

## تعیین روابط شدت، مدت، فراوانی و سطح درگیر با خشکسالی در شمال غرب ایران

پرویز رضائی<sup>۱</sup> - دانشیار اقلیم شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، رشت، ایران  
محمود روشنی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، رشت، ایران  
سیده مهشید امیرآبادی زاده - کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۲۶ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱/۲۷

### چکیده

پژوهش حاضر جهت بررسی ویژگی های خشکسالی و تعیین روابط شدت، مدت، فراوانی و سطح درگیر با خشکسالی در منطقه شمال غرب ایران صورت گرفته است. بدین منظور آمار مورد نیاز برای انجام این تحقیق از سازمان هواشناسی کل کشور و مدیریت منابع آب به مدت ۲۲ سال (اکتبر ۱۹۸۸ تا سپتامبر ۲۰۰۹) اخذ گردید. سپس داده ها به روش رگرسیون در نرم افزار Excel بازسازی و نیز از شاخص استاندارد شده بارش (SPI) جهت تجزیه و تحلیل داده ها استفاده شده است. نتایج حاصل از روش SPI نشان داد که فراوانی وقوع خشکسالی در شدت های ضعیف و متوسط طی سیکل زمانی مورد نظر، بیشتر رخ داده اند. رابطه مدت- فراوانی حاکی از وجود همبستگی معکوس بین دو ویژگی خشکسالی بوده و همبستگی مقادیر SPI در ۲۰ ایستگاه مورد مطالعه نشان دهنده همزمانی وقوع خشکسالی در ایستگاه های مجاور هم بوده است و با افزایش فاصله میزان آن کاهش می یابد. همچنین با ایجاد ماتریسی با ابعاد  $2 \times 2 \times 2$ ، که سطرها نشان دهنده زمان و ستون ها نیز ایستگاه ها را نشان می دهند، اقدام به گروه بندی بین ایستگاهی ضرایب ترسالی و خشکسالی به ۴ خوشه مجزا شده است. در واقع گروه بندی ایستگاه ها در چهار دسته مجزا حاکی از اختلاف برون گروهی بین ایستگاه های هر گروه و عدم اختلاف یا اختلاف ناچیز درون گروهی ایستگاه های هر گروه است. از این رو می توان گفت شرایط ترسالی و خشکسالی از لحاظ مکانی و زمانی در ایستگاه های هر گروه تقریباً یکسان و در بین گروه ها متفاوت است. همچنین معادلات رگرسیونی بدست آمده با استفاده از متغیر مستقل مدت نشان می دهد که روند حاکم بین این دو، در تمامی ایستگاه ها معکوس بوده و صرفاً از معادله خطی درجه یک پیروی نمی کند. زیرا افزایش ناگهانی فراوانی خشکسالی در مدت های ۴ و ۵ ماهه روند عمومی کاهش را تغییر داده و از حالت خطی خارج می کند. از طرف دیگر میزان کاهش فراوانی متناسب با افزایش مدت خشکسالی نبوده و در آن شیب های مختلف مشاهده می شود. سپس یک دوره زمانی ۸ ماهه (ماه فوریه تا سپتامبر ۲۰۰۷) انتخاب و بر مبنای طبقات خشکسالی - ترسالی، منطقه مورد مطالعه در قالب ۸ نقشه پهنه بندی گردید.

کلیدواژه ها: خشکسالی، بارش، شاخص استاندارد شده بارش، شدت، فراوانی، شمال غرب ایران.

## ۱. مقدمه

خشکسالی‌ها پدیده‌هایی بلندمدت هستند که مناطق وسیعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و سبب رکود شدید اکثر فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی می‌شوند. شناخت این پدیده، ویژگی‌ها و خصائص آن، آگاهی از امکانات، توانمندی‌ها و استعدادهای مناطق از یک طرف و ارائه راهکارهای کوتاه و بلندمدت از طرف دیگر، مدیران منابع آب‌های سطحی را بر آن می‌دارد تا به منظور کاهش خسارات خشکسالی آمادگی لازم را بوجود آورند. توزیع منطقه‌ای خشکسالی از جمله ویژگی‌های مهم آن می‌باشد، و بر همین اساس تحلیل منطقه‌ای وضعیت خشکسالی نسبت به بررسی ایستگاهی آن، سبب درک به مراتب کامل‌تری از این پدیده می‌شود. بنابراین آگاهی از شدت، تداوم و مساحت گستره‌های درگیر با خشکسالی و احتمال وقوع آن در دوره بازگشت‌های معین می‌تواند در مدیریت منابع آب و در شرایطی که این پدیده منابع حیاتی (آب، خاک، جنگل و مرتع) را در خطر انهدام و نابودی قرار داده است بسیار مؤثر و مفید باشد و مدیران مربوطه را در اتخاذ تصمیمات مناسب و سنجیده در این راستا یاری داده، تا خسارات ناشی از سال‌های همراه با خشکسالی را به حداقل برسانند. با توجه به اهمیت مسئله خشکسالی، مطالعات گسترده‌ای در مقیاس جهانی و کشور ایران جهت شناسایی و پایش آن صورت گرفته است. از جمله دالزیوس و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۰) براساس تحلیل منحنی‌های شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی، نقشه‌های هم‌شدت خشکسالی برای یونان را ترسیم کرده و نتیجه گرفتند که نواحی شمالی یونان نسبت به نواحی جنوبی آن از خشکسالی شدیدتری برخوردار است. تراکیریس و انجلیس<sup>۲</sup> (۲۰۰۴) در مقاله‌ای با عنوان «به طرف سیستم مشاهده خشکسالی بر مبنای *SPI* مکانی» نشان دادند خشکسالی منطقه‌ای را می‌توان از طریق روش‌های متنوع که عمدتاً با پیامدهای پیش‌بینی شده مرتبط هستند برآورد کرد. آنها معتقدند که آگاهی عمومی از وقوع، سطح تأثیر، شدت و مدت خشکسالی برای تصمیم‌گیری مهم می‌باشند. بنابراین شاخص استاندارد شده بارش (*SPI*) از این نظر قابلیت استفاده جهانی دارد. این روش با استفاده از یک مدل و محاسبه معمولی کامپیوتری نمایش داده می‌شود. زیرا آن قادر به حمایت از سیستم مشاهده خشکسالی یک ناحیه در مقیاس متوسط و تحلیل فضایی آن می‌باشد. لوکاس<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شدت خشکسالی در منطقه تسالی<sup>۴</sup>، یونان نشان دادند که شدت خشکسالی سالانه برای تمامی نواحی هیدرولوژیک و مقیاسهای زمانی *SPI* افزایش یافته و با سناریوهای اقتصادی اجتماعی *SRES A2* شدیدتر می‌شود. کیم و بیون<sup>۵</sup> (۲۰۰۹) در مقاله‌ای با عنوان الگوی

