقتصادی را در کشور فراهم نماید.

Gibbs and Maher (۲)، برای اجتناب از بعضی نقاط ضعف روش درصد از نرمال، از روش دهک ها (DI) برای بررسی خشک سالی های تاریخی در استرالیا استفاده نمودند. Mckee و همکاران (۳)، عملاً از سال ۱۹۹۴ از شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) برای پایش خشک سالی در سرتاسر ایالت کلرادو استفاده نمودند. Bordi و همکاران (۴)، جهت بررسی شرایط خشک سالی در ایتالیا نیز از شاخص بارش استاندارد شده استفاده نمودند. خلیلی (۵) و (۶)، در بررسی های مربوط به مطالعه روند طبیعی خشک سالی ها و ترسالی های ایران شاخص معیار بارندگی سالانه (SIAP)^۲ را پیشنهاد و بر شبکه ای مرکب از ۱۲۰۰ ایستگاه به تفکیک حوضه های آبریز کشور اعمال نموده است. سبزی پرور (۷) روند خشک سالی استان همدان را با استفاده از آمار ۲۰ ساله هواشناسی (بارندگی) در سطح ۱۷ ایستگاه بررسی نمود. مرادی و خیراندیش (۸)، مطابقت الگوهای سینوپتیکی را با شرایط ترسالی و خشک سالی در ایران بررسی نمودند.

قطره سامانی (۹)، از شاخص دهک ها (DI) برای بررسی روند خشک سالی (بر اساس آمار بارندگی ۱۱ ایستگاه هواشناسی) در استان چهار محال و بختیاری استفاده نمود. حسنی ها و صالحی (۱۰)، از چهار شاخص درصد از بارندگی میانگین، شاخص انحراف معیار، شاخص کلاس بندی بارندگی و

گردش عمومی جو از لحاظ زمانی و مکانی از الگوی مشخصی پیروی می کند. با وجود این، تغییرات شدید برخی پارامترها سبب ناهنجاری در این الگوها گردیده و نهایتاً عناصر جوی مانند بارندگی، دما، رطوبت و غیره را دچار دگرگونی می سازد. یکی از پیامدهای این تغییرات وقوع خشک سالی در یک منطقه است. اگرچه ویژگی های خشک سالی از مکانی به مکان دیگر فرق می کند، اما همه نواحی اقلیمی کم و بیش این پدیده را تجربه می نمایند. خشک سالی، برخلاف خشکی، پدیده ای موقتی و زودگذر است و می تواند توسط انحراف از شرایط نرمال بیان شود. سازمان هواشناسی جهانی^۱ (۱۹۷۵) متغیرهای مورد استفاده در تعریف خشک سالی را (حسب اولویت) به صورت زیر ارائه نموده است:

الف- بارندگی

ب- رطوبت خاک و متغیرهای عملکرد محصول

ج- شاخص های آب و هوایی جهت برآورد تبخیر و تعرق

د- تعاریف و اظهارات کلی دیگر.

بر اساس تقسیم بندی فوق ملاحظه می شود که بارندگی یکی از مهم ترین و عمده ترین متغیرهایی است که از آن می توان در ارزیابی خشک سالی استفاده نمود. کشور ایران به لحاظ موقعیت جغرافیایی خاص خود نسبت به گردش عمومی جو و خصوصیات توپوگرافی خود در کمربند اقلیمی خشک جهان قرار گرفته است. پیامد های منفی وقوع خشک سالی در چنین مناطقی به حدی است که می تواند موجبات

2- SIAP: Standard Index of Annual Precipitation

1- WMO: World Meteorological Organization

نیمه خشک به طور همزمان بررسی نشده اند، مورد ارزیابی قرار می دهد.

در این تحقیق فرض شده که خشک سالی های هواشناسی حادث شده تحت تاثیر نوسانات الگوهای زمانی (temporal) و مکانی (spatial) مقادیر بارش قرار دارند، و تغییرات عمده در این الگوها به دنبال خود نمایه های مورد مطالعه را تحت تاثیر قرار می دهند.

روش بررسی

الف- منطقه مورد مطالعه و داده ها

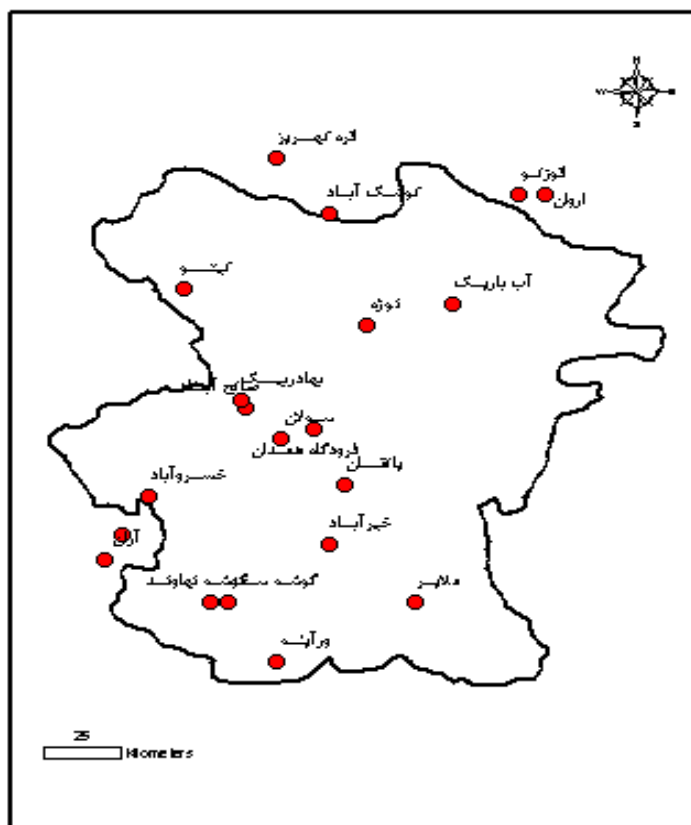
منطقه مورد مطالعه (استان همدان) در یک ناحیه کوهستانی در غرب کشور در حد فاصل عرض جغرافیایی $33^{\circ} 59'$ تا $35^{\circ} 48'$ شمالی و طول جغرافیایی $47^{\circ} 43'$ تا $49^{\circ} 36'$ شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است (شکل ۱). اقلیم اغلب نواحی استان همدان با توجه به طبقه بندی های معتبر اقلیمی، سرد نیمه خشک و سرد خشک (جدول ۱) ارزیابی شده است (۷). عوامل اصلی شکل دهنده اقلیم استان شامل: ارتفاع، عرض جغرافیایی، منابع رطوبتی، توده های هوا و سامانه های بزرگ مقیاس جوی است. در کنار این عوامل، عوامل طبیعی دیگری نظیر پوشش گیاهی، ژئومورفولوژی کوهستان ها و فعالیت های کشاورزی و صنعتی ممکن است در مقیاس محلی اقلیم استان را تحت تاثیر قرار دهند.

