

## تأثیر داده‌های پایه و مقیاس زمانی در انتخاب روش منطقه‌بندی خشکسالی

فهیمة رضی<sup>۱</sup> و علیرضا شکوهی<sup>۲\*</sup>

۱) دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین، ایران

۲\*) استاد گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین، ایران

\* نویسنده مسئول مکاتبات: [shokoohi\\_ar@yahoo.com](mailto:shokoohi_ar@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۰۸

### چکیده:

یکی از مسائلی که در مطالعات خشکسالی مورد بحث است توسعه مطالعات نقطه‌ای به گستره مکانی و به عبارت بهتر مطالعات منطقه‌ای خشکسالی می‌باشد. در بخش اول در این تحقیق به منظور بررسی اثر تغییرات ایجاد شده در توزیع احتمالاتی مقادیر بارندگی در روش SPI بر توزیع مکانی خشکسالی، ابتدا از بارش و سپس از SPI به عنوان داده پایه استفاده شد. نتایج به دست آمده برحسب مقیاس زمانی و روش مورد استفاده در تحلیل منطقه‌ای در حوضه آبریز تالاب انزلی کاملاً متفاوت بود. نتایج به دست آمده نشان داد با کاهش تداوم زمانی مورد مطالعه به کم‌تر از ۱ سال، درحالی‌که با استفاده از شاخص SPI منطقه کاملاً همگن است و کل حوضه عملاً یک منطقه به حساب آورده می‌شود، از نظر بارش منطقه همگن به‌شمار نمی‌آید. نتیجه مهم به دست آمده آن بود که در تحلیل مکانی خشکسالی، برخلاف آنچه که مرسوم است باید ابتدا منطقه‌بندی بر اساس بارش صورت پذیرد و سپس در زون‌های به دست آمده خشکسالی مورد بررسی قرار گیرد. در بخش دوم تحقیق مقایسه‌ای بین سه روش معمول در تحلیل منطقه‌ای یعنی خوشه‌بندی سلسله مراتبی، خوشه‌بندی افرازی و گشتاورهای خطی بر روی مقادیر بارندگی و همین‌طور SPI صورت گرفت. نتایج نشان داد استفاده از روش گشتاورهای خطی در مقابل روش‌های خوشه‌بندی، در منطقه مورد مطالعه، مناسب‌تر است. نتیجه مهم به دست آمده از این بخش آن بود که با کاهش مقیاس زمانی مورد مطالعه تفاوت میان روش‌های منطقه‌بندی معنی دارتر و انتخاب روش منطقه‌بندی از اهمیت بیش‌تری برخوردار می‌گردد.

**کلید واژه‌ها:** تحلیل خوشه‌ای؛ حوضه تالاب انزلی؛ گشتاورهای خطی؛ SPI k-means

### مقدمه

توزیع مکانی خشکسالی اقدام نمود. سوال مهم دیگری نیز در این خصوص مطرح می‌باشد که از میان روش‌های موجود برای زون‌بندی، برای کار با شاخص‌های خشکسالی کدام یک بهتر به این مهم می‌پردازند و نتایج قابل اعتمادتری را بدست می‌دهند. اهمیت این سوال و پاسخ بدان زمانی آشکار می‌شود که منطقه مورد مطالعه از نظر پارامترهای مؤثر بر توزیع بارش تقریباً یکنواخت بوده و تفاوت فاحش و چشمگیری در توزیع بارش در منطقه

سوال مهمی که همواره در مطالعات منطقه‌ای خشکسالی هواشناسی برای محققان مطرح بوده آن است که آیا لازم است در تحلیل منطقه‌ای ابتدا به زون‌بندی حوضه بر اساس داده‌های بارش اقدام نمود و سپس در هر زون به توزیع مکانی خشکسالی پرداخت یا آنکه می‌توان در هر ایستگاه (نقطه) شاخص مورد نظر در مقیاس زمانی مورد نظر را برآورد نمود و سپس به تحلیل منطقه‌ای و

RDI به خشکی شدید بسیار حساس است. هاشمی نسب و همکاران (۱۳۹۴) با تأکید بر این نکته که استفاده از یک شاخص برای پایش و تشخیص خشکسالی کافی نیست به ارزیابی شاخص خشکسالی کمبود توأم که بر اساس SPI اصلاح شده توسعه یافته است در شرایط اقلیمی ایران پرداختند. سلیمانی و حقی‌زاده (۱۳۹۴) از شاخص‌های SPI و SDI برای تحلیل زمانی وقوع خشکسالی‌ها و تاثیر آن بر کاهش آبدهی دریاچه کیو خرم‌آباد استفاده نمودند. نتایج نشان داد رابطه زمانی وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است و این معنی‌داری در بازه زمانی ۶ ماهه حداکثر می‌باشد. مروتی و شکوهی (۱۳۹۲) برای بررسی اثر خشکسالی برای دوره بلند مدت ۲۰۱۰-۱۹۸۰ بر خشک شدن تدریجی دریاچه ارومیه از شاخص RDI استفاده نمودند. نتایج نشان داد که این حوضه از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ تحت تاثیر خشکسالی متوسط و شدید قرار گرفته است. قمقامی و بذرافشان (۱۳۹۱) در مطالعه ای برای پایش و پیش‌آگاهی وضعیت خشکسالی هواشناسی در ایران با استفاده از زنجیره مارکوف، از شاخص SPI در مقیاس زمانی ۶ ماهه به عنوان شاخص خشکسالی استفاده کردند. اسلامی و شکوهی (۱۳۹۱) با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه ۲۵ ایستگاه هواشناسی در سه منطقه همگن هیدرولوژیکی واقع در حوضه آبخیز مازندران برای یک دوره ۳۱ ساله به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های CZI، ZSI و MCZI کارایی مشابه داشته و نتایجی نزدیک به SPI دارند. همچنین نتیجه گرفتند که شاخص SPI حساسیت کم‌تری در تشخیص کلاس‌های خشکسالی با وضعیت‌های شدید و بسیار شدید دارد. شکوهی (۱۳۹۱) برای تحلیل خشکسالی کشاورزی در قزوین و تاکستان به مقایسه شاخص‌های RDI و SPI پرداخت. نتایج نشان داد قزوین خشکسالی‌های کشاورزی بسیار شدیدی را تجربه نموده و در طول ۶۰ سال حداقل یک‌بار خشکسالی با دوره بازگشت ۵۰ ساله و دو بار نزدیک به ۲۵ ساله را

دیده نمی‌شود. این عدم وجود تفاوت چشمگیر می‌تواند هم از عامل هم اقلیم بودن کلیه ایستگاه‌ها نشأت گیرد و هم از کوچک بودن حوضه مورد مطالعه. سوال سومی نیز مطرح می‌باشد و آن اثر مقیاس زمانی بر عملکرد روش‌های مورد استفاده در زون‌بندی است. در این مطالعه سعی شده است برای این سه سوال مهم پاسخی مناسب به‌دست آورده شود. در این راستا از معمول‌ترین شاخص خشکسالی یعنی SPI و از پرکاربردترین روش‌های تحلیل منطقه‌ای یعنی از روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی، خوشه‌بندی افزایی و گشتاورهای خطی برای رسیدن به اهداف تحقیق استفاده به‌عمل آمده است.

