

مطالعه تطبیقی چهار نمایه خشکسالی در استان همدان

آزاده کاظمی^۱

علی اکبر سبزی پرور^۲

شوکا فصل بهار^{۳*}

Shooka_fb@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۸۷/۷/۱۰

تاریخ دریافت: ۸۷/۴/۲۲

چکیده

این مطالعه با هدف مقایسه چند بعدی چهار نمایه خشکسالی هواشناسی و با استفاده از آمار بارندگی یک دوره آبی ۳۵ ساله (۱۳۴۶-۱۳۴۵) تا (۱۳۸۰-۱۳۷۹) در ۲۲ ایستگاه استان همدان انجام شده است. نمایه‌های خشکسالی مورد بررسی عبارتند از: نمایه درصد نرمال بارندگی (PNPI); نمایه معیار استاندارد Z (ZI); نمایه ناهنجاری بارش (RAI); نمایه بارش استاندارد شده (SPI). پس از محاسبه نمایه‌های خشکسالی فوق در مقیاس زمانی مورد نظر، نتایج براساس معیارهای شباهت توالی سال‌های خشک، نرمال و تر با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای (Cluster analysis)، و همبستگی آماری بین نمایه‌ها، دسته‌بندی و مورد ارزیابی قرار گرفتند. بررسی‌ها از دیدگاه تحلیل خوشه‌ای نشان داد که سنجه‌های RAI و Z از نظر آماری مشابه بوده و در ارزیابی‌های خشکسالی نیز در شرایط اقلیمی سرد نیمه خشک استان همدان به نتایج نسبتاً مشابهی ختم می‌شوند. در ارزیابی روابط همبستگی نیز، نمایه‌های زوج شده RAI-PNPI و Z-PNPI در اغلب ایستگاه‌های استان در سطح اطمینان مطلوبی ($p < 0.05$) رابطه همبستگی بالا (۰.۹۵) $R^2 >$ با یکدیگر از خود نشان دادند، ولی در تحلیل خوشه‌ای فقط نمایه‌های RAI و Z در یک گروه قرار گرفتند. محاسبات نشان داد که نتایج معیارهای RAI و Z از لحاظ توصیف وضعیت خشکسالی بسیار به هم نزدیک می‌باشند. بر این اساس، معیارهای ناهنجاری بارش (RAI) و Z به ترتیب به عنوان بهترین سنجه‌ها جهت ارزیابی خشکسالی هواشناسی در شرایط اقلیمی سرد نیمه خشک شناخته شدند. نتایج حاصل از معیارهای منتخب نشان داد که در سال‌های ۴۷-۴۶، ۵۶-۵۵، ۶۳-۶۲، ۶۸-۶۷، ۷۰-۶۹، ۷۶-۷۵ و ۷۸-۷۷ خشکسالی-های شدید در اغلب نقاط استان اتفاق افتاده است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی هواشناسی، نمایه‌های خشکسالی، تحلیل خوشه‌ای، اقلیم سرد نیمه خشک.

۱- کارشناس ارشد رشته آبیاری، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده کشاورزی.

۲- دانشیار، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده کشاورزی.

۳- کارشناس ارشد آلودگی‌های محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران* (مسئول مکاتبات).

مقدمه

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

الف- بارندگی

ب- رطوبت خاک و متغیرهای عملکرد محصول

ج- شاخص‌های آب و هوایی جهت برآورد تبخیر و تعرق

د- تعاریف و اظهارات کلی دیگر.

بر اساس تقسیم‌بندی فوق ملاحظه می‌شود که بارندگی یکی از مهم ترین و عمده ترین متغیرهایی است که از آن می‌توان در ارزیابی خشکسالی 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 خشکسالی در چنین مناطقی به حدی است که می‌تواند موجبات بحران‌های سیاسی، اجتماعی و اقتصادی را در کشور فراهم نماید.

Gibbs and Maher (۲)، برای اجتناب از

بعضی نقاط ضعف روش درصد نرمال، از روش دهک‌ها (DI) برای بررسی خشکسالی‌های تاریخی در استرالیا استفاده نمودند. مک کی و همکاران (۳)، عملاً از سال ۱۹۹۴ از شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) برای پایش خشکسالی در سرتاسر ایالت کلرادو استفاده نمودند. بوردی و همکاران (۴)، جهت بررسی شرایط خشکسالی در ایتالیا نیز از شاخص بارش استاندارد شده استفاده نمودند. خلیلی (۵ و ۶)، در بررسی‌های

مربوط به مطالعه روند طبیعی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران شاخص معیار بارندگی سالانه (SIAP)^۱ را پیشنهاد و بر شبکه-ای مرکب از ۱۲۰۰ ایستگاه به تفکیک حوضه های آبریز کشور اعمال نموده است. سبزی‌پرور (۷) روند خشکسالی 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 خشکسالی در ایران بررسی نمودند.