در بررسی حاضر، به منظور مطالعه نمایه های خشک سالی در استان همدان از آمار ۳۵ ساله بارندگی ۲۲ ایستگاه مستقر در استان و استان های مجاور که دارای کیفیت آماری مناسبی بودند، استفاده گردید. همان طوری که در جدول ۱ ملاحظه می شود، ۳ ایستگاه سینوپتیک و یک ایستگاه کلیماتولوژی تحت نظارت سازمان هواشناسی کشور و بقیه ایستگاه ها که شامل ایستگاه های تبخیرسنجی و باران سنجی هستند توسط وزارت نیرو کنترل می شوند. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه را در پهنه بندی استان همدان نشان می دهد.

شاخص توزیع استاندارد برای بررسی وضعیت خشک سالی در استان زنجان استفاده نمودند. بذرافشان و همکاران، (۱۱) به منظور تحلیل منطقه ای منابع آب استان کردستان از روش بارندگی مؤثر استفاده نمودند.

سبزی پرور (۱۲) با استفاده از نمایه های خشک سالی SPI و PNPI نتیجه گرفت که در طول دوره آماری ۲۷ ساله شدیدترین خشک سالی استان همدان در سال ۷۸-۷۷ به وقوع پیوسته است. مقدسی و همکاران (۱۳) با استفاده از شاخص خشک سالی مؤثر (EDI) که از مقیاس زمانی روزانه برخوردار است، خشک سالی های استان تهران را به طور نقطه ای و مکانی مورد ارزیابی و پایش قرار دادند. فراوانی و گستره خشک سالی های حوضه کارون نیز به کمک شاخص استاندارد بارش (SPI) با یک دوره آماری ۲۸ ساله در سه مقیاس زمانی ۳، ۶، و ۱۲ ماهه توسط محسنی ساروی و همکاران (۱۴) بررسی شد. همچنین با استفاده از آستانه های بارش، در یک دوره اقلیمی ۳۲ ساله، خشک سالی های هواشناسی استان اصفهان توسط یزدانی و همکاران (۱۵) مورد ارزیابی قرار گرفت. سمعی و همکاران (۱۶) با به کار گیری داده های هیدرولوژیکی، بارندگی و زمین شناسی، فراوانی شدت خشک سالی های هیدرولوژیکی ۱۲ زیر حوضه استان تهران را به صورت منطقه ای تجزیه و تحلیل نمودند. سلطانی و مدرس (۱۷) نیز مطالعات مشابهی در این زمینه در استان اصفهان انجام دادند.

در سایر استان های کشور، خشک سالی با تعداد معدودی از نمایه ها و بدون استفاده از روش تحلیل خوشه ای مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این که در مطالعات انجام یافته تا کنون، نمایه های ارزیابی شده معدود، طول دوره بررسی کوتاه تر (با مبنای سال میلادی) و بندرت از تحلیل خوشه ای جهت دسته بندی نتایج استفاده شده است، این مطالعه با به کار گیری یک دوره آماری نسبتاً طولانی (۳۵ ساله) و بر مبنای سال آبی، هفت نمایه RAI، DI، PNPI، SPI، Z، CZI، MCZI را که تاکنون در اقلیم های سرد



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه در استان همدان.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه های تحت مطالعه در استان همدان.

ردیف	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	نوع اقلیم بر اساس روش دومارتن*	نوع ایستگاه
۱	فرودگاه همدان	۳۴-۵۱	۴۸-۳۲	۱۷۴۹	سرد نیمه خشک	سینوپتیک
۲	صالح آباد	۳۴-۵۵	۴۸-۲۰	۱۷۷۰	سرد خشک	باران سنجی
۳	نوژه	۳۵-۱۲	۴۸-۴۱	۱۶۸۰	سرد خشک	سینوپتیک
۴	بهادر بیگ	۳۴-۵۷	۴۸-۱۹	۱۷۹۰	سرد خشک	باران سنجی
۵	کوشک آباد	۳۵-۰۲	۴۸-۳۴	۱۷۰۰	سرد نیمه خشک	باران سنجی
۶	اروان	۳۵-۳۸	۴۹-۱۲	۱۷۵۰	سرد نیمه خشک	باران سنجی
۷	آب باریک	۳۵-۱۶	۴۸-۵۶	۱۷۴۹	سرد نیمه خشک	باران سنجی
۸	قره کهریز	۳۵-۴۵	۴۸-۲۵	۱۷۴۰	سرد نیمه خشک	باران سنجی
۹	قوزلو	۳۵-۳۸	۴۹-۰۷	۲۰۰۰	سرد نیمه خشک	باران سنجی
۱۰	سولان	۳۴-۴۹	۴۸-۲۶	۲۱۰۰	سرد نیمه خشک	باران سنجی
۱۱	یالفان	۳۴-۴۰	۴۸-۳۷	۱۹۸۰	سرد نیمه خشک	باران سنجی
۱۲	کیتو	۳۵-۱۹	۴۸-۰۹	۲۱۰۰	سرد نیمه خشک	باران سنجی
۱۳	کنگاور	۳۴-۳۰	۴۷-۵۸	۱۴۶۰	سرد نیمه خشک	سینوپتیک
۱۴	گوشه نهانند	۳۴-۱۷	۴۸-۱۴	۱۵۲۰	سرد نیمه خشک	کلیماتولوژی
۱۵	ملایر	۳۴-۱۷	۴۸-۴۹	۱۷۴۰	سرد خشک	سینوپتیک
۱۶	آران	۳۴-۲۵	۴۷-۵۵	۱۴۴۰	سرد نیمه خشک	باران سنجی

باران سنجی	سرد نیمه خشک	۱۲۷۵	۴۷-۲۵	۳۴-۲۰	پل چهر	۱۷
باران سنجی	سرد نیمه خشک	۱۵۳۰	۴۸-۰۳	۳۴-۳۸	خسروآباد	۱۸
باران سنجی	سرد نیمه خشک	۱۷۴۰	۴۸-۳۴	۳۴-۲۸	خیرآباد	۱۹
باران سنجی	سرد نیمه خشک	۱۵۲۰	۴۸-۱۷	۳۴-۱۷	گوشه سعد	۲۰
باران سنجی	سرد نیمه خشک	۱۸۰۰	۴۸-۲۵	۳۴-۰۵	ورآینه	۲۱
باران سنجی	سرد نیمه خشک	۱۵۸۰	۴۷-۲۹	۳۴-۴۴	برجعلی	۲۲

* (مرجع ۷)

ب- نمایه‌های مورد مطالعه

در این مطالعه، به منظور ارزیابی سنجه‌ها یا نمایه‌های خشک سالی در استان همدان، هفت نمایه خشک سالی با مبنای بارندگی انتخاب شد. اساس نمایه‌های خشک سالی غالباً بر مبنای سنجش انحراف مقادیر بارندگی از میانگین درازمدت طی یک دوره زمانی معین استوار است. ویژگی‌های عمومی این نمایه‌ها در جدول ۲ ارایه شده است.