#### مطالعات خشکسالی:

خشکسالی را می‌توان به‌صورت رخداد منطقه‌ای و مداوم کمبود میانگین دسترسی به آب تعریف کرد. یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای مطالعات خشکسالی هواشناسی، شاخص SPI (McKee et al., 1995) می‌باشد. Bihari و همکاران (۲۰۱۰) ضمن تهیه نقشه ماهانه وضعیت خشکسالی جنوب شرق اروپا، شاخص SPI را از نظر تئوری و تکنیکی با هم مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که اروپا در سال ۲۰۰۳ بیشترین خشکی را داشته است. Asefijah و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از چهار شاخص SPI, DI, CZI و Z به بررسی خشکسالی حوضه آبریز دریاچه نمک پرداختند. نتایج نشان داد شاخص‌های SPI, CZI و Z با شرایط ملموس خشکسالی مطابقت دارند. صمدیان فرد و اسدی (۱۳۹۶) برای پیش‌بینی نمایه خشکسالی بارش استاندارد شده SPI در ایستگاه سینوپتیک تبریز از روش‌های رگرسیون بردار پشتیبان و رگرسیون خطی چندگانه استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که می‌توان از هر دو روش برای پیش‌بینی این نمایه استفاده کرد. Shokoohi و Morovati (۲۰۱۵) به مقایسه دو شاخص RDI و SPI در مقیاس حوضه‌ای برای دریاچه ارومیه پرداختند. مقایسه دو شاخص نشان داد هر دو شاخص برای این منطقه مناسب هستند اما شاخص

(۱۳۹۲) برای بررسی خشکسالی هواشناسی در حوضه کارون یک از تحلیل فراوانی منطقه‌ای استفاده نمودند. نتایج حاصل از معیار نکوئی برازش نشان داد که توزیع پیرسون نوع سوم می‌تواند برازش ناحیه‌ای خوبی برای کل منطقه داشته باشد. برزگر و ملکی‌نژاد (۱۳۹۳) با استفاده از گشتاورهای خطی به پیش‌بینی خشکسالی در حوضه آبریز ایران مرکزی، با استفاده از داده‌های بارش سالانه ۴۷ ایستگاه منطقه برای تعیین مناطق همگن پرداختند. نتایج نشان داد که احتمال وقوع خشکسالی‌های متوسط و شدید در مناطق شمال و غرب ایران مرکزی بیش‌تر می‌باشد. Modarres (۲۰۱۰) برای آنالیز فرکانس منطقه‌ای خشکی در اصفهان از روش گشتاور خطی و آنالیز چندمتغیره استفاده نمود. در این تحقیق تحلیل خوشه‌ای منطقه‌بندی با استفاده از آمار ۳۱ ایستگاه انجام گرفت.

Burn (۱۹۹۷) الگوریتم K-means را برای تشخیص گروه‌بندی مناسب یک شبکه از ایستگاه‌های هیدرومتری در مانتوبای جنوبی کانادا به کار گرفت. Goel و Burn (۲۰۰۰) خوشه‌بندی سلسله مراتبی را برای منطقه‌بندی سیلاب در حوضه‌های آبریز کانادا به کار گرفتند. Rao و Srinivas (۲۰۰۶) عملکرد الگوریتم‌های خوشه‌بندی ترکیبی را روی ۲۶۵ ایستگاه هیدرومتری در ایالت ایندیانا در تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق عملکرد شاخص‌های مختلف صحت خوشه‌بندی مورد بررسی قرار گرفت.

تمام مطالعات فوق‌الذکر و دیگر مطالعاتی که در زمینه خشکسالی و استفاده از SPI به هر دو صورت ایستگاهی و منطقه‌ای صورت گرفته است به هیچکدام از سؤالات تحقیق که در مقدمه ذکر گردیدند، علی‌رغم اهمیتی که در پایش و پیش‌بینی خشکسالی و برنامه‌ریزی برای مقابله با آن دارند، پاسخ نمی‌دهند. براین اساس در این مطالعه در وهله اول به منطقه‌بندی بارش و SPI به‌طور جداگانه در حوضه تالاب انزلی پرداخته شده است. در همین مبحث سعی شده است که نشان داده شود که آیا

گذراننده است. رضیئی و همکاران (۱۳۸۲) با بیان مزایای شاخص SPI، به پایش خشکسالی در ایران مرکزی با استفاده از این شاخص برای مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه پرداختند. برای این تحقیق داده‌های بارندگی ماهانه ۲۲ ایستگاه هواشناسی واقع در استان‌های یزد و اصفهان در یک دوره ۴۰ ساله مورد بررسی آماری قرار گرفت. نتایج نشان داد که خشکسالی از غرب به شرق از یک روند تقریباً افزایشی پیروی نموده و در حاشیه شرقی استان یزد به حداکثر می‌رسد. نکته مشترک در همه این مطالعات آن است که با وجود تفاوت‌های موجود در اقلیم‌های مورد مطالعه، شاخص SPI با موفقیت نسبی در محاسبات خشکسالی ایستگاهی مورد استفاده قرار گرفته است.

#### مطالعات منطقه‌ای خشکسالی:

توزیع منطقه‌ای خشکسالی یکی از ویژگی‌های مهم آن می‌باشد. در تحلیل فراوانی منطقه‌ای از داده‌های چندین ایستگاه مشابه به منظور تخمین توابع توزیع فراوانی داده‌های مشاهداتی در هر ایستگاه استفاده می‌شود. برای تحلیل منطقه‌ای می‌توان از تکنیک‌هایی مانند تحلیل خوشه‌ای و نیز گشتاورهای خطی استفاده نمود. از مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به تهیه اطلس خشکی در ایالات متحده توسط Wrick (۱۹۹۵)، تهیه اطلس خشکی در جنوب آلمان توسط Demuth و Kulls (۱۹۹۷)، بررسی خشکسالی در شمال غرب مکزیک توسط Hallack و Watkins (۲۰۰۷) و بررسی خشکسالی در ترکیه توسط Yurekli و Anli (۲۰۰۸) اشاره نمود. Vicente-Serrano (۲۰۰۶) به‌منظور محاسبه شاخص بارش استاندارد در پنسیلوانیا از تکنیک گشتاور خطی استفاده نمود اما آزمون‌های مربوط به تایید همگنی مناطق خوشه‌بندی شده را انجام نداد. Nunez و همکاران (۲۰۱۱) از روش گشتاورهای خطی برای بررسی خشکسالی در منطقه شیلی استفاده نمودند و نتایج آن را در این زمینه رضایت‌بخش دانستند. ساداتی‌نژاد و همکاران

در مطالعات منطقه‌ای خشکسالی لازم است که ایستگاه‌ها علاوه بر پراکنش مناسب از دوره آماری مناسبی نیز برخوردار باشند. با توجه به پایین بودن ضریب تغییرات بارش در منطقه مورد مطالعه و به منظور حفظ هر چه بیش‌تر ایستگاه‌ها، دوره آماری مشترک ۱۵ ساله (۱۳۷۹-۱۳۹۴) برای مطالعه منطقه‌ای خشکسالی انتخاب گردید. به همین منظور ایستگاه اولی‌سخوار به دلیل کمبود داده‌های بارندگی و با توجه به وجود دو ایستگاه ماسال و طاسکوه در نزدیکی آن، مورد استفاده قرار نگرفت. شایان ذکر است که در مطالعات اقلیمی، دوره آماری مناسب بدون توجه به میزان پراکنش و به عبارت بهتر ضریب تغییرات داده‌ها، غالباً ۳۰ سال ذکر می‌گردد. در این مطالعه دسترسی به سی سال داده برای همه ایستگاه‌ها ممکن نبود که این امر می‌تواند در صحت مقادیر SPI محاسبه شده تأثیرگذار باشد ولی لطمه‌ای به اهداف تحقیق که مقایسه روش‌های تحلیل منطقه‌ای است وارد نمی‌سازد. نکته مهم دیگر آن است که در ارزیابی تغییرات پارامترهای توزیع گاما در دو دوره ۱۰ و ۱۵ ساله در هر کدام از ایستگاه‌های منطقه، تغییر معنی‌داری در پارامترهای توزیع در سطح ۱ درصد مشاهده نشد که این امر می‌تواند مؤید کفایت نسبی داده‌ها با طول ۱۵ سال برای ادامه مطالعه باشد (Wu et al., 2005). شکل ۱ توزیع مکانی ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱. توزیع مکانی ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در تحلیل منطقه‌ای خشکسالی

ارزیابی منطقه‌ای خشکسالی تحت تأثیر نوع داده اولیه قرار می‌گیرد یا خیر. در وهله دوم برای منطقه مطالعاتی، که به علت قرار گرفتن در منطقه‌ای پربارش ظاهراً از توزیع یکنواخت داده‌ها برخوردار است، با استفاده از روش‌های گشتاورهای خطی، خوشه‌بندی سلسله مراتبی و K-means به بارز نمایی عدم همگنی احتمالی پرداخته شده و علاوه بر بررسی وجود اختلاف در نتایج حاصله بر حسب نوع داده پایه مورد استفاده در تحلیل منطقه‌ای، اختلاف سه روش مزبور در تشخیص مناطق همگن مورد بحث و بررسی قرار گیرد. در نهایت و با توجه به استفاده از مقیاس‌های مختلف زمانی در تحلیل خشکسالی، تلاش شده است تا تأثیر مقیاس مزبور بر نتایج حاصله ارزیابی گردد.

#### مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز تالاب انزلی (فومنات) با مساحتی برابر با ۳۷۴۰ کیلومتر مربع می‌باشد. به منظور بررسی منطقه‌ای خشکسالی از ایستگاه‌هایی به شرح جدول ۱ استفاده شد.