1 Dalezios et al

2Tsakiris and Vangelis

3Loukas

4Thessaly

5 Kim and Byun

آینده خشکسالی آسیا تحت سناریوی گرمایش جهانی به بررسی اثرات گرمایش جهانی بر روی خشکسالی آسیا در انتهای قرن ۲۱ از طریق روش کلی چند مدله بر مبنای داده‌های بارش روزانه و براساس ۱۵ نمونه شبیه‌سازی زوجی تحت سناریوی SRES AIB<sup>۱</sup> پرداختند. بر مبنای اقلیم‌شناسی شاخص بارش موثر<sup>۲</sup>، نتایج حاکی از افزایش در متوسط و انحراف معیار بارش در بیشتر نواحی آسیا است. افزایش فوق در نواحی عرض‌های بالاتر بطور قابل ملاحظه‌ای بیشتر بوده است. بنابراین به نظر می‌رسد در آینده خشکسالی در بیشتر قسمت‌های آسیا دارای فراوانی کمتر، و با شدت ضعیف‌تر و مدت کوتاه‌تر نسبت به گذشته رخ دهد. دو منطقه خاص در این تحقیق تعیین شده است: ۱- منطقه موسمی آسیا<sup>۳</sup> - آسیای جنوبی و شرقی، که با افزایش بیشتری در انحراف استاندارد بارش نسبت به میانگین بارش با یک سیکل بارش فصلی تقویت شده مشخص می‌شود. همچنین بخشی از منطقه موسمی آسیا افزایش کمی در خصوصیات خشکسالی مثل فراوانی و شدت را نشان می‌دهد. ۲- منطقه غرب آسیا است که کاهش در متوسط بارش، بویژه در بخش شمالی آن (سوریه و حول و حوش آن) دیده می‌شود و فراوانترین خشکسالی‌ها در این منطقه با افزایش شدت و طول مدت خشکسالی برآورد شده است. بوناکورسو<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی تغییرپذیری خشکسالی در جزیره سیسیل به روش SPI نتیجه گرفتند که در کل جزیره، تغییرپذیری خشکسالی با نوسانات چندساله و گرایش به سمت دوره‌های خشکتر از هفت سال بیشتر نمایان است. پاشیاردیس و میشالدیس<sup>۵</sup> (۲۰۰۸) با اجرای شاخص استاندارد شده بارش (SPI) و شاخص احیاء خشکسالی (RDI) جهت تخمین منطقه ای خشکسالی در قبرس نشان دادند که این دو شاخص برای تعیین شدت، مدت و گستره سطحی خشکسالی مناسب بوده و هردوی آنها بطور موثری برای تحلیل شرایط خشکسالی و پایش رخداد های خشکسالی می‌توانند بکار گرفته شوند. یلدیز<sup>۶</sup> (۲۰۰۹) با برآورد و تخمین خصوصیات زمانی و مکانی خشکسالی‌ها در حوضه سد هیرفانلی<sup>۷</sup> در ترکیه جهت تحلیل منطقه‌ای خشکسالی به منظور دستیابی به اطلاعات مفید جهت مدیریت پایدار منابع آب، توانست ویژگی‌های زمانی - مکانی ماهانه شدت - گستره سطحی - منحنی فراوانی خشکسالی را به روش SPI برای دوره برگشت‌های مختلف برای منطقه ایجاد کرده، سپس با استفاده از این روش، گستره سطحی شدت و دوره‌های برگشت خشکسالی‌های قدیمی انتخاب شده در منطقه فراهم، و ارزیابی از خشونت‌های خشکسالی در منطقه ارائه نمود. مسعودیان (۱۳۷۷) در تحقیق خود تحت عنوان