در این تحقیق، جهت محاسبه نمایه های CZI ، Z و $MCZI$ از نرم افزار DIP (۱۸) استفاده شد. ضمناً تحلیل های خوشه ای با به کار گیری نرم افزار STATISTICA انجام گرفت. سایر محاسبات نیز توسط نرم افزار اکسل انجام یافت.

جدول ۲- ویژگی های عمومی شاخص های خشک سالی هواشناسی.

نام شاخص	پارامتر مورد استفاده	واحد زمانی ارزیابی
PNPI	بارندگی	ماهانه و سالانه
DI	بارندگی	ماهانه
Z	بارندگی	ماهانه
RAI	بارندگی	ماهانه
SPI	بارندگی	۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه
CZI	بارندگی	ماهانه
MCZI	بارندگی	ماهانه

۱- شاخص درصد نرمال بارندگی^۱ (PNPI)

درصد نرمال بارندگی یکی از ساده‌ترین سنجه‌های خشک سالی در یک مکان است. تجزیه و تحلیل‌های درصد نرمال بارندگی به هنگام استفاده از آنها برای بررسی خشک سالی یا ترسالی در یک مکان یا فصل معین بسیار مؤثر است. این شاخص از تقسیم بارندگی بر بارندگی نرمال و ضرب آن در عدد ۱۰۰ به دست می‌آید:

$$PNPI = \frac{P_i}{P} \times 100 \quad (1)$$

۲- شاخص دهک های بارندگی^۲ (DI)

مرتب نمودن داده‌های بارندگی ماهانه در دهک‌ها، تکنیک دیگری برای پایش خشک سالی است. شاخص دهک‌ها اولین بار توسط Gibbs and Maher (۲) برای اجتناب از بعضی نقاط ضعف روش درصد نرمال بارندگی بکار گرفته شد. اصول کلی در محاسبه دهک‌ها به صورت زیر است:

۱- مرتب نمودن داده‌های بارندگی ماهانه به صورت

صعودی.

۲- تعیین دامنه دهکی با استفاده از رابطه

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

۳- که، m_i : دهک i ام، i : شماره دهک و n : تعداد داده-های بارندگی است.

۴- برآورد مقادیر بارندگی مربوط به هر دهک (حد-انتهایی).

۵- تعیین سال های آماری که در دهک های مختلف قرار گرفته اند.

۳- شاخص معیار Z یا ZI

مراحل محاسبه این شاخص به صورت زیر می باشد:

۱- مرتب نمودن سری زمانی داده های بارندگی به صورت صعودی.

۲- تعیین میانگین و انحراف استاندارد سری زمانی داده ها.

۳- تعیین شاخص معیار Z یا ZI برای هر یک از دوره های آماری با استفاده از رابطه زیر:

$$ZSI = \frac{Pi - \bar{P}}{SD} \quad (2)$$

۴- شاخص ناهنجاری بارندگی $(RAI)^2$

شاخص ناهنجاری بارندگی توسط Rooy (۱۹) ارائه شد. اساس شاخص ناهنجاری بارندگی، محاسبه انحراف مقادیر بارندگی از نرمال می باشد. مراحل محاسبه این شاخص به صورت زیر است:

۱- محاسبه میانگین درازمدت بارندگی در ایستگاه های مورد نظر (\bar{P}).

۲- استخراج میانگین ۱۰ مورد از بزرگ ترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی (\bar{m}).

۳- استخراج میانگین ۱۰ مورد از کمترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی (\bar{x}).

۴- مقایسه داده های بارندگی (P) با میانگین درازمدت بارندگی. چنانچه $P > \bar{P}$ یا ناهنجاری، مثبت باشد شاخص ناهنجاری بارندگی از رابطه زیر محاسبه می شود:

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

۵- و اگر $P < \bar{P}$ یا ناهنجاری منفی باشد شاخص ناهنجاری بارندگی به صورت زیر خواهد بود:

$$RAI = -3 \left[\frac{(p - \bar{p})}{(x - \bar{p})} \right] \quad (4)$$

۶- نسبت دادن آستانه های +۳ و -۳ به ترتیب به میانگین ۱۰ مورد از شدیدترین ناهنجاری های مثبت و منفی به دست آمده از شاخص ناهنجاری بارندگی.

۷- نهایتاً، با مقیاس گذاری روی مقادیر حاصل از شاخص ناهنجاری بارندگی، نه طبقه ناهنجاری با دامنه ای از شرایط تر بسیار شدید تا خشک سالی بسیار شدید تعیین می شود.