حسینی ها و صالحی (۹)، از چهار شاخص درصد

بارندگی میانگین، شاخص انحراف معیار، شاخص کلاسه‌بندی بارندگی و شاخص توزیع استاندارد برای بررسی وضعیت خشکسالی در استان زنجان استفاده نمودند. بذرافشان و همکاران، (۱۰) به منظور تحلیل منطقه‌ای منابع آب استان کردستان از روش بارندگی مؤثر استفاده نمودند.

سبزی‌پرور (۱۱) با استفاده از نمایه های خشکسالی

SPI و PNPI نتیجه گرفت که در طول دوره آماری ۲۷ ساله شدیدترین خشکسالی استان همدان در سال ۷۸-۷۷ به وقوع پیوسته است.

در سایر استان‌های کشور، خشکسالی 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 شده تا کنون، نمایه های ارزیابی شده معدود، طول دوره بررسی کوتاه‌تر (با مبنای سال میلادی)، و به ندرت 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، چهار نمایه SPI، RAI، PNPI و Z را که تا کنون در اقلیم های سرد نیمه خشک به طور همزمان بررسی نشده اند، مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

در این تحقیق فرض شده که خشکسالی های

هواشناسی حادث شده تحت تاثیر نوسانات الگوهای زمانی (temporal) و مکانی (spatial) مقادیر بارش قرار دارند، و

طبیعی دیگری نظیر پوشش گیاهی، ژئومورفولوژی کوهستان‌ها و فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی ممکن است در مقیاس محلی اقلیم استان را تحت تاثیر قرار دهند.

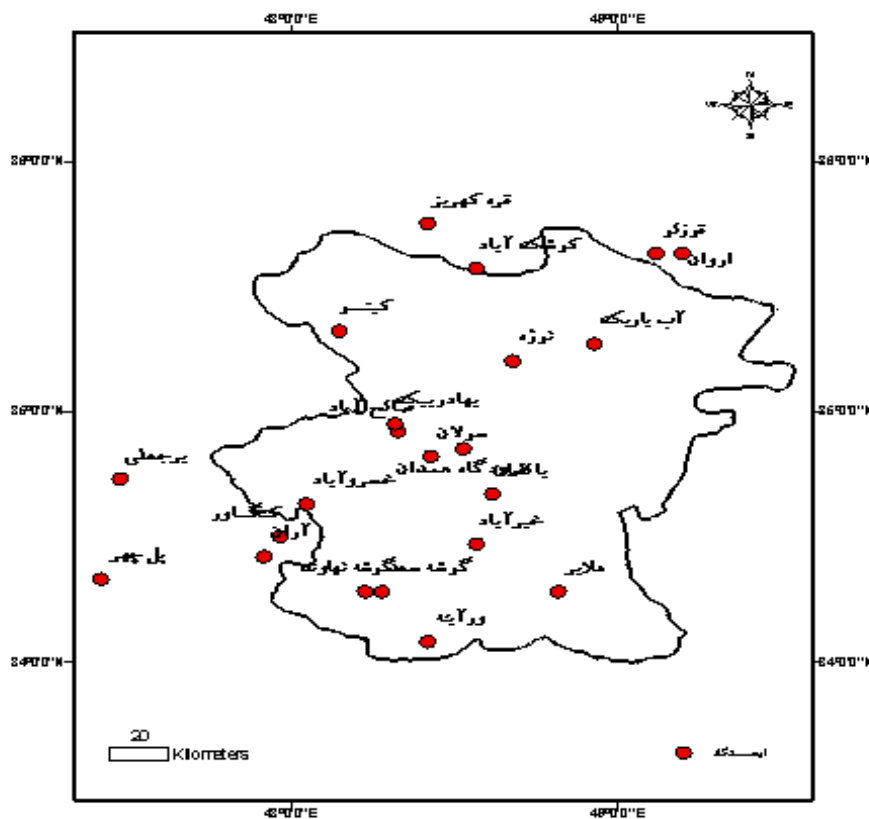
در بررسی حاضر، به منظور مطالعه نمایه‌های خشکسالی در استان همدان از آمار ۳۵ ساله بارندگی ۲۲ ایستگاه مستقر در استان و استان‌های مجاور که دارای کیفیت آماری مناسبی بودند، استفاده گردید. همان‌طوری که در جدول ۱ ملاحظه می‌گردد، ۳ ایستگاه سینوپتیک و یک ایستگاه کليما تولوژی تحت نظارت سازمان هواشناسی کشور و مابقی ایستگاه‌ها که شامل ایستگاه‌های تخیرسنجی و باران‌سنجی هستند توسط وزارت نیرو کنترل می‌شوند. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه را در پهنه‌بندی استان همدان نشان می‌دهد.