---

1 SRES AIB scenario

2 Effective precipitation

3 Asia monsoon region

4 Bonaccorso

5 Pashiardis and Michaelides

6 Yildiz

7 Hirfanli

«بررسی نظام تغییرات زمانی- مکانی بارش در ایران زمین» ضمن بررسی الگوهای زمانی- مکانی خشکسالی- ها روابطی به منظور تعیین گستره‌های دچار خشکسالی و شدت خشکسالی آنها ارائه داده و نتیجه گرفته که توزیع فراوانی شدت خشکسالی از نوع لوگ نرمال سه پارامتری است. روشنی و اسلامی (۱۳۸۸) جهت ارزیابی و پایش خشکسالی (شدت، مدت و فراوانی) در ساحل جنوبی دریای خزر بر روی ۵ ایستگاه سینوپتیک بندر انزلی، رشت، رامسر، بابلسر و گرگان در طی دوره‌ی آماری ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۳ (۴۸ سال) با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده *SPI* نشان دادند که فراوانی خشکسالی‌ها نسبت به ترسالی‌ها بیشتر بوده و بین ۶۲ تا ۸۳ درصد از فراوانی خشکسالی‌ها در مدت ۱ تا ۳ ماه رخ داده و دوره‌های خشک بلندمدت از فراوانی کمتری برخوردار هستند. همچنین همبستگی بالای ضریب خشکسالی در غرب نسبت به شرق ساحل بیانگر عدم همزمانی رخداد خشکسالی می‌باشد. رابطه مدت - فراوانی و شدت - فراوانی نشان‌دهنده کاهش فراوانی با افزایش شدت و مدت بوده و این موضوع درباره زیر دوره‌ها نیز به اثبات رسیده است. روشنی و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی ویژگی‌های خشکسالی سه دهه اخیر استان گیلان نشان دادند که رخداد خشکسالی در ایستگاه‌های نزدیک به هم از همزمانی برخوردار بوده و با فاصله گرفتن ایستگاه‌ها تفاوت آشکاری بین آنها مشاهده می‌شود و خشکسالی‌ها بطور دوره‌ای در منطقه رخ داده و فراوانی وقوع خشکسالی در ایستگاه‌های خشک و مرطوب متفاوت هستند.

تعیین ویژگی‌های شدت، مدت، فراوانی و سطح درگیر با خشکسالی و روابط حاکم بین آنها می‌تواند کمک بسزایی به مسئولین، محققین و پژوهشگران در جهت ارائه راهکارهای مناسب در مدیریت منابع آب- های سطحی، آب و خاک، کشاورزی، برنامه‌ریزی محیطی، شهری و روستایی و توریسم بنماید. در این راستا با توجه به اهمیت خشکسالی منطقه شمال غرب کشور در سال‌های اخیر، ما را برآن داشت تا ویژگی‌های خشکسالی جهت مقابله درست با این پدیده، مورد شناسایی و ارزیابی قرار گیرد.

## ۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب کشور بین طول جغرافیایی  $44^{\circ}02'20''$  تا  $48^{\circ}02'22''$  شرقی و عرض- جغرافیایی  $35^{\circ}58'05''$  تا  $39^{\circ}46'16''$  شمالی واقع شده است این منطقه استان‌های آذربایجان غربی، شرقی و اردبیل را در بر می‌گیرد. از لحاظ هیدرولوژیکی محدوده مورد بررسی در دو حوضه  $h_1$  و  $h_3$  یعنی بخشی از حوضه دریای خزر و حوضه دریاچه ارومیه را شامل می‌شود. حوضه آبی دریای خزر شامل آذربایجان، دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز از طولش تا کپه داغ و همچنین بخشی از دامنه‌های شرقی و شمالی زاگرس می‌باشد. حوضه آبی دریاچه ارومیه شامل حوضه‌های بسته و کوچک واقع در آذربایجان است که به ارتفاعات مرزی ایران و ترکیه و کوه‌های شمالی و شرقی و جنوب شرقی و غربی آذربایجان محدود می‌شود. رودخانه-

های عمده این حوضه آجی چای، زرینه رود، سیمینه رود و مجموعه‌ای از رودهای قسمت غربی دریاچه ارومیه است. این منطقه از نظر اقلیمی، مشخصات دشت‌های نیمه مرتفع عرض‌های میانی با آب و هوای عمومی زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً معتدل را دارا می‌باشد. تنوع توده هواهایی که به منطقه می‌رسند در رژیم حرارتی و بارش منطقه محسوس است. میانگین بارندگی در حوضه مورد نظر از ۳۰۰ تا ۷۰۰ میلی متر متغیر است و رژیم غالب آن مدیترانه‌ای با بارش اندک تابستانه می‌باشد.