۵- شاخص بارندگی استاندارد شده $(SPI)^2$

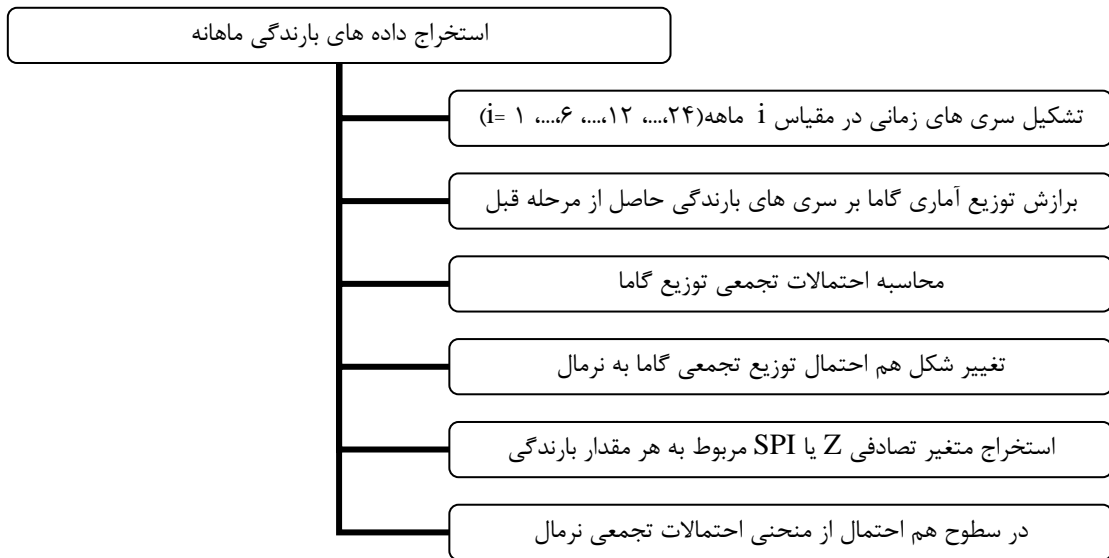
Mckee و همکاران (۳) شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) را به منظور تعریف و پایش خشک سالی توسعه دادند. ویژگی SPI این امکان را به تحلیلگر می دهد تا پدیده نادر خشک سالی و همچنین ترسالی را در یک مقیاس زمانی معین و برای هر نقطه ای از دنیا مشخص نماید. آن ها ابتدا از این شاخص برای مقیاس های ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه استفاده نمودند. اساس شاخص بارندگی استاندارد شده بر محاسبه احتمالات بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است. از دید کلی، شیوه محاسبه SPI در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به این شکل پس از استخراج داده های بارندگی در مقیاس ماهانه طی یک دوره آماری (ترجیحاً ۳۰ سال یا بیشتر) لازم است تا سری زمانی بارندگی در مقیاس دلخواه تشکیل شود. مساله اصلی در

1- Z-Score Index

2- RAI: Rainfall Anomaly Index

1- SPI: the Standardization Precipitation Index

این جا برازش یک توزیع آماری مناسب بر سری زمانی موردنظر می‌باشد.



شکل ۲- مراحل کلی محاسبه SPI.

۶- شاخص Z چینی^۱ (CZI)

تفاوت این شاخص با شاخص‌های دیگر این است که، از توزیع پیرسون تیپ ۳ تبعیت می‌نماید. مراحل محاسبه شاخص به شرح زیر است:

۱- سری داده‌های مجموع بارندگی در طی دوره آماری موردنظر در ایستگاه مربوط در نظر گرفته می‌شود.

۲- میانگین، انحراف استاندارد و ضریب چولگی داده‌ها محاسبه می‌شود.

۳- داده‌های بارندگی با استفاده از

$$\text{رابطه } ZSI = \frac{Pi - \bar{P}}{SD} \text{ استاندارد می‌شود.}$$

۴- و بالاخره، شاخص Z چینی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$CZI = \frac{6}{Cs} \left[\left(\frac{Cs}{2} + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{6}{Cs} + \frac{Cs}{6} \right] \quad (5)$$

که C_s همان ضریب چولگی است.

۷- شاخص Z چینی تعدیل یافته (MCZI)^۲

مراحل محاسبه مانند شاخص Z چینی می‌باشد. فقط به جای میانگین در این شاخص از میانه استفاده می‌شود.

توالی سال های خشک، نرمال و تر

در مطالعه حاضر، به منظور مقایسه سنجه‌های خشک سالی از نظر توالی سال های خشک، نرمال و تر از تکنیک آنالیز خوشه‌ای^۳ استفاده می‌شود. هدف از به کارگیری آنالیز خوشه-ای، گروه‌بندی متغیرهای یک ماتریس داده به روشی است که ویژگی متغیرها در داخل یک گروه تا حد امکان یکنواخت ولی بین بقیه گروه‌ها تا حدودی متضاد باشد (۲۰).

مراحل گروه‌بندی سنجه‌های خشک سالی را می‌توان به صورت زیر فهرست نمود:

الف- تبدیل ماتریس کیفی داده‌های حاصل از سنجه‌های خشک سالی به ماتریس کمی با انتساب عدد ۱ به سال های خشک،

2- Modified Chinese Z - Index

3- Cluster Analysis

1- China Z- Index

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

مقدار ضریب همبستگی بین +۱ تا -۱ نوسان می‌کند.

بحث و نتیجه‌گیری

الف- تحلیل همبستگی آماری زوج شاخص‌ها

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه زوج شاخص‌های PNPI، Z-PNPI، RAI-Z، RAI-CZI، SPI ضریب همبستگی بسیار بالایی با یکدیگر دارند (جدول ۳). در حالی که بقیه زوج شاخص‌ها یا رابطه همبستگی ضعیفی دارند و یا در جهت معکوس با یکدیگر رابطه همبستگی دارند. نتایج به دست آمده از شاخص‌های منتخب RAI، Z و DI نشان دادند که در سال‌های آبی ۴۷-۴۶، ۵۶-۵۵، ۶۳-۶۲، ۶۸-۶۷، ۷۰-۶۹، ۷۶-۷۵ و ۷۸-۷۷ خشک سالی‌های شدیدی در این استان اتفاق افتاده است. به طور نمونه نتایج ضرایب همبستگی آماری برای سنجه‌های خشک سالی هواشناسی در ایستگاه‌های ورآینه و کوشک آباد در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است.

عدد ۲ به سال‌های نرمال و عدد ۳ به سال‌های تر طی دوره آماری مورد نظر. در این حالت ماتریس داده‌های به دست آمده از سنجه‌های خشک سالی به ماتریس کمی تبدیل می‌شود.

ب- تعیین ماتریس فاصله با استفاده از سنجه فاصله اقلیدسی. فاصله اقلیدسی ($D_{Euc.x,y}$) برای هر یک از جفت سنجه‌ها (y و x) و با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$D_{Euc.x,y} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (6)$$

که $i = 1$ دوره آماری است.

ج- گروه‌بندی سنجه‌های خشک سالی با استفاده از روش Ward Method. روش وارد عمومی‌ترین روش گروه‌بندی طبقاتی است که فواصل داخل یک گروه را به حداقل می‌رساند. این روش گروه‌های کوچک و واضحی به شکل Hyperspheric تولید می‌نماید.