#### جدول ۱. ایستگاه‌های باران سنجی و تبخیرسنجی

موجود در حوضه مورد مطالعه

| نام ایستگاه | نوع ایستگاه | تعداد سال‌های آماری |
|-------------|-------------|---------------------|
| اولی‌سخوار  | باران سنجی  | ۷                   |
| بندر انزلی  | تبخیرسنجی   | ۵۵                  |
| فومن        | باران سنجی  | ۱۵                  |
| طاسکوه      | باران سنجی  | ۱۵                  |
| رشت         | تبخیرسنجی   | ۵۷                  |
| ماسال       | تبخیرسنجی   | ۳۶                  |
| کسما        | تبخیرسنجی   | ۵۷                  |
| قلعه رودخان | تبخیرسنجی   | ۵۷                  |
| چوبر شفت    | تبخیرسنجی   | ۱۹                  |
| ماسوله      | تبخیرسنجی   | ۲۲                  |

## شاخص بارش استاندارد (SPI)

شاخص بارش استاندارد (SPI) که توسط McKee و همکاران (۱۹۹۵) توسعه یافته است احتمال بارش را برای هر بازه زمانی مشخص می‌کند. آنان در استخراج این شاخص فرض را بر این گذاشتند که بارندگی از توزیع گاما تبعیت می‌کند (در مراجع جدید از توزیع لوگ پیروسون، که البته آن‌هم توزیعی از خانواده گاما و در واقع گامای سه پارامتری به‌شمار می‌آید، هم استفاده شده است (هاشمی نصب و همکاران، ۱۳۹۶)). هر چند که در ایران، براساس ادبیات موجود، هنوز توافقی همگانی بر استفاده از شاخصی جامع و مانع در تحلیل خشکسالی وجود ندارد، می‌توان گفت که SPI برای ایران پرکاربردترین شاخص در میان شاخص‌ها به حساب می‌آید. شاخص SPI از داده‌های بارش ماهانه برای تشخیص کمبود میزان بارندگی در مقیاس‌های زمانی چندگانه (۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه) استفاده می‌کند. توزیع گاما که بر داده‌های بارش برازش داده می‌شود نهایتاً با استفاده از تبدیلاتی که نمونه‌ای از آن تبدیل آبرامویتز استگان می‌باشد به توزیع نرمال استاندارد Z تبدیل می‌شود که در آن مقادیر منفی معرف خشکسالی و مقادیر مثبت معرف ترسالی می‌باشند. با استفاده از تبدیل یاد شده مقدار SPI به عنوان یک متغیر نرمال شده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$SPI = Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

که در آن  $\mu$  و  $\sigma$  به ترتیب میانگین بارندگی و انحراف از معیار جامعه می‌باشند. اکنون با داشتن مقدار SPI از معادله (۱) می‌توان وضعیت خشکسالی را از جدول ۲ برآورد نمود. مقادیر مثبت SPI معرف بارش بیشتر از میانه و مقادیر منفی معرف بارش کم‌تر از میانه می‌باشند.

## جدول ۲. طبقه‌بندی خشکسالی با استفاده از

## شاخص SPI

| مقدار SPI               | طبقه خشکسالی       | احتمال (%) |
|-------------------------|--------------------|------------|
| $-1 \leq SPI \leq -1/5$ | خشکسالی متوسط      | ۹/۲        |
| $-2 \leq SPI \leq -1/5$ | خشکسالی شدید       | ۴/۴        |
| $SPI \leq -2$           | خشکسالی بسیار شدید | ۲/۳        |

## روش‌های بررسی منطقه‌ای خشکسالی

## روش خوشه بندی

یکی از روش‌های منطقه‌بندی، تحلیل خوشه‌ای است. تحلیل خوشه‌ای گونه‌ای از روش‌های آماری چندمتغیری است که برای خوشه‌بندی داده‌ها در گروه‌های مشابه مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های تحلیل خوشه‌ای به دو دسته کلی روش‌های سلسله مراتبی<sup>۱</sup> و غیرسلسله مراتبی<sup>۲</sup> (افزایی<sup>۳</sup>) تقسیم می‌شوند. چندین الگوریتم معروف که کاربرد زیادی در تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی دارند، شامل الگوریتم‌های تک پیوند<sup>۴</sup>، پیوند متوسط<sup>۵</sup> و پیوند کامل<sup>۶</sup> و الگوریتم Ward می‌باشد. این الگوریتم‌ها در روش تعیین شباهت و یا فاصله بین اعضاء و گروه‌ها با یکدیگر متفاوتند. در هر سه الگوریتم اول از معیار فاصله میان دسته‌ها برای تعیین شباهت استفاده می‌شود حال آنکه در روش Ward برای کاهش تلفات ناشی داده‌های دور افتاده<sup>۷</sup> از معیار مجموع مربعات تفاضل هر داده از یک خوشه با بردار میانگین آن خوشه استفاده می‌شود. از جمله انواع الگوریتم‌های خوشه‌بندی افزایشی نیز می‌توان به الگوریتم‌های K-means و K-medoids اشاره کرد. در این روش‌ها تلاش می‌شود تا گروه‌بندی طبیعی موجود در داده‌ها بازیابی شود. در این روش از دوری و نزدیکی داده‌ها به میانگین دسته به‌عنوان معیار شباهت استفاده می‌گردد. از جمله اختلافات میان دو دسته روش‌های افزایشی و سلسله مراتبی خوشه‌بندی می‌توان به این نکته اشاره کرد که الگوریتم‌های خوشه‌بندی افزایشی نیازمند یک حدس اولیه هستند در حالی که روش‌های سلسله مراتبی تحت تأثیر تعیین شرایط اولیه قرار نمی‌گیرند. درعین حال روش‌های افزایشی در حدی که بردارهای مشخصه بتوانند از یک خوشه به خوشه دیگر برای کمینه‌سازی تابع هدف

<sup>1</sup> Hierarchical

<sup>2</sup> Non-hierarchical

<sup>3</sup> Partitional

<sup>4</sup> Single linkage

<sup>5</sup> Average linkage

<sup>6</sup> Complete linkage

<sup>7</sup> Outlier

معیاری از پراکندگی می‌باشد. نسبت  $\lambda_2$  به  $\lambda_1$  یا  $\tau$ ، به‌عنوان ضریب تغییرات گشتاور خطی، نسبت  $\lambda_3$  به  $\lambda_2$  یا  $\tau_3$ ، به‌عنوان ضریب چولگی خطی و نسبت  $\lambda_4$  به  $\lambda_3$  یا  $\tau_4$ ، به‌عنوان ضریب کشیدگی گشتاور خطی می‌باشد.

آزمون ناهمنوایی<sup>۱</sup> مبتنی بر گشتاورهای خطی به‌منظور تشخیص ایستگاه‌های ناهمنوا از مجموعه ایستگاه‌های مورد مطالعه انجام می‌گیرد. برای این منظور آماره  $D_i$  بر اساس نسبت گشتاورهای خطی  $\tau_3$  و  $\tau_4$  هر ایستگاه محاسبه می‌شود. اگر  $D_i$  بزرگ باشد، ایستگاه  $i$ م ناهمنوا تلقی می‌گردد. تعریف مقدار بزرگ بودن، بستگی به تعداد ایستگاه‌های موجود در گروه دارد. اگر  $D_i$  از مقادیر بحرانی بیش‌تر باشد، ایستگاه مورد نظر ناهمنوا خواهد بود. مقادیر حد مجاز آماره مذکور بر حسب تعداد ایستگاه‌های موجود در ناحیه مورد بررسی از  $1/333$  برای ۵ ایستگاه، تا ۳ برای ۱۵ ایستگاه و بیش‌تر تغییر می‌کند.