### ۳. مواد و روش‌ها

#### ۳.۱. داده‌ها

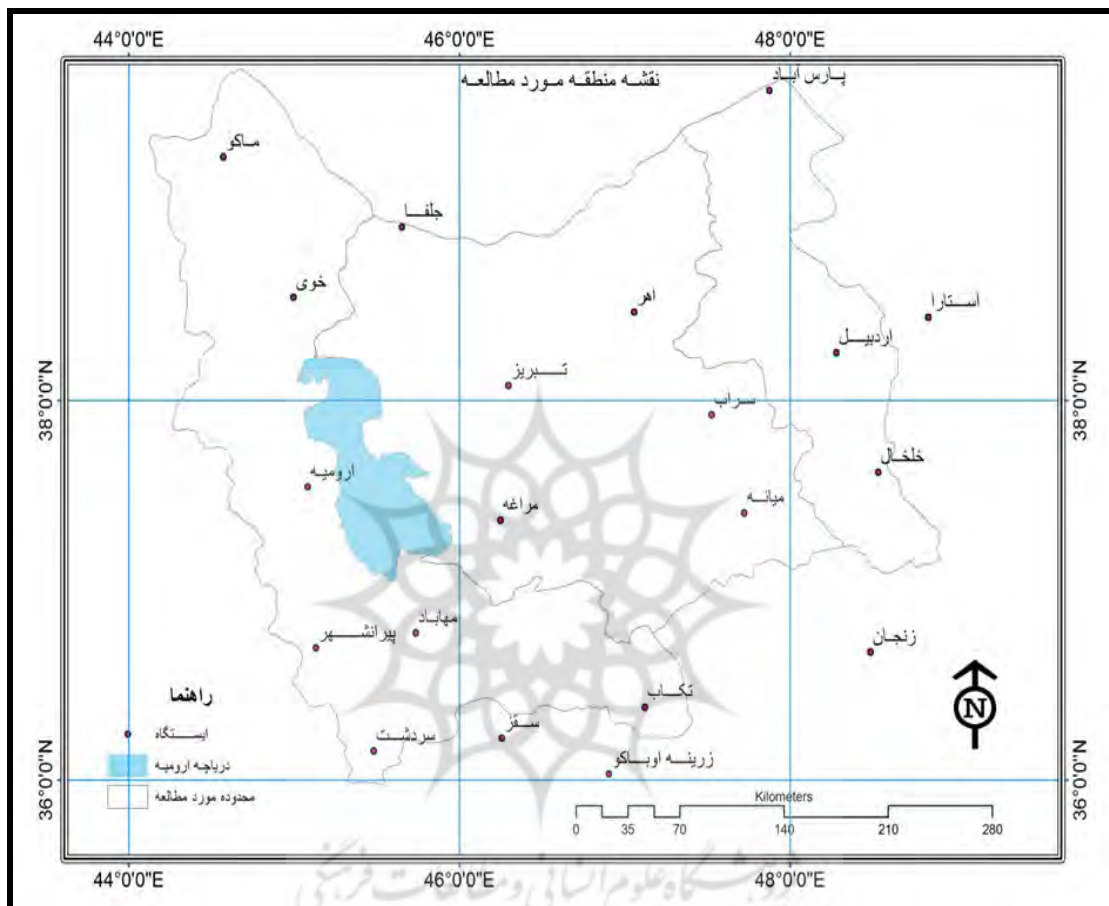
در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی در شمال غرب ایران، داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه از بین ایستگاه‌های سینوپتیک که دارای ۲۲ سال آماری بودند انتخاب شد که از نظر موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی از توزیع مناسبی در سطح منطقه برخوردار هستند. اطلاعات مورد نیاز از سازمان هواشناسی کل کشور و مدیریت منابع آب تهیه شد. بعد از جمع‌آوری داده‌های ۲۰ ایستگاه (جدول ۱) به مدت ۲۲ سال (ماه اکتبر ۱۹۸۸ تا سپتامبر ۲۰۰۹)، اقدام به ایجاد فایل داده‌ها با فرمت مورد نیاز در نرم‌افزارهای مربوطه گردید.

جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در شمال غرب ایران

نام ایستگاه	نوع دستیابی	ارتفاع به متر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
اردبیل	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	۱۳۳۲	۴۵° ۱۷'	۳۸° ۱۵'	۵۲۴۷۹۱,۲۴۷۵۰	۵۷۶۶۴۰۸,۴۲۰۱۱
ارومیه	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	۱۳۱۵,۹	۴۵° ۰۵'	۳۷° ۳۲'	۵۰۷۳۶۲,۵۶۴۶۱	۵۸۴۵۹۵۷,۲۹۸۰۸
آستارا	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	-۱۸	۴۸° ۵۲'	۳۸° ۲۵'	۳۱۳۷۵۳,۸۳۰۱۱	۵۷۴۵۷۹۸,۲۰۱۷۱
اهر	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	۱۳۹۰,۵	۴۷° ۰۴'	۳۸° ۲۶'	۶۸۰۳۸۳,۹۰۵۰۹	۵۷۴۴۰۸۱,۲۱۹۹۹
پارس‌آباد- مغان	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	۳۱,۹	۴۷° ۵۵'	۳۹° ۳۹'	۷۵۰۲۵۲,۵۵۲۳۵	۵۶۰۷۰۲۱,۶۸۱۹۵
پیرانشهر	شناسنامه اقلیمی	۱۴۵۵	۴۵° ۰۸'	۳۶° ۴۰'	۵۱۱۹۱۵,۰۶۳۹۴	۵۹۴۲۰۹۶,۰۶۱۷۵