ضریب همبستگی بین شاخص‌ها

برای بررسی ارتباط بین زوج شاخص‌های خشک سالی از ضریب همبستگی استفاده گردید. ضریب همبستگی (r) بین زوج شاخص‌های x و y از رابطه زیر محاسبه گردید:

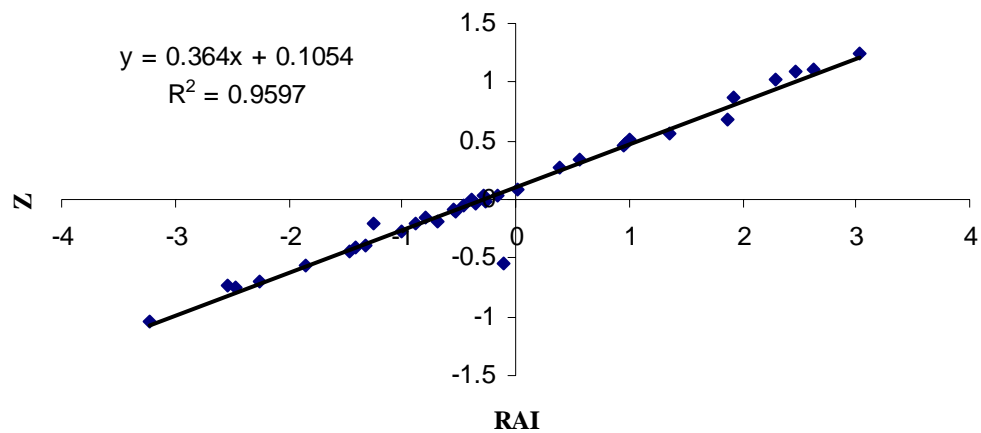
جدول ۳- نتایج ضرایب تعیین (R^2) برای سنجه‌های خشک سالی هواشناسی در طول دوره آماری ۳۵ ساله (ایستگاه ورآینه).

MCZI	CZI	SPI	RAI	Z	PNPI	نماینه
۰/۰۱	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۹۸	۱	۱	PNPI
۰/۰۱	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۹۷	۱	۱	Z
۰/۰۱	۰/۵۳	۰/۵۳	۱	۰/۹۷	۰/۹۸	RAI
۰/۰۲	۱	۱	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۵۲	SPI
۰/۰۲	۱	۱	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۵۲	CZI
۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	MCZI

جدول ۴- نتایج ضرایب تعیین (R^2) برای سنجه‌های خشک سالی هواشناسی در طول دوره آماری ۳۵ ساله (ایستگاه کوشک آباد).

نمایه	PNPI	Z	RAI	SPI	CZI	MCZI
PNPI	۱	۱	۰/۹۹	۰/۶۸	۰/۶۹	۰/۰۲
Z	۱	۱	۰/۹۹	۰/۶۸	۰/۶۹	۰/۰۲
RAI	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۰/۶۹	۰/۷	۰/۰۲
SPI	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۹	۱	۰/۹۹	۰/۰۲
CZI	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۷	۰/۹۹	۱	۰/۰۲
MCZI	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۱

همچنین، به عنوان نمونه رابطه همبستگی دو شاخص ناهنجاری بارش (RAI) و معیار Z در شکل (۳) نشان داده شده است. به دلیل حجم زیاد جداول و شکل‌ها از ارایه بقیه شکل‌ها و جداول در مقاله خودداری شد.



شکل ۳- همبستگی خطی شاخص ناهنجاری بارش (RAI) با شاخص معیار استاندارد Z در طول دوره آماری در کل ایستگاه‌های استان.

حجم زیاد آن‌ها، اطلاعات ایستگاه سولان به عنوان نمونه ارایه می‌شود (جدول ۵).

همچنین روابط همبستگی یک‌متغیره و دو متغیره برای تمامی ایستگاه‌های (۲۲ ایستگاه) استان تعیین گردید که به دلیل

جدول ۵ - روابط همبستگی یک متغیره و دومتغیره شاخص‌ها در ایستگاه سولان در طول دوره آماری ۳۵ ساله.

یک متغیره	دومتغیره	R^2 یک متغیره	R^2 دومتغیره
$PNPI=۰/۰۳Z-۳/۸$	$PNPI=۲۵/۵Z+۰/۳RAI+۱۰۰$	۱	۱
$PNPI=۰/۰۹RAI-۹/۲$	$PNPI=۲۶/۲Z-۰/۰۱SPI+۱۰۰$	۰/۹۹	۱
$PNPI=-۰/۰۲SPI-۲/۱$	$PNPI=۲۶/۲Z-۰/۰۱CZI+۱۰۰$	۰/۳۴	۱
$PNPI=۰/۰۲CZI-۲/۰۸$	$PNPI=۲۶/۲Z+۰/۰۹MCZI+۱۰۰$	۰/۳۵	۱
$Z=۲/۳RAI-۰/۱۶$	$Z=۰/۴۱RAI-۰/۰۰۹SPI+۰/۰۶$	۰/۹۹	۰/۹۹
$Z=۰/۵SPI-۰/۰۰۱$	$Z=۰/۴۱RAI-۰/۰۰۱CZI+۰/۰۶$	۰/۳۴	۰/۹۹
$Z=۰/۵CZI+۰/۰۰۳$	$Z=۰/۴۱RAI-۰/۰۲MCZI+۰/۰۴$	۰/۳۵	۰/۹۹
$RAI=۰/۲۳SPI+۰/۰۳$	$RAI=-۲۷/۴SPI+۲۹/۵CZI-۰/۳$	۰/۳۵	۰/۳۳
$RAI=۰/۲۳CZI+۰/۰۴$	$RAI=۱/۶SPI+۲/۵۷MCZI+۲/۳۶$	۰/۳۵	۰/۳۹
$SPI=۰/۹۷CZI+۰/۰۰۴$	$SPI=۱/۰۲CZI+۰/۰۰۱MCZI-۰/۰۰۳$	۰/۹۹	۱

ب- تحلیل خوشه ای بین شاخص‌ها (آنالیز کلاستر)

همان گونه که قبلا بیان شد، به منظور مقایسه سنجه‌های خشک سالی از نظر شباهت توالی سال‌های خشک، نرمال و تر از تکنیک آنالیز خوشه‌ای استفاده گردید. نتایج این آنالیز که به تفکیک برای

۱- خشک سالی‌های بسیار شدید

۲- خشک سالی‌های شدید

۳- خشک سالی‌های متوسط

انجام یافته به صورت زیر خلاصه می‌گردد:

خشک سالی‌های بسیار شدید (شکل ۴):