اگر تغییرپذیری یا فضای پراکنش ایستگاه‌ها بزرگ باشد، احتمال تعلق این ایستگاه‌ها به یک مجموعه واحد را می‌توان به وسیله آزمون ناهمگنی<sup>۲</sup> گشتاورهای خطی بررسی کرد. آزمون ناهمگنی گشتاورهای خطی یک توزیع چهارپارامتری کاپا را به سری داده‌های مشاهداتی منطقه برازش داده و به روش شبیه‌سازی مونت کارلو یک دسته ۵۰۰ تایی از داده‌های منطقه‌ای را تولید می‌کند. سپس تغییرپذیری گشتاورهای خطی ناحیه‌ای واقعی را با گشتاورهای خطی سری شبیه‌سازی مقایسه می‌نماید. عموماً سه آماره ناهمگنی  $H_1$  برای بررسی ضریب تغییرات خطی  $(L_{cv})$ ، آماره  $H_2$  برای ترکیبی از ضریب تغییرات خطی و ضریب چولگی خطی  $(L_{cs})$  و آماره  $H_3$  برای ترکیبی از ضریب چولگی و ضریب کشیدگی خطی  $(L_{ck})$  به‌کار گرفته می‌شود. هر یک از آماره‌های  $H$  دارای فرم عمومی زیر می‌باشند:

$$H = \frac{(V_{obs} - \mu_v)}{\sigma_v} \quad (5)$$

حرکت کنند، پویا هستند اما در روش‌های سلسله مراتبی، بردارهای مشخصه تعلق گرفته به یک خوشه در مراحل ابتدایی نمی‌توانند به خوشه دیگری انتقال یابند (یقینی و همکاران، ۱۳۸۸).

### روش گشتاورهای خطی

از جمله جدیدترین روش‌ها برای تحلیل‌های منطقه‌ای، روش گشتاورهای خطی می‌باشد. گشتاورهای خطی ترکیبات خطی از آماره‌های ترتیبی هستند که به داده‌های پرت حساس نبوده و برای نمونه‌های کوچک از داده‌های مشاهداتی نیز غیراریب می‌باشند. Hosking و Wallis (۱۹۹۷) نشان دادند که گشتاورهای وزنی احتمال و گشتاورهای خطی جهت تخمین پارامترهای توابع توزیع، به خصوص در مطالعات منطقه‌ای بسیار مناسبند. گشتاورهای خطی مناسب‌تر و آسان‌تر از گشتاورهای احتمال هستند چون می‌توانند مستقیماً به عنوان اندازه‌هایی از مقیاس و شکل توزیع‌های احتمال تشریح شوند.

Greenwood و همکاران (۱۹۷۹) گشتاورهای وزنی احتمال را برای متغیر تصادفی  $X$  با تابع توزیع تجمعی  $F$  و امید ریاضی  $E$  به این صورت بیان نمودند:

$$\beta_r = E\{X[F(X)]^r\} \quad (2)$$

که در آن  $\beta_r$ ، برآوردگر موقعیت، و  $r$  مرتبه گشتاور می‌باشد. Hosking (۱۹۹۷) چهار گشتاور خطی نخست که ترکیباتی خطی از گشتاورهای وزن دار احتمال هستند را به ترتیب به‌صورت زیر معرفی نمود:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \beta_0 \\ \lambda_2 &= 2\beta_1 - \beta_0 \\ \lambda_3 &= 6\beta_2 - 5\beta_1 + \beta_0 \\ \lambda_4 &= 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \end{aligned} \quad (3)$$

نسبت گشتاورهای خطی نیز توسط Hosking و Wallis (۱۹۹۷) به‌صورت زیر ارائه شد:

$$\tau = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad \text{و} \quad \tau_r = \frac{\lambda_r}{\lambda_2} \quad (4)$$

در این روابط، میانگین گشتاور خطی یا  $\lambda_1$ ، معیاری از تمایل به مرکز و انحراف معیار گشتاور خطی یا  $\lambda_2$

<sup>1</sup> Discordancy test

<sup>2</sup> Non-heterogeneity

## منطقه‌بندی خشکسالی براساس توزیع مکانی SPI

با واکاوی اولیه در نتایج خوشه‌بندی به روش Ward میزان شباهت ۷۰ و ۹۰ درصد برای مقایسه نتایج انتخاب شد. نتیجه به دست آمده از روش K-means در جدول شماره ۳ و نتایج مربوط به دو حالت روش Ward در شکل‌های شماره ۲-الف و ۲-ب ارائه شده است. همانطوری که ملاحظه می‌گردد تعداد مناطق تعریف شده به روش Ward با استفاده از معیار شباهت ۹۰ درصد (Ward90%) هفت منطقه می‌باشد حال آنکه دو روش Ward70% و K-means براساس SPI سه منطقه همگن را تشخیص داده‌اند. البته دو روش مزبور تفاوت و تمایزی در خصوص منطقه همگن شماره ۲ دارند. در منطقه‌بندی انجام شده توسط روش K-means، رشت به منطقه ۳ ولی در روش Ward70% این شهر در منطقه ۲ جایابی شده است. استفاده از روش گشتاورهای خطی نتیجه‌ای متفاوت نسبت به دو روش خوشه‌بندی بدست داد چنانکه برای مقادیر SPI سالانه تمام حوضه تالاب انزلی با روش گشتاورهای خطی یک منطقه بدون تغییرپذیری معنی‌دار تشخیص داده شد.

جدول ۳. تعداد مناطق براساس داده‌های SPI سالانه به

## روش K-means

| ایستگاه | طاسکیر | مانال | کسما | رشت | ماسوله | قلعه رودخان | فون | تورک | انزلی |
|---------|--------|-------|------|-----|--------|-------------|-----|------|-------|
| ۱       | ۱      | ۱     | ۱    | ۱   | ۱      | ۱           | ۱   | ۱    | ۱     |

## نتایج و بحث

که در آن  $\mu_v$  و  $\sigma_v$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار مقادیر شبیه‌سازی شده متغیر موردنظر و پارامتر  $V_{obs}$  مقادیر محاسبه شده متغیر مورد نظر با استفاده از داده‌های منطقه‌ای است. این پارامتر مبتنی بر یک آماره  $V$  بوده که برای آماره  $H$  به ترتیب زیر تعریف شده است:

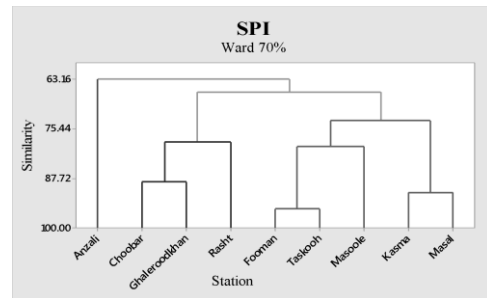
$$V_1 = \frac{\sum_{i=1}^N n_i (t^{(i)} - t^{(R)})^2}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (6)$$

که در آن  $n_i$  اندازه نمونه در ایستگاه  $i$ ،  $t^{(i)}$  گشتاور خطی نمونه و  $t^{(R)}$  میانگین نقطه‌ای گشتاور خطی نمونه می‌باشد. اگر  $H$  به اندازه کافی بزرگ باشد، ناحیه مورد بررسی ناهمگن خواهد بود. یک ناحیه وقتی می‌تواند به عنوان ناحیه همگن قابل قبول باشد که  $H < 1$  باشد. وقتی که  $1 < H < 2$  باشد ناحیه نسبتاً ناهمگن و اگر  $H > 2$  باشد ناحیه ناهمگن خواهد بود (Hosking and Wallis, 1997).

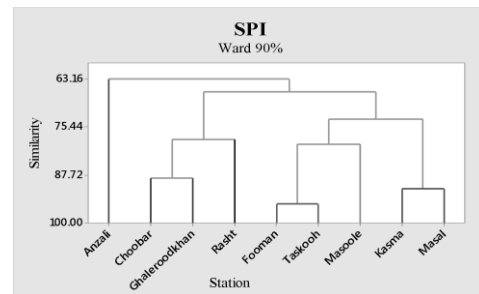
در این تحقیق برای محاسبه شدت‌های خشکسالی از شاخص SPI به‌عنوان پرکاربردترین شاخص خشکسالی هواشناسی در ایران استفاده شد. برای این منظور نرم‌افزار DrinC مورد استفاده قرار گرفت. از میان روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی با توجه به محدودیت موجود در دوره آماری در دسترس، به‌منظور کاهش تلفات ناشی از داده‌های دورافتاده (پرت) از روش Ward و از میان روش‌های خوشه‌بندی غیرسلسله مراتبی از پرکاربردترین و تنها روش موجود در نرم‌افزار Minitab یعنی از روش K-means استفاده شد.