تغییرات عمده در این الگوها به دنبال خود نمایه های مورد مطالعه را تحت تاثیر قرار 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. 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، توده‌های هوا و سامانه های بزرگ مقیاس جوی است. در کنار این عوامل، فاکتورهای



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان همدان

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های تحت مطالعه در استان همدان

ردیف	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	نوع اقلیم بر اساس روش آمبرژه	نوع ایستگاه
۱	فرودگاه همدان	۳۴-۵۱	۴۸-۳۲	۱۷۴۹	نیمه خشک سرد	سینوپتیک
۲	صالح آباد	۳۴-۵۵	۴۸-۲۰	۱۷۷۰	نیمه خشک سرد	باران‌سنجی
۳	نوزه	۳۵-۱۲	۴۸-۴۱	۱۶۸۰	نیمه خشک سرد	سینوپتیک
۴	بهدادریک	۳۴-۵۷	۴۸-۱۹	۱۷۹۰	نیمه خشک سرد	تبخیرسنجی
۵	کوشک آباد	۳۵-۰۲	۴۸-۳۴	۱۷۰۰	نیمه خشک سرد	تبخیرسنجی
۶	اروان	۳۵-۳۸	۴۹-۱۲	۱۷۵۰	نیمه خشک سرد	تبخیرسنجی
۷	آب باریک	۳۵-۱۶	۴۸-۵۶	۱۷۴۹	نیمه خشک سرد	باران‌سنجی
۸	قره کهریز	۳۵-۴۵	۴۸-۲۵	۱۷۴۰	نیمه خشک سرد	باران‌سنجی
۹	قوزلو	۳۵-۳۸	۴۹-۰۷	۲۰۰۰	نیمه خشک سرد	باران‌سنجی
۱۰	سولان	۳۴-۴۹	۴۸-۲۶	۲۱۰۰	نیمه خشک سرد	تبخیرسنجی
۱۱	یالفان	۳۴-۴۰	۴۸-۳۷	۱۹۸۰	نیمه خشک سرد	تبخیرسنجی
۱۲	کیتو	۳۵-۱۹	۴۸-۰۹	۲۱۰۰	نیمه خشک سرد	باران‌سنجی
۱۳	کنگاور	۳۴-۳۰	۴۷-۵۸	۱۴۶۰	نیمه خشک سرد	سینوپتیک
۱۴	گوشه نهاوند	۳۴-۱۷	۴۸-۱۴	۱۵۲۰	نیمه خشک سرد	کلیماتولوژی
۱۵	ملایر	۳۴-۱۷	۴۸-۴۹	۱۷۴۰	خشک سرد	سینوپتیک
۱۶	آران	۳۴-۲۵	۴۷-۵۵	۱۴۴۰	نیمه خشک سرد	باران‌سنجی
۱۷	پل چهر	۳۴-۲۰	۴۷-۲۵	۱۲۷۵	نیمه خشک سرد	تبخیرسنجی
۱۸	خسروآباد	۳۴-۳۸	۴۸-۰۳	۱۵۳۰	نیمه خشک سرد	باران‌سنجی
۱۹	خیرآباد	۳۴-۲۸	۴۸-۳۴	۱۷۴۰	نیمه خشک سرد	باران‌سنجی
۲۰	گوشه سعد	۳۴-۱۷	۴۸-۱۷	۱۵۲۰	نیمه خشک سرد	باران‌سنجی
۲۱	ورآینه	۳۴-۰۵	۴۸-۲۵	۱۸۰۰	نیمه خشک سرد	تبخیرسنجی
۲۲	برجعلی	۳۴-۴۴	۴۷-۲۹	۱۵۸۰	نیمه خشک سرد	باران‌سنجی

در این تحقیق، تحلیل‌های خوشه‌ای با به کارگیری نرم افزار STATISTICA انجام گردید. سایر محاسبات نیز توسط نرم افزار Excel انجام گردید.