با توجه به شکل، فاصله ادغام گروه‌بندی سنجه‌های خشک سالی بسیار شدید در مرحله چهار (شکل ۴-ب)، تفاوت معنی‌داری با مرحله قبلی داشته و بنابراین انتخاب تعداد بهینه کلاسترها در حد فاصل مرحله سوم و چهارم گروه‌بندی امکان پذیر است. بر اساس دندوگرام مربوطه (شکل ۴-الف) و در فاصله ادغام بینابینی مرحله سه و مرحله چهار گروه‌بندی، پنج خوشه را می‌توان متمایز نمود:

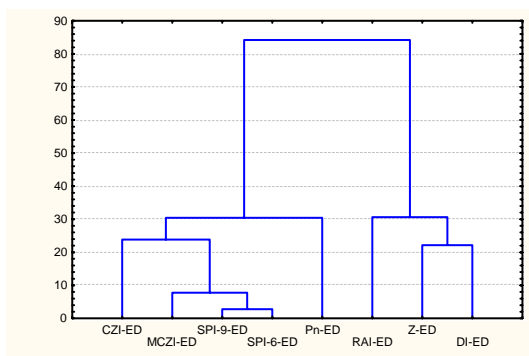
Cluster 1: DI, Z

Cluster 2: RAI

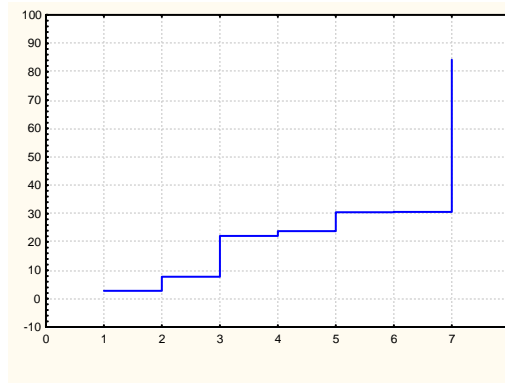
Cluster 3: PNPI

Cluster 4: SPI-6, SPI-9, MCZI

Cluster 5: CZI



(الف)



(ب)

شکل ۴- دندوگرام (الف)، و پلات فواصل ادغام گروه ها (ب)، برای خشک سالی های بسیار شدید (ED: Extreme Drought) در کل ایستگاه های استان در طول دوره آماری ۳۵ ساله.

۱- خشک سالی های شدید (شکل ۵):

Cluster 1: DI, RAI

Cluster 2: Z

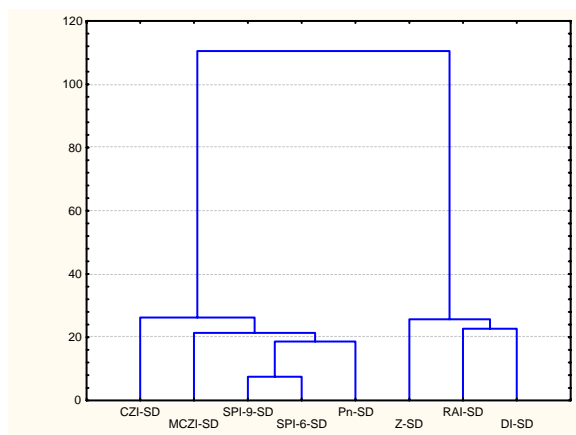
Cluster 3: PNPI

Cluster 4: SPI-6, SPI-9

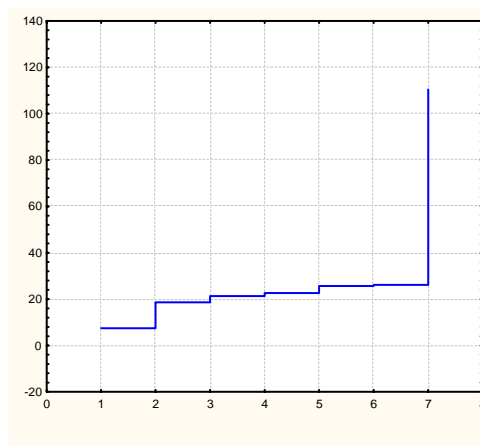
Cluster 5: MCZI

Cluster 6: CZI

فاصله ادغام گروه بندی سنجه های خشک سالی شدید در مرحله سه، تفاوت معنی داری با مرحله قبلی داشته و بهینه تعداد کلاسترها را می توان در حد فاصل مراحل دو و سه جستجو نمود. در این فاصله شش خوشه روی دندوگرام قابل دسته بندی است که به ترتیب عبارتند از:



(الف)



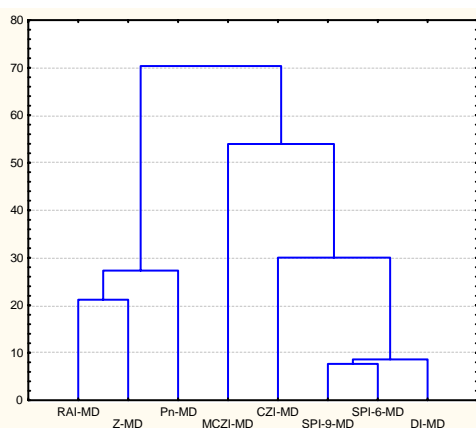
(ب)

شکل ۵- دندوگرام (الف)، و پلات فواصل ادغام گروه ها (ب)، برای خشک سالی های شدید (SD: Severe Drought) در کل ایستگاه های استان در طول دوره آماری ۳۵ ساله.

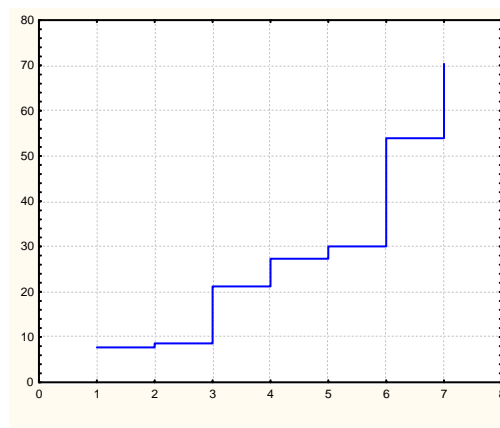
۲- خشک سالی های متوسط (شکل ۶):

Cluster 1: SPI-6, SPI-9, DI
Cluster 2: CZI
Cluster 3: MCZI
Cluster 4: PNPI
Cluster 5: RAI, Z

پلات فواصل ادغام گروه خشک سالی های متوسط (شکل ۵-ب)، نشان می دهد که مرحله شش گروه بندی سنجها، تفاوت مشخصی با سایر مراحل داشته و حد فاصل مرحله شش و هفت، محل مناسبی جهت انتخاب بهینه تعداد خوشه ها می باشد. مطابق با دندوگرام ترسیم شده (شکل ۵-الف)، پنج خوشه زیر قابل تفکیک است:



(الف)



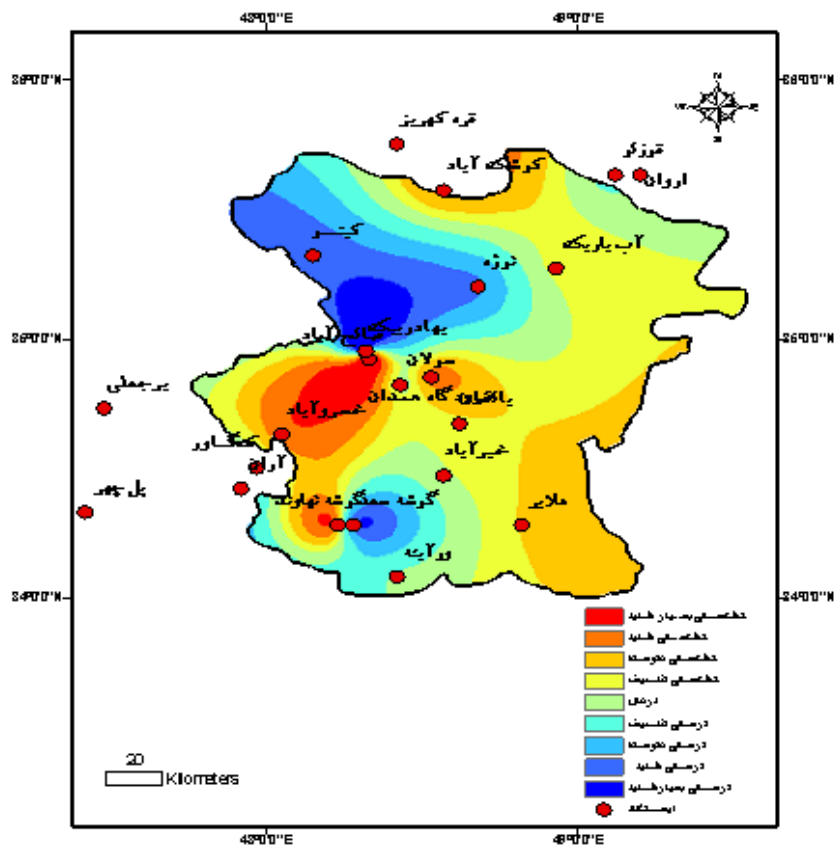
(ب)

شکل ۶- دندوگرام (الف)، و پلات فواصل ادغام گروه ها (ب)، برای خشک سالی های متوسط

(MD: Medium Drought) در کل ایستگاه های استان در طول دوره آماری ۳۵ ساله.

استان شاهد خشک سالی بسیار شدید و شدید تا ترسالی های بسیار شدید و شدید بوده اند در طول دوره آماری ۳۵ ساله دیده می شود.

با استفاده از نتایج حاصل از شاخص منتخب RAI، پهنه بندی مناطق مستعد خشک سالی استان به صورت شماتیک در شکل ۷ نشان داده شده است. در این شکل مناطقی که در



شکل ۷- پهنه بندی مناطق مستعد خشک سالی و تر سالی در سطح استان همدان در دوره آماری ۲۵ ساله

با استفاده از نمایه منتخب RAI.

شروع شرایط خشک سالی، نمایه مناسبی جهت پایش خشک سالی در مقیاس ماهیانه در شرایط اقلیمی سرد نیمه خشک نمی باشد. در مطالعه انجام یافته توسط بذرافشان و همکاران (۲۰)، به کارگیری نمایه SPI جهت پایش خشک سالی در مقیاس ماهیانه در شرایط اقلیمی سرد نیمه خشک نیز توصیه نگردید. محسنی ساروی و همکاران (۱۴) نیز یکی از نقاط ضعف نمایه SPI را در ارزیابی مقادیر بارندگی صفر منعکس نموده اند. یادآوری می شود، علی رغم مشکلات شاخص استاندارد بارش، سلطانی و مدرس (۱۷) از این شاخص به منظور استخراج منحنی های هم شدت خشک سالی های شدید در شرایط اقلیمی تقریباً مشابه (استان اصفهان) استفاده نموده اند.

با توجه به نتایج به دست آمده از نمایه های ارزیابی شده، نمایه هایی چون RAI، Z و DI به ترتیب به عنوان بهترین نمایه ها جهت پایش بین سالی در شرایط اقلیمی و

نتایج بررسی های انجام گرفته در ۲۲ ایستگاه استان نشان می دهد که اگرچه برخی از نمایه های مورد مطالعه از نظر عددی (بدون انجام طبقه بندی) با یکدیگر ضریب همبستگی بالایی را نشان می دهند (مانند زوج های Z و PNPI)، ولی در تحلیل خوشه ای، فراوانی سال هایی که در یک طبقه قرار می گیرند (مانند خشک سالی بسیار شدید) ممکن است این نمایه ها در دو گروه مجزا قرار گیرند. این امر نشان می دهد که طبقات این نمایه ها به خوبی تعریف نشده اند و یا با یکدیگر هماهنگ نیستند. لذا ضروری است علاوه بر سنجه آماری ضریب همبستگی، از سنجه های آماری دسته بندی نظیر روش تحلیل خوشه ای نیز در انتخاب بهترین شاخص های خشک سالی منطقه استفاده نمود.

بررسی آماری نتایج به دست آمده از نمایه ها حاکی از این واقعیت است که نمایه SPI علی رغم توانایی آن در تشخیص

منابع

1. World Meteorological Organization, 1975. "Drought and Agriculture". WMO Technical Note 138, WMO, Geneva, Switzerland.
2. Gibbs, W. J. and Maher, J. V., 1967. "Rainfall deciles as drought indicators". Bureau of meteorology Bulletin, 48, Commonwealth of Australia, Melbourne.
3. McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J., 1993. "The relationship of drought frequency and duration to time scales". Eight Conf. On Applied Climatology, Anaheim, CA, American Meteorological Society, 179-184.
4. Bordi, I., Frigio, S., Parenti, P., Speranza, A. and Sutera, A., 2001. "The analysis of the standardized precipitation index in the Mediterranean area". Part 1. Submitted to Annali di Geofisica.
۵. خلیلی، ع.، ۱۳۷۰. "گزارش‌های حوزه‌های هواشناسی طرح جامع آب کشور". وزارت نیرو، جاماب، تهران.
۶. خلیلی، ع.، ۱۳۷۷. "نشر طرح جامع آب کشور- به هنگام سازی". وزارت نیرو، جاماب، تهران. ص: ۱-۵ تا ۴۳.
۷. سبزی پرور، ع.، ۱۳۷۸. "بررسی آماری روند خشک سالی در استان همدان". طرح تحقیقاتی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان همدان، همدان.
۸. مرادی، ح. و خیراندیش، م.، ۱۳۷۹. "تاوه قطبی و تطبیق الگوی سینوپتیکی با شرایط ترسالی و خشک سالی در کشور". جلد دوم، ص: ۱۰۰۵-۱۰۱۷.
۹. قطره‌سامانی، س.، ۱۳۷۹. "بررسی روند خشک سالی در استان چهارمحال و بختیاری". مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی مقابله با کم‌آبی و خشک سالی، کرمان، اسفندماه ۱۳۷۹، جلد اول، ص: ۳۶-۴۳.