به‌منظور بررسی وجود و یا عدم وجود اختلاف در منطقه‌بندی بر اساس استفاده از بارش و یا SPI در این بخش به ترتیب بر اساس دو عامل مزبور به منطقه‌بندی اقدام می‌گردد. در کنار این مسأله، موضوع توانایی روش‌های گشتاور خطی، خوشه‌بندی سلسله مراتبی و غیرسلسله مراتبی (افزایی) برای هر دو حالت استفاده از داده‌های بارش و SPI در منطقه‌بندی از نظر خشکسالی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

برای دیدن اثر تداوم زمانی کمتر از یکسال بر عملکرد روش‌های مورد بحث در بررسی وضعیت همگنی داده‌ها، منطقه‌بندی حوضه برای SPI با تداوم‌های زمانی ۱، ۳ و ۶ ماهه نیز صورت گرفت. جدول ۴-الف و ۴-ب به ترتیب نتایج حاصله از اعمال روش‌های Ward70% و K-means برای SPI درحالات ۱، ۳ و ۶ ماهه را نشان می‌دهد. در خصوص روش گشتاورهای خطی نیز مجدداً در همه تداوم‌های زمانی همه ایستگاه‌ها همگن بوده و مقادیر D و H1 از حدود بحرانی کمتر و کل حوضه از نظر توزیع مکانی SPI، مجدداً یک ناحیه تشخیص داده شد.



شکل ۲-الف. منطقه‌بندی بر اساس داده‌های SPI سالانه با Ward70%



شکل ۲-ب. منطقه‌بندی بر اساس داده‌های SPI سالانه با Ward90%

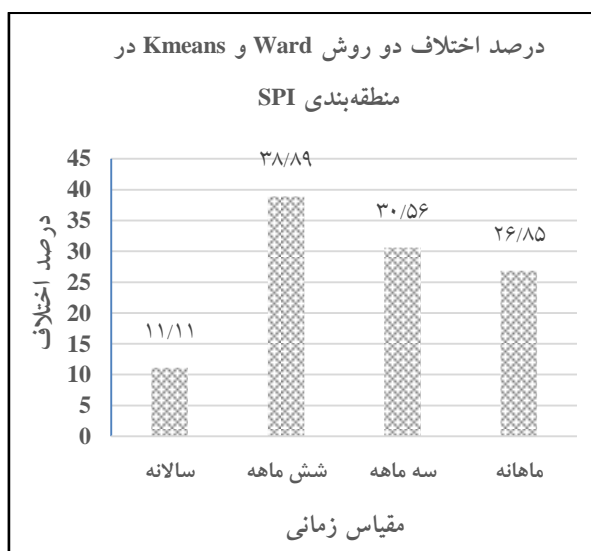
جدول ۴-الف. تعداد مناطق براساس داده‌های SPI ۱، ۳ و ۶ ماهه به روش Ward70%

| ماه               | طاسکوه | رشت | ماسوله | ماسال | کسما | قلعه‌رودخان | فومن | چوبرشت | انزلی |
|-------------------|--------|-----|--------|-------|------|-------------|------|--------|-------|
| Oct               | ۲      | ۱   | ۱      | ۲     | ۲    | ۱           | ۲    | ۱      | ۱     |
| Nov               | ۲      | ۱   | ۲      | ۱     | ۱    | ۲           | ۲    | ۲      | ۱     |
| Dec               | ۲      | ۲   | ۲      | ۱     | ۱    | ۲           | ۱    | ۲      | ۱     |
| Jan               | ۱      | ۱   | ۲      | ۲     | ۲    | ۲           | ۲    | ۱      | ۱     |
| Feb               | ۱      | ۱   | ۱      | ۱     | ۱    | ۱           | ۱    | ۱      | ۱     |
| Mar               | ۲      | ۲   | ۲      | ۲     | ۲    | ۲           | ۲    | ۲      | ۱     |
| Apr               | ۱      | ۱   | ۱      | ۱     | ۱    | ۱           | ۱    | ۱      | ۱     |
| May               | ۱      | ۱   | ۲      | ۱     | ۱    | ۲           | ۱    | ۲      | ۱     |
| Jun               | ۱      | ۱   | ۱      | ۱     | ۱    | ۱           | ۱    | ۱      | ۱     |
| Jul               | ۱      | ۱   | ۱      | ۱     | ۱    | ۱           | ۱    | ۱      | ۱     |
| Aug               | ۲      | ۱   | ۲      | ۱     | ۲    | ۲           | ۲    | ۲      | ۱     |
| Sep               | ۲      | ۱   | ۱      | ۲     | ۲    | ۱           | ۲    | ۱      | ۱     |
| Oct,Nov,Dec       | ۱      | ۱   | ۲      | ۱     | ۱    | ۲           | ۱    | ۲      | ۱     |
| Jan,Feb,Mar       | ۲      | ۲   | ۲      | ۲     | ۲    | ۲           | ۲    | ۲      | ۱     |
| Apr,May,Jun       | ۲      | ۱   | ۱      | ۲     | ۲    | ۱           | ۲    | ۱      | ۱     |
| Jul,Aug,Sep       | ۱      | ۱   | ۱      | ۱     | ۱    | ۱           | ۱    | ۱      | ۱     |
| 6 month (Oct-Mar) | ۳      | ۳   | ۲      | ۳     | ۳    | ۲           | ۳    | ۲      | ۱     |
| 6 month (Apr-Sep) | ۱      | ۱   | ۲      | ۱     | ۱    | ۲           | ۱    | ۲      | ۱     |



جدول ۴-ب. تعداد مناطق براساس داده‌های SPI ۱، ۳، ۶ و ماهه با روش K-means

| ماه                | طاسکوه | رشت | ماسوله | ماسال | کسما | قلعه‌رودخان | فومن | چوبرشت | انزلی |
|--------------------|--------|-----|--------|-------|------|-------------|------|--------|-------|
| Oct                | ۲      | ۲   | ۲      | ۱     | ۲    | ۲           | ۲    | ۲      | ۱     |
| Nov                | ۲      | ۱   | ۲      | ۲     | ۲    | ۲           | ۲    | ۲      | ۱     |
| Dec                | ۲      | ۲   | ۲      | ۲     | ۲    | ۲           | ۲    | ۲      | ۱     |
| Jan                | ۱      | ۱   | ۲      | ۲     | ۲    | ۲           | ۱    | ۲      | ۱     |
| Feb                | ۲      | ۱   | ۱      | ۲     | ۲    | ۲           | ۱    | ۲      | ۱     |
| Mar                | ۲      | ۲   | ۲      | ۲     | ۲    | ۲           | ۲    | ۲      | ۱     |
| Apr                | ۲      | ۲   | ۲      | ۲     | ۲    | ۲           | ۲    | ۲      | ۱     |
| May                | ۲      | ۲   | ۲      | ۲     | ۱    | ۲           | ۲    | ۲      | ۱     |
| Jun                | ۲      | ۲   | ۲      | ۲     | ۲    | ۲           | ۲    | ۲      | ۱     |
| Jul                | ۲      | ۱   | ۲      | ۲     | ۲    | ۲           | ۱    | ۲      | ۱     |
| Aug                | ۲      | ۱   | ۲      | ۲     | ۲    | ۲           | ۲    | ۲      | ۱     |
| Sep                | ۲      | ۱   | ۲      | ۲     | ۲    | ۲           | ۲    | ۱      | ۱     |
| Oct,Nov,Dec        | ۲      | ۱   | ۲      | ۱     | ۱    | ۲           | ۱    | ۲      | ۱     |
| Jan,Feb,Mar        | ۱      | ۲   | ۲      | ۲     | ۲    | ۲           | ۱    | ۲      | ۱     |
| Apr,May,Jun        | ۲      | ۲   | ۲      | ۲     | ۲    | ۲           | ۲    | ۲      | ۱     |
| Jul,Aug,Sep        | ۱      | ۱   | ۲      | ۲     | ۱    | ۲           | ۱    | ۲      | ۱     |
| 6 month (Oct-Mar)  | ۱      | ۲   | ۲      | ۲     | ۲    | ۲           | ۱    | ۲      | ۱     |
| 6 month (Apr- Sep) | ۲      | ۲   | ۲      | ۲     | ۲    | ۲           | ۲    | ۲      | ۱     |



شکل ۳. اثر مقیاس زمانی بر عملکرد روش‌های Ward و K-means

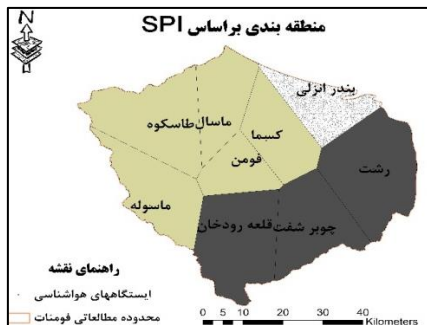
means در منطقه‌بندی بر اساس SPI

## منطقه‌بندی بر اساس بارندگی

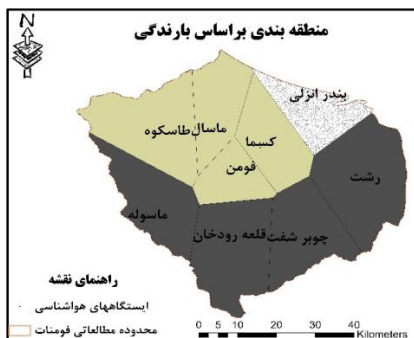
پس از منطقه‌بندی بر اساس مقادیر SPI، حوضه مورد مطالعه بر اساس مقادیر بارندگی نیز منطقه‌بندی شد.