					و سالنامه	
۵۷۸۴۱۶۱,۳۷۸۲۸	۶۱۲۵۴۷,۸۹۱۶۶	۳۸° ۰۵'	۴۶° ۱۷'	۱۳۶۱	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	تبریز
۵۹۷۱۴۵۲,۰۹۸۲۰	۶۸۹۸۵۵,۵۳۷۲۵	۳۶° ۲۳'	۴۷° ۰۷'	۱۷۶۵	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	تکاب
۵۷۱۰۷۵۴,۶۳۱۱۵	۵۵۷۹۳۰,۷۱۵۱۹	۳۸° ۴۵'	۴۵° ۴۰'	۷۳۶,۲	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	جلفا
۵۸۳۱۹۶۵,۴۱۲۵۰	۲۸۰۸۷۱,۲۴۸۴۷	۳۷° ۳۸'	۴۸° ۳۱'	۱۷۹۶	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	خلخال
۵۷۳۳۱۵۷,۹۴۵۲۳	۴۹۷۰۹۵,۴۱۴۶۲	۳۸° ۳۳'	۴۴° ۵۸'	۱۱۰۳	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	خوی
۶۰۰۶۹۵۷,۱۱۵۴۰	۶۷۲۶۰۹,۰۶۹۳۵	۳۶° ۰۴'	۴۶° ۵۵'	۲۱۴۲,۶	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	زرینه- اوباتو
۵۹۳۷۳۰۴,۱۲۶۷۰	۲۷۵۱۳۰,۸۳۲۰۶	۳۶° ۴۱'	۴۸° ۲۹'	۱۶۶۳	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	زنجان
۵۹۸۷۵۷۸,۴۰۰۶۲	۶۱۳۸۰۳,۰۶۱۴۸	۳۶° ۱۵'	۴۶° ۱۶'	۱۵۲۲,۸	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	سقز
۵۷۹۸۵۵۴,۷۹۱۷۴	۷۲۲۶۳۸,۹۹۹۵۷	۳۷° ۵۶'	۴۷° ۳۲'	۱۶۸۲	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	سراب
۵۹۹۹۲۹۸,۳۷۲۵۵	۵۴۴۹۷۸,۴۹۲۹۳	۳۶° ۰۹'	۴۵° ۳۰'	۱۶۷۰	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	سردشت
۵۶۴۶۰۷۸,۹۲۰۲۳	۴۵۱۱۶۲,۲۴۵۵۸	۳۹° ۲۰'	۴۴° ۲۶'	۱۴۱۱,۳	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	ماکو
۵۸۶۰۰۰۰,۰۵۶۸۶	۶۱۲۱۱۲,۳۱۶۸۵	۳۷° ۲۴'	۴۶° ۱۶'	۱۴۷۷,۷	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	مراغه
۵۹۳۰۷۷۲,۱۰۴۰۵	۵۶۳۹۶۰,۹۷۵۹۹	۳۶° ۴۶'	۴۵° ۴۳'	۱۳۸۵	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	مهاباد
۵۸۵۱۷۸۲,۳۷۳۰۰	۷۳۸۸۳۵,۵۰۲۰۴	۳۷° ۲۷'	۴۷° ۴۲'	۱۱۱۰	شناسنامه اقلیمی و سالنامه	میانه

سپس با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS9.2، در محیط Arc Catalog ابتدا لایه عارضه نقطه‌ای ایستگاه‌ها و عارضه سطحی محدوده ایجاد و سپس در محیط Arc Map ترسیم گردید. در شکل ۱ موقع ریاضی ایستگاه‌ها در شمال غرب کشور نشان داده شده است.



شکل ۱ نقشه ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه در شمال غرب ایران

در همین راستا جهت شناسایی، تجزیه و تحلیل و پایش خشکسالی در ایستگاه‌های فوق از شاخص استاندارد شده بارش SPI استفاده گردید. حال با توجه به اهداف این تحقیق به معرفی شاخص SPI پرداخته می‌شود.

## ۳.۲. روش کار

شاخص استاندارد شده بارش (SPI)، روشی است که در ابتدا برای تعیین خشکسالی‌ها توسط اقلیم‌شناسان مورد استفاده قرار گرفت. این روش قابلیت تحلیل خشکسالی‌ها را در هر مقیاس زمانی و مکانی برای محقق فراهم می‌سازد. به لحاظ ریاضی SPI براساس احتمال تجمعی بارندگی پایه‌ریزی شده است. بدین ترتیب که در ابتدا داده‌ها را

با توزیع احتمال دو پارامتری گاما برازش داده، سپس به توزیع نرمال تبدیل می‌شوند. توزیع گاما بهترین توزیع برای برازش داده‌های بارش است زیرا از طریق این تابع حداکثر همجواری پارامتر توزیع گاما  $\alpha$  و  $\beta$  برآورد می‌گردد. اعمال روش بالا بر روی داده‌های بارندگی منجر به نمایش دقیق و مؤثر آن از طریق تابع ریاضی احتمال تجمعی می‌گردد و کمک می‌کند تا احتمال بارش کمتر یا معادل با یک مقدار معین را برآورد نماییم. خشکسالی به نوعی بارندگی زیر نرمال است و چیزی که بارندگی نرمال در یک ناحیه است می‌تواند بارش مازاد در ناحیه دیگر محسوب گردد. محاسبه شاخص SPI برای هر مکان به طور مجزا انجام می‌گیرد مقادیر مثبت نشان‌دهنده بارش بیشتر و مقادیر منفی نشان‌دهنده بارش کمتر از میانگین می‌باشند. لوید هوگز و ساندرز (۲۰۰۲) سیستم طبقه‌بندی ارائه شده در جدول ۲ را جهت تعیین شدت خشکسالی به کار گرفتند.