مبنای بارندگی انتخاب گردید. اساس نمایه‌های خشکسالی 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 مطالعه، به منظور ارزیابی سنجه‌ها یا نمایه‌های خشکسالی در استان همدان، چهار نمایه خشکسالی با

(ب) نمایه‌های مورد مطالعه

در این مطالعه، به منظور ارزیابی سنجه‌ها یا نمایه‌های خشکسالی در استان همدان، چهار نمایه خشکسالی با

جدول ۲- ویژگی‌های عمومی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی

نام شاخص	فاکتور مورد استفاده	واحد زمانی ارزیابی
شاخص درصد نرمال بارندگی	بارندگی	ماهانه و سالانه
شاخص معیار Z استاندارد شده	بارندگی	ماهانه
شاخص ناهنجاری بارش	بارندگی	ماهانه
شاخص بارندگی استاندارد شده	بارندگی	۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه

۱- شاخص درصد نرمال بارندگی^۱ (PNPI)

درصد نرمال بارندگی یکی از ساده‌ترین سنجه‌های خشکسالی در یک مکان است. تجزیه و تحلیل‌های درصد نرمال بارندگی به هنگام استفاده از آن‌ها برای بررسی خشکسالی 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:

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

۲- شاخص معیار Z^۲ یا ZI

مراحل محاسبه این شاخص به صورت زیر می‌باشد:

(۱) مرتب نمودن سری زمانی داده‌های بارندگی به صورت صعودی.

(۲) تعیین میانگین و انحراف استاندارد سری زمانی داده‌ها.

(۳) تعیین شاخص معیار Z یا ZI برای هر یک از دوره‌های آماری با استفاده از رابطه زیر:

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

۳- شاخص ناهنجاری بارندگی^۳ (RAI)

شاخص ناهنجاری بارندگی توسط روی^۴ (۱۲) ارایه شد. اساس شاخص ناهنجاری بارندگی، محاسبه انحراف مقادیر بارندگی از نرمال می‌باشد. مراحل محاسبه این شاخص به صورت زیر است:

(۱) محاسبه میانگین درازمدت بارندگی در ایستگاه‌های

مورد نظر (\bar{P}).

(۲) استخراج میانگین ۱۰ مورد از بزرگترین 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 داده‌های بارندگی (P) با میانگین درازمدت

بارندگی. چنانچه $P > \bar{P}$ یا ناهنجاری، مثبت باشد

شاخص ناهنجاری بارندگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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

و 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 دادن آستانه‌های +۳ و -۳ به ترتیب به میانگین ۱۰

مورد از شدیدترین ناهنجاری‌های مثبت و منفی به دست آمده

از شاخص ناهنجاری بارندگی.

(۶) نهایتاً، با مقیاس‌گذاری روی مقادیر حاصل از شاخص

ناهنجاری بارندگی، نه طبقه ناهنجاری با دامنه‌ای از شرایط تر

بسیار شدید تا خشکسالی بسیار شدید تعیین می‌شود.

۴- شاخص بارندگی استاندارد شده^۵ (SPI)