بر این اساس می‌توان گفت که مقیاس زمانی مورد استفاده برای SPI بر عملکرد روش‌های Ward و K-means مؤثر می‌باشد. شکل ۳ خلاصه نتایج حاصل از این بخش در خصوص بارزنمایی اختلاف دو روش برای منطقه‌بندی بر اساس SPI را نشان می‌دهد. ارقام ستون‌ها نشان‌دهنده درصد اختلاف میان دو روش در جایابی ایستگاه‌ها در مناطق موجود می‌باشد. شکل ۳ نشان می‌دهد که اختلاف میان روش‌ها با افزایش دوره زمانی از یک ماه تا ۶ ماه اضافه شده ولی در حالت یک ساله در روند مزبور کاهش دیده می‌شود. علت کاهش میزان اختلاف روش‌ها برای وضعیت یکساله، تجمع بارش‌های ۶ ماه اول و دوم یعنی دوره کم بارش و پربارش ایستگاه‌ها با همدیگر و لذا جبران و به عبارت دیگر کاهش اختلافات میان ایستگاه‌هاست.

به‌عنوان یک گروه جداگانه است؛ در روش Ward70% اینستگاه‌های چوب‌شفت، قلعه رودخان و ماسوله و رشت در یک گروه هستند ولی در روش K-means اینستگاه‌های چوب‌شفت و قلعه رودخان در یک گروه مشترک قرار می‌گیرند و ماسوله و رشت با چهار اینستگاه دیگر در یک گروه دیگر قرار می‌گیرد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد نتیجه حاصل از منطقه‌بندی با روش‌های Ward90% و K-mean در دو حالت استفاده از داده‌های بارندگی و SPI سالانه تفاوتی نکرده است ولی روش Ward70% بر مبنای استفاده از این دو داده، مناطق متفاوتی را به دست می‌دهد. شکل شماره ۴ - الف و ب نقشه مناطق تشخیص داده شده با استفاده از روش Ward70% را بترتیب با استفاده از SPI و بارندگی سالانه نشان می‌دهند. همان‌طوری که دیده می‌شود در حالیکه روش مزبور در حالت استفاده از SPI ماسوله را متعلق به منطقه ۲ می‌داند، همین منطقه در حالت استفاده از بارش متعلق به منطقه ۳ می‌باشد.



شکل ۴-الف. منطقه‌بندی به روش Ward با استفاده از SPI سالانه



شکل ۴-ب. منطقه‌بندی به روش Ward با استفاده از بارندگی سالانه

بر اساس نتایج مندرج در جدول ۵، در این حالت نیز در منطقه‌بندی به روش خوشه‌بندی (روش سلسله مراتبی Ward) برای شباهت ۹۰ درصد، حوضه به ۷ منطقه و برای شباهت ۷۰ درصد به ۳ منطقه همگن تقسیم شده است.

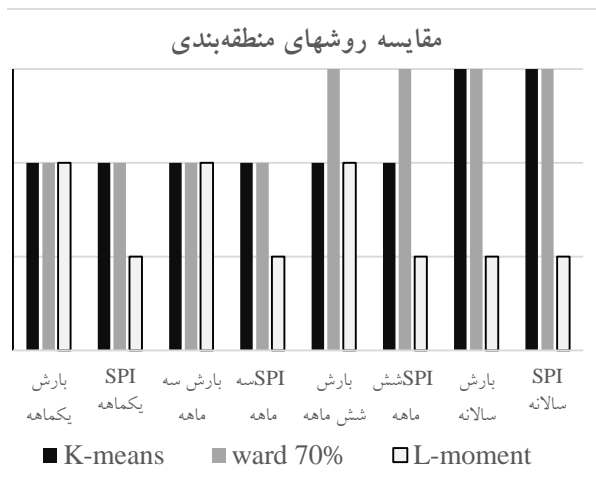
جدول ۵. شماره مناطق بر اساس داده‌های بارندگی سالانه به روش خوشه‌بندی

| روش     | ایستگاه      |              |      |      |                     |        |     |
|---------|--------------|--------------|------|------|---------------------|--------|-----|
|         | طاسکوه ماسال | ماسال طاسکوه | کسما | فومن | چوب‌شفت قلعه رودخان | ماسوله | رشت |
| K-means | ۳            | ۳            | ۳    | ۳    | ۲                   | ۳      | ۱   |
| Ward70% | ۳            | ۳            | ۳    | ۲    | ۲                   | ۲      | ۱   |
| Ward90% | ۳            | ۷            | ۷    | ۶    | ۵                   | ۴      | ۱   |

همانگونه که در جدول فوق ملاحظه می‌گردد درحالی‌که روش Ward70% همانند روش K-means سه منطقه را در حوضه تشخیص داده است، در روش Ward90% حوضه به هفت خوشه همگن تقسیم گردیده است. دلیل تعداد بالای خوشه‌ها در این حالت، نیاز به ارضای شرایط شباهت آماری ۹۰٪ بین داده‌ها می‌باشد. روش غیرسلسله‌مراتبی K-means حوضه را به ۳ منطقه تقسیم نموده است. نکته قابل توجه در تحلیل منطقه‌ای بارش سالانه آن است که در روش K-means، هم تعداد مناطق حاصله از بارندگی سالانه با تعداد مناطق حاصل از استفاده از SPI یکی شده است و هم عملاً جابجایی مکانی خاصی در منطقه‌بندی حاصله دیده نمی‌شود. ولی در عین حال تفاوتی میان روش‌های K-mean و Ward70% از نظر منطقه‌بندی ملاحظه می‌گردد که می‌تواند اهمیت داشته باشد. در حالی‌که در هر دو روش، ایستگاه انزلی

## نتایج و بحث

زون‌بندی و همچنین مقیاس زمانی بر نتیجه حاصله به‌خوبی در این شکل پیداست.



شکل ۵. اثر روش زون‌بندی، نوع داده و مقیاس زمانی بر تحلیل منطقه‌ای

## نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در تحلیل خشکسالی منطقه‌ای همواره در ابتدا برای هر ایستگاه در دوره زمانی مورد نظر، مثلاً سالانه، شاخص خشکسالی (که در اینجا SPI به‌عنوان پرکاربردترین شاخص مطرح می‌باشد) تولید شده و سپس با یکی از روش‌های مرسوم به منطقه‌بندی حوضه اقدام می‌گردد. سؤالی اساسی که در این تحقیق سعی شد تا پاسخی برای آن به‌دست آید این است که آیا اگر از ابتدا و بر اساس بارش به منطقه‌بندی اقدام گردد و سپس در هر منطقه مقدار SPI برآورد گردد نتیجه‌ای متفاوت از آنچه که مرسوم است به بار نخواهد آمد؟ این سوال از آنجا مطرح می‌گردد که شاخصی همچون SPI با استفاده از تبدیل‌هایی عددی یا غیرعددی، توزیع فراوانی بارش را، که پیش فرض مرسوم آن توزیع‌های فراوانی نظیر گاما و لوگ پیرسون است، به توزیع نرمال تبدیل می‌کند. بدیهی است که در اثر این نوع تبدیل دامنه تغییرات متغیر مورد مطالعه می‌تواند تغییر یافته و وزن اصلی به مقادیر متمایل به مرکز توزیع داده می‌شود. همین امر می‌تواند منجر به تغییر رفتار متغیر و کم‌رنگ شدن تمایز میان برخی از ایستگاه‌ها و لذا دستیابی به توزیع مکانی متفاوتی برای خشکسالی گردد.