جدول ۲ طبقه‌بندی خشکسالی از طریق مقدار SPI و احتمال وقوع متناظر با آن

مقدار SPI	طبقه	احتمال %
$> 2$	ترسالی فرین	۲,۳
(۱,۵) - (۱,۹۹)	ترسالی شدید	۴,۴
(۱) - (۱,۴۹)	ترسالی متوسط	۹,۲
(۰) - (۰,۹۹)	ترسالی ملایم	۳۴,۱
(۰) - (-۰,۹۹)	خشکسالی ملایم	۳۴,۱
(-۱) - (-۱,۴۹)	خشکسالی متوسط	۹,۲
(-۱,۵) - (-۱,۹۹)	خشکسالی شدید	۴,۴
$< -2$	خشکسالی فرین	۲,۳

مکی و همکاران (۱۹۹۳) آستانه‌ای را برای پدیده خشکسالی در هر مقیاس زمانی تعیین کردند. خشکسالی در هر زمانی که SPI به طور پیوسته منفی و به شدت ۱- یا کمتر می‌رسد رخ می‌دهد. پایان خشکسالی زمانی است که SPI مثبت می‌شود بنابراین هر پدیده خشکسالی مدتی دارد که از آغاز و پائانش و شدتی که براساس مقادیر بدست آمده در ماه‌هایی که به طور متوالی ادامه دارد مشخص می‌گردد. به منظور محاسبه شاخص استاندارد شده بارش، ابتدا میانگین، انحراف معیار و چولگی داده‌های بارش ماهانه محاسبه و



سپس از داده‌های بارش لگاریتم گرفته شده و میانگین لگاریتمی داده‌ها محاسبه می‌شود و با استفاده از روابط زیر مقدار ضریب مقیاس و شکل  $\alpha$  و  $\beta$  محاسبه می‌گردد.

$$\bar{x}_{Ln} = \frac{\sum_{i=1}^n Ln x_i}{N}$$

$$U = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x_i)}{n}$$

$$\beta = \frac{1}{4U} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{4U}{3}} \right]$$

$$\alpha = \frac{\bar{x}}{\beta}$$

در همین راستا از تابع گاما که جزء خلاصه شده توزیع نمایی است جهت تفسیر مقادیر شکل و مقیاس استفاده می‌شود.

$$G(x) = \int_0^x X^{\beta-1} e^{-x/\alpha} dx$$

در این فرمول  $\alpha, \beta > 0$  و  $x > 0$  و  $\Gamma(\beta)$  تابع گاما می‌باشد. تابع گاما به صورت

$$\Gamma(\beta) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{\beta-1} dx$$

تعریف شده و میانگین و واریانس به ترتیب با استفاده از فرمول  $\mu = \alpha \beta$  و  $\sigma^2 = \alpha^2 \beta$  محاسبه می‌گردد. تابع دو پارامتری گاما برای مقادیر صفر تعریف نشده است، بنابراین احتمال تجمعی آن به صورت

$$F(x) = q + (1-q)G(x)$$

می‌باشد. که در اینجا  $G(x)$  تابع توزیع برآورد شده بدون توجه به مقادیر تهی است و  $q$  نیز نسبت صفر در سری‌های تجمعی بارش می‌باشد.  $SPI$  یک نمره  $Z$  است و انحراف وقوع از میانگین را نشان می‌دهد که به عنوان واحد انحراف معیار بیان می‌شود. برای محاسبه شاخص استاندارد شده بارش در ارتباط با برآزش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی، ابتدا بارندگی مشخص می‌شود سپس مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  با استفاده از فرمول‌های بالا محاسبه می‌گردد. در نهایت با جابه‌جایی احتمال توزیع تجمعی گاما به توزیع نرمال، مقادیر  $SPI$  بدست می‌آید ساده‌ترین روش برای محاسبه مقادیر  $SPI$  استفاده از تقریب آبراموتیزو-استوگان است که به صورت زیر انجام می‌گیرد. برای  $0 < H(x) \leq 0.5$

مقدار  $t$  برابر با

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(H(x))^2} \right]}$$

و برای  $0.5 < H(x) \leq 1$  برابر با

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(1 - H(x))^2} \right]}$$

خواهد بود. در نهایت مقادیر جابه‌جا شده گاما با استفاده از فرمول‌های زیر بر طبق مقادیر جابه‌جا شده برای بار دوم جابه‌جا می‌گردد. در این حالت اگر  $0 < H(x) \leq 0.5$  باشد مقدار  $SPI$  از فرمول زیر قابل محاسبه است.

$$SPI = - \left[ t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right]$$

و برای  $0.5 < H(x) \leq 1$  از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$SPI = + \left[ t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right]$$

مقادیر ثابت در دو رابطه بالا که در فرمول  $SPI$  قرار می‌گیرد برابر با

$$c_2 = 0.010328 \quad c_1 = 0.802853 \quad c_0 = 2.515517$$

$$d_3 = 0.001308 \quad d_2 = 0.189269 \quad d_1 = 1.432788$$

می‌باشد. بنابراین شاخص استاندارد شده بارش از جابه‌جایی  $t$  با فرمول‌های مختلف بر طبق بزرگی مقادیر جابه‌جا شده گاما حاصل می‌شود. اعداد بدست آمده جهت تعیین خشکسالی‌های ۳، ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (هوگز و ساندرز، ۲۰۰۲).

#### ۴. بحث و نتایج

##### ۴.۱. فراوانی وقوع خشکسالی

به منظور بررسی فراوانی خشکسالی‌های رخ داده در گستره شمال غرب ایران، در ابتدا خشکسالی‌ها با مدت‌های رخ داده در ۲۰ ایستگاه شمارش، سپس در جدول ۳ درج گردید. نتایج حاصل از آن نشان می‌دهد که در مجموع فراوانی خشکسالی‌های ۱، ۲ و ۴ ماهه در تمامی ایستگاه‌ها دارای بیشترین تکرار و فراوانی خشکسالی‌های ۳، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ ماهه دارای کمترین تکرار هستند.