مک‌کی و همکاران (۳) شاخص بارندگی استاندارد

شده (SPI) را به منظور تعریف و پایش خشکسالی توسعه

5- SPI: the Standardization Precipitation Index

1- PNPI: Percent of Normal Precipitation Index

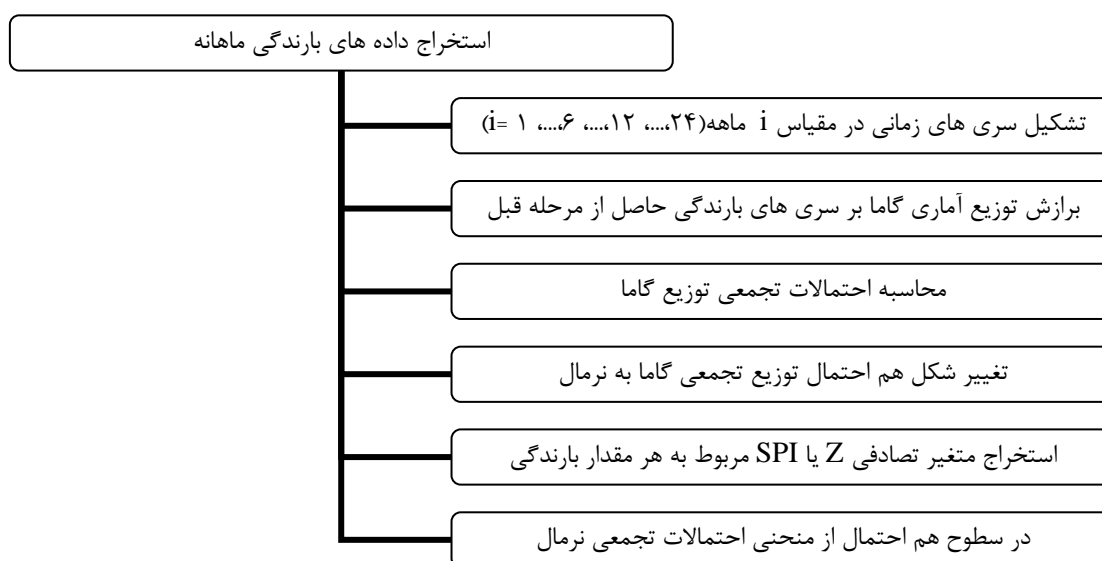
2- Z-Score Index

3- RAI: Rainfall Anomaly Index

4- Rooy

شکل پس از استخراج داده‌های 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 اینجا برآزش یک توزیع آماری مناسب بر سری زمانی موردنظر می‌باشد.

دادند. ویژگی SPI این امکان را به تحلیل‌گر می‌دهد تا پدیده نادر خشکسالی و همچنین ترسالی را در یک مقیاس زمانی معین و برای هر نقطه‌ای از دنیا مشخص نماید. آن‌ها ابتدا از این شاخص برای مقیاس‌های 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 ۲- مراحل کلی محاسبه SPI

توالی سال های خشک، نرمال و تر

دوره آماری مورد نظر. در این حالت ماتریس داده‌های به دست آمده از سنجه‌های خشکسالی 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:

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

که $i = 1$ دوره آماری است.

در مطالعه حاضر، به منظور مقایسه سنجه‌های خشکسالی از نظر توالی سال های خشک، نرمال و تر از تکنیک آنالیز خوشه‌ای^۱ استفاده می‌شود. هدف از به کارگیری آنالیز خوشه‌ای، 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.

مراحل گروه‌بندی سنجه‌های خشکسالی را می‌توان به صورت زیر فهرست نمود:

الف) تبدیل ماتریس کیفی داده‌های حاصل از سنجه‌های خشکسالی به ماتریس کمی با انتساب عدد ۱ به سال های خشک، عدد ۲ به سال های نرمال و عدد ۳ به سال های تر طی

جدول ۳- نتایج ضرایب تعیین آماری (R^2) برای سنجه- های خشکسالی هواشناسی در ایستگاه ورآینه

شاخص	PNPI	Z	RAI	SPI
PNPI	۱	۱	۰/۹۹	۰/۵۲
Z	۱	۱	۰/۹۹	۰/۵۲
RAI	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۰/۵۳
SPI	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۳	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 شکل ها از ارایه بقیه شکل ها و جداول در مقاله خودداری گردیده است.

ج) گروه‌بندی سنجه‌های خشکسالی با استفاده از روش وارد^۱. 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 خشکسالی از ضریب همبستگی استفاده گردید. ضریب همبستگی (r) بین زوج شاخص‌های X و Y از رابطه زیر محاسبه گردید:

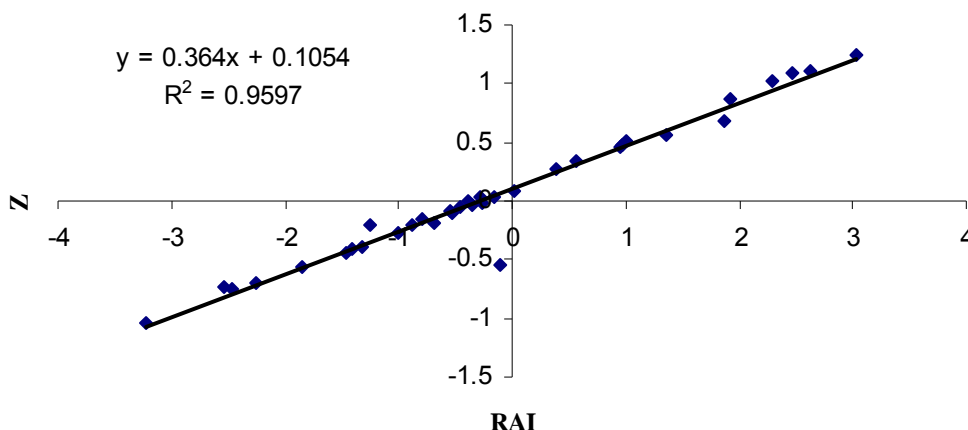
$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

مقدار ضریب همبستگی بین +۱ الی -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 و RAI-RAI 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 و Z نشان دادند که در سال‌های آبی ۴۶-۴۷، ۵۶-۵۵، ۶۲-۶۳، ۶۷-۶۸، ۷۰-۶۹، ۷۵-۷۶ و ۷۷-۷۸ خشکسالی‌های شدیدی در این استان اتفاق افتاده است. به طور نمونه نتایج ضرایب همبستگی آماری برای سنجه‌های خشکسالی هواشناسی در ایستگاه ورآینه در جدول ۳ ارایه شده است.