در روش گشتاور خطی برای بارندگی در حالت سالانه، منطقه کاملاً همگن بدست آمد اما در حالات ۱ ماهه، ۳ ماهه (بارندگی فصلی) و ۶ ماهه (بارندگی در دو نیمه سال آبی) ناهمگنی در منطقه مشاهده می‌گردد. در حالت ۶ ماهه منتهی به دسامبر، ایستگاه انزلی با D برابر با  $1/78$  و  $H_1$  برابر با  $2/09$  به‌عنوان ایستگاه ناهمگن تشخیص داده شد. در حالت ۳ ماهه منتهی به ژوئن (بارش بهار) ایستگاه قلعه‌رودخان با D برابر با  $2/34$  و  $H_1$  برابر با  $1/98$  ناهمگن تشخیص داده شد. در حالت ماهانه نیز در ۸ ماه ناهمگنی مشاهده می‌گردد. جدول شماره ۶ ایستگاه‌های ناهمگن و نیز مقادیر  $H_1$  و D مربوطه را نشان می‌دهد. این در حالی است که در روش گشتاورهای خطی برای SPI در همه حالات ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه منطقه کاملاً همگن می‌باشد.

جدول ۶. منطقه‌بندی براساس داده‌های بارندگی ماهانه

| به روش گشتاورهای خطی |      |       |                |
|----------------------|------|-------|----------------|
| ماه                  | D    | H1    | ایستگاه ناهمگن |
| January              | ۰/۲۴ | ۰/۴۶  | -              |
| February             | ۲/۳۵ | ۳/۶۹  | انزلی، فومن    |
| March                | ۲/۳۳ | ۸/۱۲  | انزلی          |
| April                | ۲/۵  | ۱۲/۹۶ | انزلی          |
| May                  | ۲/۳۶ | ۵/۱۸  | انزلی          |
| June                 | ۲/۵۱ | ۱۱/۸۲ | انزلی، چوبرشت  |
| July                 | ۲/۱۷ | ۲/۱۷  | طاسکوه         |
| August               | ۱/۵  | ۱۰/۰۱ | انزلی، چوبرشت  |
| September            | ۱/۹۲ | ۲/۹۲  | انزلی          |
| October              | ۰/۵  | ۰/۸۶  | -              |
| November             | ۰/۵۳ | ۰/۹۴  | -              |
| December             | ۰    | ۰/۱۲  | -              |

شکل ۵ خلاصه نتایج به‌دست آمده از اعمال روش‌های Ward70%، K\_means و L\_moment را بر داده‌های بارش و SPI یکساله، شش، سه و یک ماهه نشان می‌دهند. اختلاف روش‌ها در زون‌بندی، تأثیر داده پایه بر

است. در ارزیابی علت این رخداد در بازه‌های زمانی کمتر از یک سال می‌توان گفت که چون برای محاسبه شدت‌های خشکسالی به روش SPI نرمال‌سازی صورت می‌گیرد تفاوت‌های موجود بین ایستگاه‌های مختلف با حذف و یا کاهش معنی دار چولگی (از تابع گاما به توزیع نرمال) سرشکن شده و ناهمگنی کاهش می‌یابد و این در حالی است که مقادیر واقعی بارندگی دارای ناهمگنی هستند.

یکی دیگر از نتایج به دست آمده از این مطالعه که مؤید نتایج کار دیگر محققین نیز می‌تواند قلمداد گردد اختلاف میان روش‌های گوناگون در منطقه‌بندی است. همانطوری که نتایج نشان دادند در حالی که روش Ward90% در مقیاس سالانه، چه برای SPI و چه برای بارش، هفت منطقه را به دست داد روش‌های Ward70% و K-means سه منطقه و روش گشتاورهای خطی فقط یک منطقه را در حوضه مطالعاتی نشان می‌دهند. همانطوری که ملاحظه می‌گردد تفاوت میان روش‌ها معنی‌دار بوده و نیازمند آن است که به‌طور مشخص روش برتر را برای مطالعه انتخاب نمود. علت زیاد بودن تعداد مناطق در روش Ward90% نسبت به سایر روش‌ها مشخص و واضح است ولی علت مشابهت دو روش ward70% و K-means و اختلاف نتایج این دو روش و روش گشتاورهای خطی نیاز به بحث دارد. زمانی که عامل مشابهت در روش Ward، بزرگ در نظر گرفته می‌شود در واقع شعاعی که در آن داده‌ها متعلق به یک دسته تلقی می‌شوند کوچک می‌شود و لذا تنوع و تعداد دستجات زیاد می‌گردد. براین اساس روش ward90% عملاً تعداد مناطق را نزدیک به تعداد ایستگاه‌های مورد مطالعه (۹ ایستگاه) به دست داده است. در خصوص اختلاف نتایج دو روش ward70% و K-means با نتایج روش گشتاورهای خطی برای SPI می‌توان مسأله را با میزان استفاده این روش‌ها از پارامترهای آماری جامعه مورد مطالعه مرتبط دانست. واقعیت آن است که در

نکته درخور توجه دیگری که دستمایه این تحقیق شده است زمان تداوم مورد استفاده برای بارش می‌باشد. سوالی که در این تحقیق تلاش شد تا پاسخی برای آن به دست آید آن است که آیا توزیع مکانی خشکسالی برای بارش‌های فصلی نیز تحت تأثیر تبدیل فوق‌الذکر قرار می‌گیرد؟ نکته اساسی دیگری که در این مقاله مطرح گردید آن است که در صورت وجود اختلاف میان مناطق همگن بارشی و مناطق تشخیص داده شده از طریق بکارگیری SPI، آیا روش‌های مختلف منطقه‌بندی می‌توانند روی نتیجه حاصله مؤثر بوده و آنها را در جهت همگرایی و یا واگرایی بیش‌تر سوق دهند؟ برای پاسخ به این سوالات و ایجاد چالش بیش‌تر، حوضه تالاب انزلی برای مطالعه انتخاب گردید که اولاً از نظر مقیاس نه چندان کوچک است که تغییرات در آن نتوانند خودنمایی کنند و ثانیاً آنقدر بزرگ نیست که عواملی همچون تنوع توپوگرافی و محیط طبیعی به‌طور مستقیم، ناحیه‌بندی خاصی را بر مطالعه تحمیل نمایند. نکته مهم دیگر در این انتخاب یکنواختی بارش در این بخش از شمال کشور است که استخراج تنوع مکانی به ازای تنوع زمانی را مشکل‌تر می‌سازد.

براساس نتایج به دست آمده در خصوص استفاده از نوع داده برای منطقه‌بندی، در مقیاس سالانه تفاوتی میان روش‌های مختلف در خصوص استفاده از بارش یا SPI دیده نشد. علت این امر را می‌توان به کم بودن میزان تغییرات در مجموع بارش سالانه در ایستگاه‌ها، مربوط دانست. در حالتی که دوره زمانی مورد مطالعه به کسری از سال یعنی ماهانه، سه ماهه و شش ماهه تقلیل یافت این روش گشتاورهای خطی بود که تفاوت میان استفاده از بارش یا SPI را برای منطقه‌بندی آشکار کرد. براساس نتایج به دست آمده از روش گشتاورهای خطی برای کلیه مقیاس‌های زمانی کم‌تر از یکسال، در حالی که منطقه همچنان از نظر SPI همگن محسوب می‌شود از نظر بارش دو منطقه متفاوت در حوضه مورد مطالعه قابل تفکیک

استفاده از شاخص SPI محاسبه شوند و یا برای منطقه‌بندی خشکسالی از شاخص‌هایی که در هنگام محاسبات از نرمال‌سازی استفاده نمی‌کنند بهره جست. نتیجه مهم دیگر حاصل از این مطالعات آن است که روش گشتاورهای خطی در ناحیه‌بندی، به‌خصوص در مناطقی که آشکارسازی اختلاف میان مشاهدات در منطقه دشوار است، بهتر از روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی و افرازی عمل می‌نماید.

در پایان این نکته را نیز باید افزود که علت انتخاب حوضه تالاب انزلی، همگنی زیاد منطقه و لذا ایجاد چالش برای روش‌های منطقه‌بندی و دیگر موضوعاتی بود که به‌عنوان سوال تحقیق ارائه و مورد بررسی قرار گرفت. به نظر می‌رسد که نتایج تحقیقات حاضر برای مناطق خشک و نیمه‌خشک با سهولت بیش‌تری به‌دست آید. این مهم، موضوعی است که می‌تواند دستمایه تحقیقات دیگری قرار گیرد.