جدول ۳ فراوانی وقوع خشکسالی‌های SPI در مدت‌های تعریف شده در محدوده مورد مطالعه (۲۰۰۹ - ۱۹۸۸)

نام ایستگاه	مدت به ماه								
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
اردبیل	۲۱	۸	۴	۸	۴	۰	۰	۰	۰
ارومیه	۱۸	۴	۳	۷	۵	۱	۰	۰	۰
آستارا	۱۵	۱۵	۶	۶	۲	۱	۱	۰	۰
اهر	۲۲	۸	۱۰	۴	۲	۰	۰	۰	۰
پارس آباد مغان	۳۱	۱۳	۶	۵	۰	۰	۰	۰	۰
پیرانشهر	۲	۳	۱	۸	۹	۱	۰	۰	۰
تبریز	۳۰	۷	۷	۳	۴	۰	۰	۰	۰
تکاب	۱۰	۱	۵	۹	۵	۱	۰	۰	۰
جلفا	۲۳	۱۱	۱۰	۴	۱	۰	۰	۰	۰
خلخال	۲۰	۷	۶	۹	۰	۰	۰	۰	۰
خوی	۳۲	۱۳	۵	۵	۱	۰	۰	۰	۰
زرینه اوباتو	۱۰	۶	۱	۷	۶	۱	۰	۰	۰
زنجان	۲۱	۹	۲	۵	۲	۳	۰	۰	۰
سقز	۶	۳	۱	۵	۷	۵	۰	۰	۰
سراب	۳۰	۱۴	۶	۱	۲	۰	۰	۰	۱
سردشت	۲	۰	۰	۱۱	۸	۲	۰	۰	۰
ماکو	۱۹	۱۲	۵	۸	۳	۰	۰	۱	۰
مراغه	۱۳	۳	۴	۸	۶	۰	۰	۰	۰
مهاباد	۳	۱	۴	۱۱	۶	۰	۰	۰	۰
میانه	۱۳	۶	۷	۸	۴	۰	۰	۰	۰

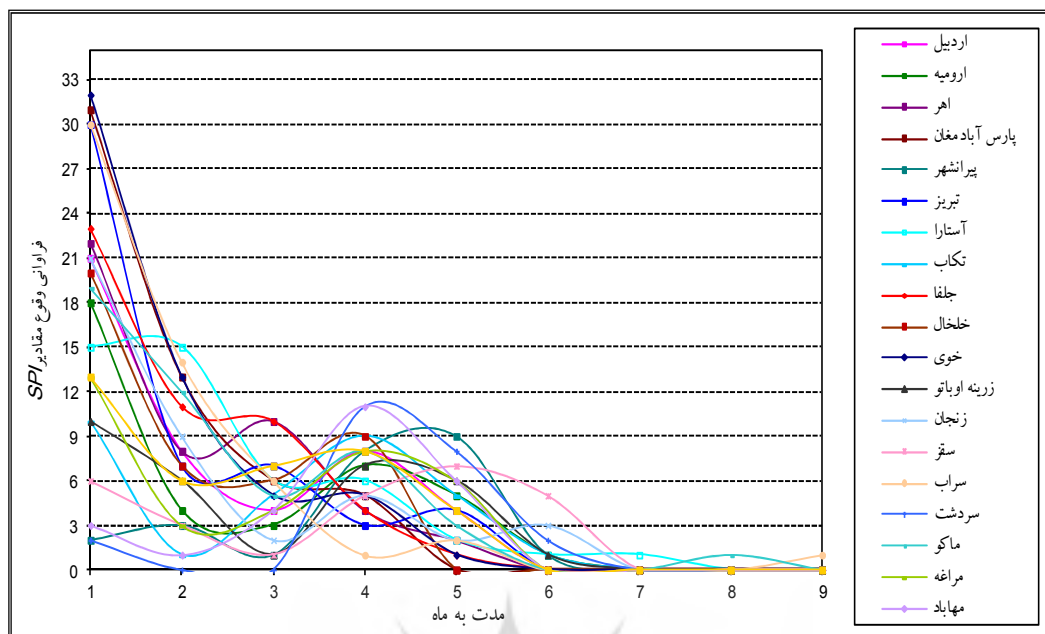
## ۲. ۴. معادلات فراوانی - مدت خشکسالی

به منظور برآورد رابطه حاکم بین فراوانی و مدت خشکسالی در ایستگاه‌های شمال غرب کشور از معادلات رگرسیونی استفاده شده است معادلات بدست آمده با استفاده از متغیر مستقل مدت نشان می‌دهد که روند حاکم بین این دو در تمامی ایستگاه‌ها معکوس بوده و صرفاً از معادله خطی درجه یک پیروی نمی‌کند زیرا افزایش ناگهانی فراوانی خشکسالی در مدت‌های ۴ و ۵ ماهه روند عمومی کاهش را تغییر داده و از حالت خطی خارج می‌کند از طرف دیگر میزان کاهش فراوانی متناسب با افزایش مدت خشکسالی نبوده و در آن شیب‌های مختلف مشاهده می‌شود. در نتیجه با برآزش داده‌های فراوانی و مدت با معادلات غیر خطی، میزان توان مدل ( $R^2$ ) بعنوان معیار انتخاب معادله مناسب و مقدار  $R$  برای تعیین شدت رابطه مد نظر قرار گرفت. نوع معادله و همچنین ضریب همبستگی به دست آمده نشان دهنده میزان همبستگی و توان بالای مدل جهت پیش‌بینی است با توجه به شکل منحنی فراوانی - مدت (شکل ۲) و اطلاعات مندرج در جدول ۳ کاملاً مشهود است که منحنی‌ها در تمامی موارد حالت سینوسی داشته، و خطی نیستند. و توان مدل، یعنی نسبت مربع واریانس پیش‌بینی شده به واریانس مقادیر مشاهده شده،  $R^2 = \frac{S_y^2}{S_y^2}$ ، بالا است. به عبارت دیگر، ضریب نشان می-

دهد که چه مقدار واریانس کل متغیر مشاهده شده می‌تواند توسط واریانس مقادیر پیش بینی شده از مدل رگرسیون تبیین شود.