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

ب- تحلیل خوشه ای بین شاخص ها (آنالیز کلاستر)

همان گونه که قبلاً بیان گردید، به منظور مقایسه سنجه های خشکسالی از نظر شباهت توالی سال های خشک، نرمال و تر از تکنیک آنالیز خوشه ای استفاده گردید. نتایج این آنالیز به تفکیک برای خشکسالی های بسیار شدید تا متوسط انجام شد که نتایج به صورت زیر خلاصه می گردد:

خشکسالی های بسیار شدید :

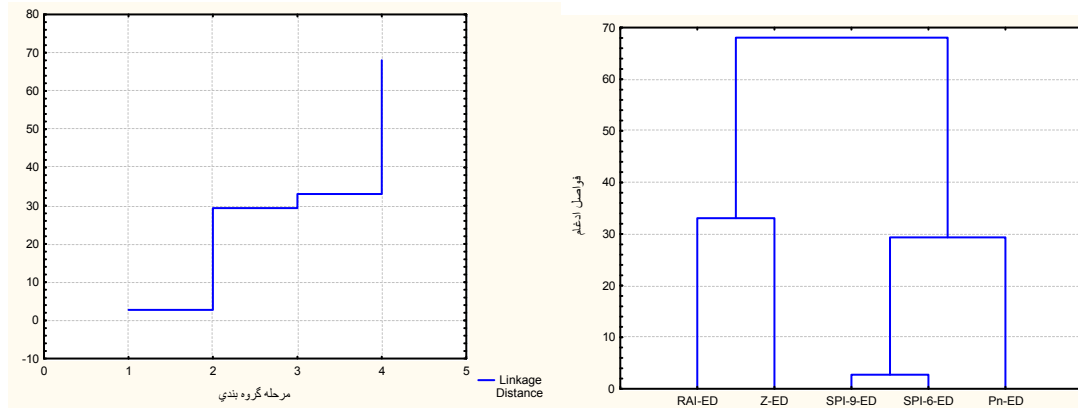
با توجه به شکل ۴، فاصله ادغام گروه بندی سنجه های خشکسالی بسیار شدید در مرحله دو (شکل ۴-ب)، تفاوت معنی داری با مرحله بعدی داشته و بنابراین انتخاب تعداد بهینه کلاسترها در حد فاصل مرحله دوم و سوم گروه بندی امکان پذیر است. بر اساس دندوگرام مربوطه (شکل ۴-الف) و در فاصله ادغام بینابینی مرحله دو و مرحله سه گروه بندی، چهار کلاستر را می توان متمایز نمود:

Cluster 1: PNPI

Cluster 2: SPI6 , SPI9

Cluster 3: Z

Cluster 4: RAI



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

خشکسالی های شدید

نمود. در این فاصله شش کلاستر روی دندوگرام قابل دسته‌بندی است که به ترتیب عبارتند از:

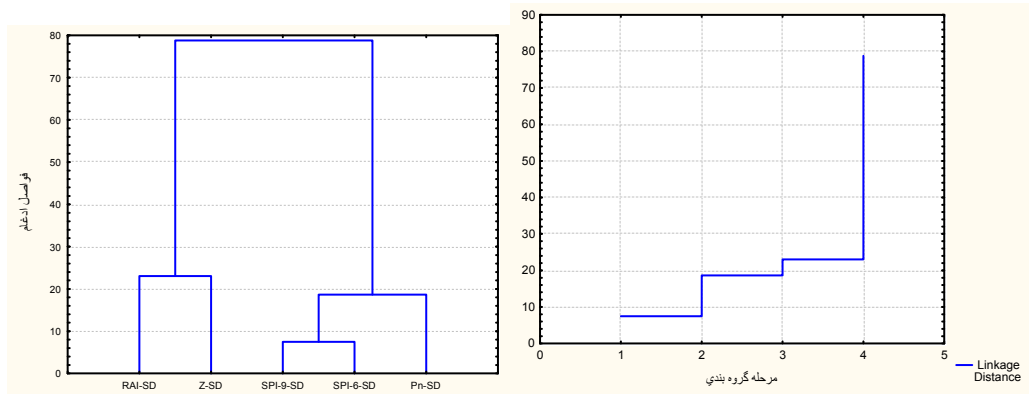
فاصله ادغام گروه‌بندی سنجه‌های خشکسالی شدید در مرحله دو، تفاوت معنی‌داری با مرحله بعدی داشته و بهینه تعداد کلاسترها را می‌توان در حدفاصل مراحل دو و سه جستجو

Cluster 1: PNPI

Cluster 2: SPI-6, SPI-9

Cluster 3: Z

Cluster 4: RAI



شکل ۵- دندوگرام (الف)، و پلات فواصل ادغام گروه‌ها (ب)، برای خشکسالی های شدید (SD: Severe Drought) در کل ایستگاه‌های استان در طول دوره آماری ۳۵ ساله.