جغرافیایی استان همدان معرفی می‌شوند. زیرا از لحاظ توضیف آماری وضعیت خشک سالی، هم در مقیاس نقطه ای و هم در مقیاس منطقه ای بهتر از نمایه‌های دیگر عمل نمودند و در تحلیل خوشه ای نیز در یک گروه قرار گرفتند. لازم به ذکر است که نمایه DI در مطالعات قبلی نیز به عنوان یکی از گزینه های مناسب جهت ارزیابی خشک سالی های هواشناسی در اقلیم های سرد نیمه خشک معرفی شده بود (۱۲).

معیارهای بهینه انتخاب شده Z و RAI نشان دادند که در سال های آبی ۴۶-۴۷، ۵۶-۵۵، ۶۳-۶۲، ۶۸-۶۷، ۷۰-۶۹، ۷۶-۷۵ و ۷۸-۷۷ خشک سالی های شدیدی در این استان اتفاق افتاده است. وضعیت های به دست آمده خشک سالی با دو شاخص Z و RAI، با توجه به شواهد واقعی ثبت شده در نقاط مختلف استان نظیر کاهش شاخص عملکرد محصولات کشاورزی، افت سطح آب زیرزمینی و کاهش دبی رودخانه ها در دوره بررسی سازگاری و مطابقت خوبی نشان داد.

لازم به ذکر است که نمایه های Z و RAI در مناطقی که هم اقلیم استان همدان (سرد نیمه خشک) هستند قابل استفاده می باشند، ولی به دلیل تفاوت در سری های زمانی و توزیع مکانی متفاوت بارندگی، این نمایه ها قابل تعمیم به مناطقی با اقلیم متفاوت نمی باشند. معرفی نمایه های مناسب، جهت پیش بینی خشک سالی هواشناسی در دیگر اقلیم ها، مطالعه ای جداگانه را می طلبد.

در خاتمه، پیشنهاد می گردد با توجه به توالی تاخیر زمانی وقوع بین خشک سالی هواشناسی، خشک سالی هیدرولوژیکی، و خشک سالی کشاورزی، در مطالعه جداگانه ای این سه نوع خشک سالی به طور همزمان (با یک دوره آماری مشترک) و تلفیقی مورد مطالعه قرار گیرند. مطالعه همزمان این سه نوع خشک سالی، ضمن آشکارسازی تاخیر های زمانی (time lags) حادث شده بین این خشک سالی ها، ابزار مدیریت زمانی مناسبی راجهت برنامه ریزان در بخش های محیط زیست، کشاورزی و منابع آب فراهم می نماید.

۱۰. حسنی‌ها، ح. و صالحی، ز.، ۱۳۷۹. " بررسی وضعیت خشک سالی بر اساس تعدادی از شاخص‌های آماری در استان زنجان ". مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی مقابله با کم‌آبی و خشک سالی، کرمان، اسفندماه ۱۳۷۹، جلد اول، ص: ۱۷-۲۷.
۱۱. بذرافشان، ج.، بازگیر، س.، حبیبی نوخندان، م.، یزدان‌پناه جزئی، ح.، مرادی، ا.، و نصرتی، ک.، ۱۳۸۰. " تحلیل منطقه‌ای استان کردستان با استفاده از مدل *DAWR* و تکنیک *GIS* ". خلاصه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل. ص: ۱۵۲.
۱۲. سبزی‌پور، ع.، ۱۳۸۲. " تحلیل نمایه‌های خشکی و خشک سالی استان همدان از دیدگاه هواشناسی ". طرح تحقیقاتی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان همدان، همدان.
۱۳. مقدسی، م.، مرید، س.، اچ. بایون، قائمی، ه. و محمد ولی سامانی، ج.، ۱۳۸۳. " پایش خشک سالی با استفاده از شاخص‌های *SPI*، *DI* و *EDI* در استان تهران، ایران ". تحقیقات کشاورزی ایران، جلد ۲۳، ص: ۹۵-۱۱۰.
۱۴. محسنی ساروی، م.، صفدری، ع.ا.، ثقفیان، ب.، مهدوی، م.، ۱۳۸۳. " تحلیل شدت، مدت، فراوانی و گستره خشک سالی های حوزه کارون به کمک شاخص بارش استاندارد (SPI)". منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، شماره ۴، ص: ۶۱۸-۶۰۷.
۱۵. یزدانی، م.ر.، چاوشی، س.، خداخلقی، م.، ثقفیان، ب.، ۱۳۸۴. " نشریه علمی پژوهشی آب و آبخیز. جلد ۱، شماره ۴، ص: ۴۱-۵۱.
۱۶. سمیعی، م.، ثقفیان، ب.، مهدوی، م.، ۱۳۸۵. " آنالیز منطقه ای شدت خشک سالی هیدرولوژیکی در حوضه های آبخیز استان تهران ". مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۹، شماره ۱، ص: ۲۷-۳۸.
۱۷. سلطانی، س.، مدرس، ر.، ۱۳۸۵. " تحلیل فراوانی و شدت خشک سالی هواشناسی استان اصفهان ". جلد ۵۹، شماره ۱، ص: ۲۵-۱۵.
۱۸. مرید، س.، ۱۳۸۴. " بسته نرم افزاری *DIP* ". مدیریت منابع آب، وزارت نیرو، تهران.
۱۹. بذرافشان، ج. (۱۳۸۱) " مطالعه تطبیقی برخی نمایه‌های خشک سالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران ". پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی دانشگاه تهران-کرج.
20. Rooy, M. P. Van, 1965. "A rainfall anomaly index independent of time and space". *Notos*, 14, 43.