مقیاس سالانه، منطقه مورد مطالعه از دیدگاه کارشناسی نیز تنوع چندانی نداشته و عملاً همگن محسوب می‌گردد. نکته قابل توجه دیگر در نتایج به‌دست آمد آن است که به‌طور معمول با افزایش مقیاس زمانی یکنواختی بیش‌تری در منطقه متصور است. این امر در روش گشتاورهای خطی دیده می‌شود ولی در دو روش 70% Wards و K\_means تعداد مناطق همگن برای دوره‌های زمانی کوتاه‌تر، کم‌تر از مقیاس زمانی بزرگتر مثلاً یک سال شده است.

در نهایت مهم‌ترین نتیجه‌ای که از این تحقیق قابل استنباط می‌باشد آن است که اولاً منطقه‌بندی با استفاده از شاخص خشکسالی SPI در دوره‌های زمانی کم‌تر از یکسال می‌تواند به علت استفاده از مقیاس‌های زمانی مختلف و روش‌های گوناگون معرف توزیع مکانی خشکسالی نباشد. بنابراین برای مطالعه منطقه‌ای خشکسالی یا باید در ابتدا با استفاده از داده‌های بارندگی منطقه‌بندی انجام شده و بعد شدت‌های خشکسالی با

#### منابع مورد استفاده

- اسلامی، ع. ر.، شکوهی، ع. ر. ۱۳۹۱. مقایسه کارایی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در مناطق شبه مدیترانه‌ای، مطالعه موردی: حوضه‌های آبخیز مازندران. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب.
- برزگر، ف.، ملکی نژاد، ح. ۱۳۹۳. استفاده از گشتاورهای خطی در پیش‌بینی خشکسالی، مطالعه موردی: حوضه آبریز ایران مرکزی. نشریه دانش آب و خاک. ۲۵ (۲): ۱۳-۲۳.
- رضیئی، ط.، شکوهی، ع.، ثقفیان، ب. ۱۳۸۲. پیش‌بینی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی با استفاده از روش‌های احتمالاتی و سری‌های زمانی (مطالعه موردی استان سیستان و بلوچستان). مجله بیابان. ۸ (۲): ۲۹۲-۳۰۷.
- ساداتی نژاد، س. ج.، علوی نیا، س. ح.، عابدی، ر.، هنربخش، ا.، عبدالهی، خ. ۱۳۹۲. تحلیل فراوانی منطقه‌ای دوره‌های خشک هیدرولوژیک با استفاده از روش گشتاورهای خطی در حوضه آبخیز دریای خزر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه صنعتی اصفهان.
- سلیمانی، ل.، حقی زاده، ع. ۱۳۹۴. ارزیابی تأثیر خشکسالی‌های اخیر بر کاهش آبدهی دریاچه‌ها، مطالعه موردی دریاچه کیو خرم آباد. فصلنامه بین‌المللی پژوهشی تحلیلی منابع آب و توسعه. ۳ (۲): ۹۹-۱۰۸.
- شکوهی، ع. ۱۳۹۱. مقایسه شاخص‌های RDI و SPI برای تحلیل خشکسالی در مقیاس ایستگاهی با تکیه بر خشکسالی کشاورزی (مطالعه موردی: قزوین و تاکستان). فصلنامه علمی و پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۳ (۹): ۱۱۱-۱۲۲.
- صمدیان فرد، س.، اسدی، ا. ۱۳۹۶. پیش‌بینی نمایه خشکسالی SPI به روش‌های رگرسیون بردار پشتیبان و خطی چندگانه. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۶ (۴): ۱-۱۶.
- قمقماقی، م.، بذرافشان، ج. ۱۳۹۱. پیش‌آگهی وضعیت خشکسالی هواشناسی در گستره ایران با استفاده از زنجیره مارکوف. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۱ (۳): ۱-۱۱.

- مروتی، ر.، شکوهی، ع. ۱۳۹۲. بررسی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص شناسایی خشکسالی (RDI). پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران.
- هاشمی نصب، آ.، بذرافشان، ج.، قمشلو، آ. ۱۳۹۴. ارزیابی شاخص خشکسالی توأم تحت شرایط اقلیمی ایران. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۴ (۳): ۵۳-۶۳.
- یقینی، م.، رنجپور، م.، یوسفی، ف. ۱۳۸۸. مروری بر الگوریتم‌های خوشه‌بندی. سومین کنفرانس داده‌کاوی ایران.
- Bihari, Z., Szentimrey, T., Lakatos, M., Gregoric, G. and Likso, T. 2010. Mapping of SPI drought index in south-eastern Europe theory and practice. Civil Aviation Conference (ECAC). Zurich. Switzerland.
- Burn, D.H. 1997. Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. *Journal of hydrology*, 202: 212-230.
- Burn, D.H. and Goel, N.K. 2000. The formation of groups for regional flood frequency analysis. *Hydrological science journal*, 45: 97-112.
- Demuth, S. and Kull, C. 1997. Probability aspects of analysis and regional droughts in southern Germany. *Resources under increasing sustainability of water uncertainty*, 240: 97-104.
- Hallack, M. and Watkins, D.W. 2007. Annual and warm season drought intensity-duration-frequency analysis for Sonora Mexico. *Journal of climate*, 20(9):1879-1909.
- Hosking, J.R.M. and Wallis, J.R. 1997. *Regional frequency analysis: An approach based on L-moments*. Cambridge University Press, New York, USA. p. 244.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple timescales. 9th conference on Applied Climatology, TX. USA. 233-236.
- Modarres, R. 2010. Regional dry spells frequency analysis by L-moment and multivariate analysis. *Water resource Manage*, 24: 2365-2380.
- Nunez, J H., Verbist, K., Wallis, J.R., Schaefer, M.G., Morales, L. and Cornelis, W.M. 2011. Regional frequency analysis for mapping drought events in north-central Chile. *Journal of hydrology*, 405: 352-366.
- Rao, A.R. and Srinivas, V.V. 2006. Regionalization of watersheds by fuzzy cluster analysis. *Journal of hydrology*, 318: 57-79.
- Rao, A.R. and Srinivas, V.V. 2006. Regionalization of watersheds by hybrid cluster analysis. *Journal of hydrology*, 318: 37-56
- Shokoohi, A. and Morovati, R. 2015. Basin wide comparison of RDI and SPI within an IWRM framework. *Water Resource Manage*, 29: 2011-2026.
- Vicente-Serrano, S M. 2006. Differences in spatial patterns of drought on different time scales: an analysis of the Iberian Peninsula. *Water Resources Management*, 20: 37-60.
- Wrick, W.J. 1995. National study of water management during drought. IWR report 94-NDS-12, Water resources center, US army corps of engineers.
- Wu, H., Hayes, M.J., Wilhite, D.A. and Svoboda, M.D. 2005. The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. *International journal of climatology*, 25: 505-520.
- Yurekli, K. and Anli, A.S. 2008. Analysis drought based on annual total rainfalls over Tokat province. *International journal of engineering science*, 2(2): 21-26.



ISSN 2251-7480

## The effect of basic data and time scale on selecting drought regional analysis method

Fahimeh Razi<sup>1</sup> and Alireza Shokuhi<sup>2</sup>

1) Ph.D. Student, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

2\*) Professor, Water Management Faculty, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

\* Corresponding author email: [shokoohi\\_ar@yahoo.com](mailto:shokoohi_ar@yahoo.com)

Received: 28-02-2018

Accepted: 29-11-2018

### Abstract

One important issue in drought studies is realizing the spatial pattern of drought events in a region through point estimation of the drought characteristics. In the first section of this research, in order to investigate the effect of probability distribution function transformation embedded in SPI, on the spatial distribution of drought, regional analysis was carried out using precipitation and SPI data, separately. The case study is the Anzali wetland watershed in the north of Iran. The results in terms of the employed regional analysis method and time scale were different. The results showed that by decreasing the time scales to less than 1 year, while by the SPI index the region was completely homogeneous, the region was divided into different sub-regions using precipitation. The important conclusion drawn from this part of the research was the necessity of zoning the region via precipitation and then analyzing drought in the obtained regions. In the second part of the research, a comparison was made among three zoning methods including; L-moment, hierarchical and non-hierarchical clustering methods using precipitation and SPI, separately. Overall, L-moment was more successful than the other two clustering methods in detecting homogeneous regions in the study area. Finally, it was concluded that reducing events time scales sharpened the difference between the zoning methods; therefore, choosing an appropriate zoning method would be more important in monthly and seasonal time resolutions.

**Keywords:** Anzali wetland watershed, Cluster Analysis, K-means, L-moment, SPI