خشکسالی های متوسط

حد فاصل مرحله دو و سه، محل مناسبی جهت انتخاب بهینه تعداد کلاسترها می باشد. مطابق با دندوگرام ترسیم شده (شکل ۵-الف)، چهار کلاستر زیر قابل تفکیک است:

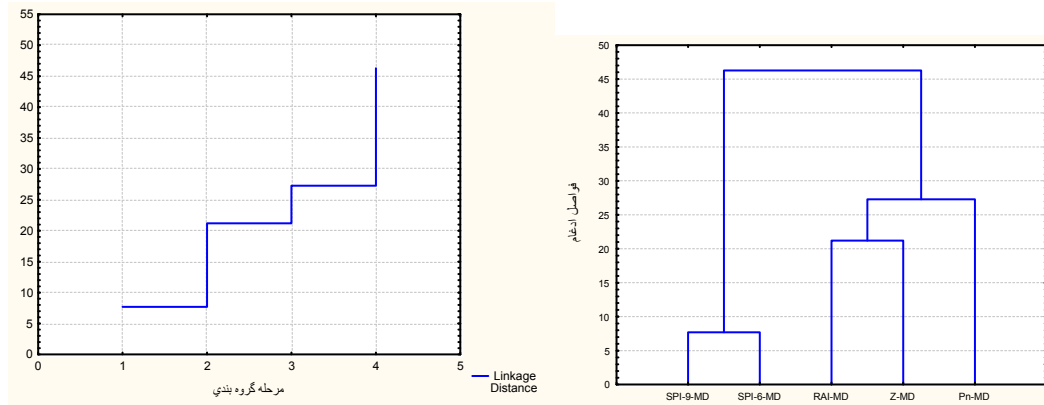
پلات فواصل ادغام گروه خشکسالی های متوسط (شکل ۵-ب)، نشان می دهد که مرحله دو گروه-بندی سنجه‌ها، تفاوت مشخصی با سایر مراحل داشته و

Cluster 1: SPI-6, SPI-9

Cluster 2: RAI

Cluster 3: Z

Cluster 4: PNPI



شکل ۶- دندوگرام (الف)، و پلات فواصل ادغام گروه‌ها (ب)، برای خشکسالی های متوسط (MD: Medium Drought) در کل ایستگاه‌های استان در طول دوره آماری ۳۵ ساله.

۶۷-۶۸، ۷۰-۶۹، ۷۶-۷۵ و ۷۸-۷۷ خشکسالی‌های شدیدی در این استان اتفاق افتاده است. وضعیت‌های به دست آمده خشکسالی 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 رودخانه‌ها در دوره بررسی سازگاری و مطابقت خوبی نشان داد.

لازم به ذکر است که نمایه‌های Z و RAI در مناطقی که هم اقلیم استان همدان (سرد نیمه خشک) هستند قابل استفاده می‌باشند، ولی به دلیل تفاوت در سری‌های زمانی و توزیع مکانی متفاوت بارندگی، این نمایه‌ها قابل تعمیم به مناطقی با اقلیم متفاوت نمی‌باشند. معرفی نمایه‌های مناسب، جهت پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی در دیگر اقلیم‌ها، مطالعه‌ای جداگانه را می‌طلبد.

در انتها، پیشنهاد می‌گردد با توجه به توالی تاخیر زمانی وقوع بین خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیکی، و خشکسالی کشاورزی، در مطالعه جداگانه‌ای این سه نوع خشکسالی به‌طور همزمان (با یک دوره آماری مشترک) و تلفیقی مورد مطالعه قرار گیرند. مطالعه همزمان این سه نوع خشکسالی، ضمن آشکارسازی تاخیرهای زمانی (time lags) حادث شده بین این خشکسالی‌ها، ابزار مدیریت زمانی مناسبی راجهت برنامه‌ریزان در بخش‌های محیط زیست، کشاورزی و منابع آب فراهم می‌نماید.

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

نتایج بررسی‌های انجام شده در ۲۲ ایستگاه استان نشان می‌دهد که اگرچه برخی از نمایه‌های مورد مطالعه از نظر عددی (بدون انجام طبقه‌بندی) با یکدیگر ضریب همبستگی بالایی را نشان می‌دهند (مانند زوج‌های Z و $PNPI$)، ولی در تحلیل خوشه‌ای، فراوانی سال‌هایی که در یک طبقه قرار می‌گیرند (مانند خشکسالی بسیار شدید) ممکن است این نمایه‌ها در دو گروه مجزا قرار گیرند. این امر نشان می‌دهد که طبقات این نمایه‌ها به خوبی تعریف نشده‌اند و یا با یکدیگر هماهنگ نیستند. لذا ضروری است علاوه بر سنجه آماری ضریب همبستگی، از سنجه‌های آماری دسته‌بندی نظیر روش تحلیل خوشه‌ای نیز در انتخاب بهترین شاخص‌های خشکسالی منطقه استفاده نمود.

بررسی آماری نتایج به دست آمده از نمایه‌ها حاکی از این واقعیت است که نمایه SPI علیرغم توانایی آن در تشخیص شروع شرایط خشکسالی، نمایه مناسبی جهت پایش خشکسالی در مقیاس ماهیانه در شرایط اقلیمی سرد نیمه خشک نمی‌باشد. در مطالعه انجام شده توسط بذرافشان و همکاران (۱۳)، به کارگیری نمایه SPI جهت پایش خشکسالی در مقیاس ماهیانه در شرایط اقلیمی سرد نیمه خشک نیز توصیه نگردید. محسنی ساروی و همکاران (۱۵) نیز یکی از نقاط ضعف نمایه SPI را در ارزیابی مقادیر بارندگی صفر منعکس نموده‌اند.

با توجه به نتایج به دست آمده از نمایه‌های ارزیابی شده، نمایه‌هایی چون RAI و Z به ترتیب به عنوان بهترین نمایه‌ها جهت پیش‌بینی خشکسالی در شرایط اقلیمی و جغرافیایی استان همدان معرفی می‌شوند. زیرا از لحاظ توضیح آماری وضعیت خشکسالی، هم در مقیاس نقطه‌ای و هم در مقیاس منطقه‌ای بهتر از نمایه‌های دیگر عمل نمودند و در تحلیل کلاستر نیز در یک گروه قرار گرفتند.

معیارهای بهینه انتخاب شده RAI و Z نشان دادند که در سال‌های آبی ۴۷-۴۶، ۵۶-۵۵، ۶۳-۶۲،

- خشکسالی، کرمان، اسفندماه ۱۳۷۹، جلد اول، ص: ۱۷-۲۷.
۱۰. بذرافشان، ج.، بازگیر، س.، حبیبی نوخندان، م.، یزدان پناه 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.
 ۱۱. سبزی‌پرور، ع.، ۱۳۸۲. "تحلیل نمایه‌های خشکی و خشکسالی استان همدان از دیدگاه هواشناسی". طرح تحقیقاتی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان همدان، همدان.
12. Rooy, M. P. Van, 1965. "A rainfall anomaly index independent of time and space". *Notos*, 14, 43.
۱۳. بذرافشان، ج (۱۳۸۱) "مطالعه تطبیقی برخی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران". پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی دانشگاه تهران-کرج.
 ۱۴. محسنی ساروی، م.، صفدری، ع.ا.، ثقفیان، ب.، مهدوی، م.، ۱۳۸۳. "تحلیل شدت، مدت، فراوانی و گستره خشکسالی های حوزه کارون به کمک شاخص بارش استاندارد (SPI)". منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، شماره ۴، ص: ۶۱۸-۶۰۷.
- 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 حوزه‌ای هواشناسی طرح جامع آب کشور". وزارت نیرو، جاماب، تهران.
 ۶. خلیلی، ع.، ۱۳۷۷. "نشر طرح جامع آب کشور- بهنگام سازی". وزارت نیرو، جاماب، تهران. ص: ۱-۵ تا ۱-۴۳.
 ۷. سبزی‌پرور، ع.، ۱۳۷۸. "بررسی آماری روند خشکسالی 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 خشکسالی در کشور". جلد دوم، ص: ۱۰۵-۱۰۱۷.
 ۹. حسنی‌ها، ح. و صالحی، ز.، ۱۳۷۹. "بررسی وضعیت خشکسالی بر اساس تعدادی از شاخص‌های آماری در استان زنجان". مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی مقابله با کم‌آبی و