جدول ۴. معادلات برآورد رابطه فراوانی وقوع با مدت خشکسالی *SPI* به ماه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

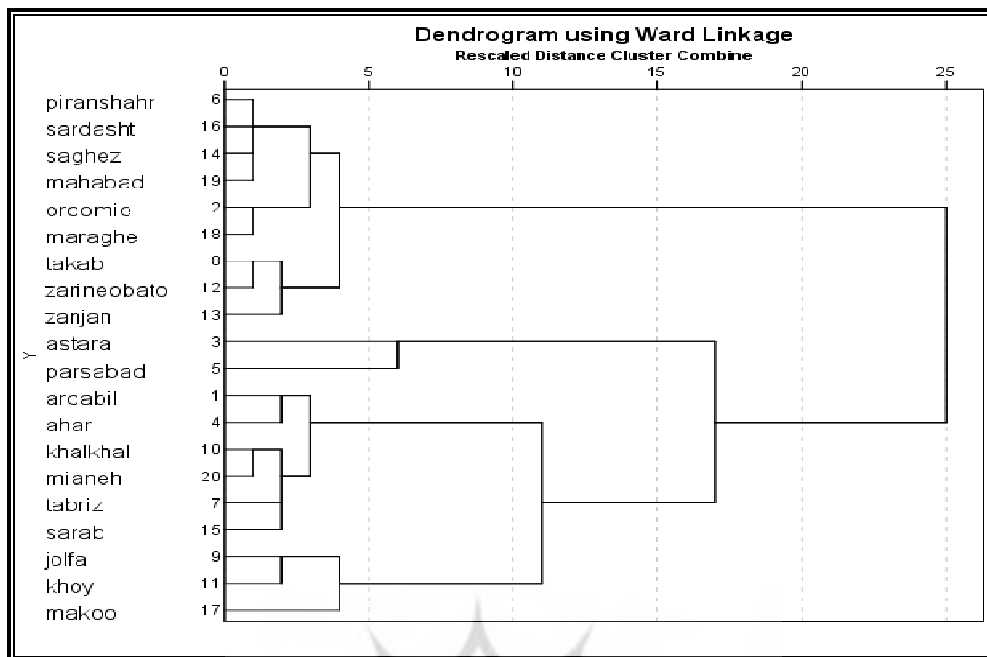
نام ایستگاه	میزان همبستگی مدت - فراوانی	معادلات
اردبیل	$R^2 = 1$	$f = 0.325d^5 - 5.5d^4 + 33.708d^3 - 89.5d^2 + 91.967d - 10$
ارومیه	$R^2 = 1$	$f = -0.0444d^6 + 1.0833d^5 - 10.158d^4 + 45.333d^3 - 95.803d^2 + 77.583d$
آستارا	$R^2 = 1$	$f = -0.1125d^6 + 2.7875d^5 - 27.354d^4 + 134.73d^3 - 346.03d^2 + 425.98d - 175$
اهر	$R^2 = 1$	$f = -0.4333d^5 + 8d^4 - 55.833d^3 + 182d^2 - 275.73d + 164$
پارس - آبادمغان	$R^2 = 1$	$f = -0.2083d^4 + 1.25d^3 + 3.2083d^2 - 33.25d + 60$
پیرانشهر	$R^2 = 1$	$f = 0.325d^5 - 6d^4 + 40.875d^3 - 126d^2 + 172.8d - 80$
تبریز	$R^2 = 1$	$f = -0.4583d^5 + 8.975d^4 - 58.458d^3 + 194.12d^2 - 307.58d + 194$
تکاب	$R^2 = 1$	$f = -0.0444d^6 + 1.025d^5 - 8.9444d^4 + 36.208d^3 - 66.011d^2 + 40.767d + 7$
جلفا	$R^2 = 1$	$f = -0.275d^5 + 5.125d^4 - 36.042d^3 + 118.37d^2 - 183.18d + 119$
خلخال	$R^2 = 1$	$f = -0.3933d^4 + 2d^3 + 2.3933d^2 - 29d + 45$
خوی	$R^2 = 1$	$f = 0.2933d^5 - 9.875d^4 + 29.083d^3 - 57.125d^2 + 41.683d + 28$
زرینه - اوباتو	$R^2 = 1$	$f = -0.0931d^6 + 2.3792d^5 - 23.91d^4 - 119.02d^3 - 303d^2 + 362.6d - 147$
زنجان	$R^2 = 1$	$f = -0.1264d^6 + 3.0458d^5 - 28.868d^4 + 135.77d^3 - 326.51d^2 + 363.68d - 126$
سقز	$R^2 = 1$	$f = -0.0806d^6 - 0.8d^5 - 3.2639d^4 + 42.167d^3 - 108.71d^2 + 129.03d - 49$
سراب	$R^2 = 1$	$f = -0.0017d^6 + 0.0538d^5 - 0.6181d^4 + 3.0225d^3 - 3.5171d^2 - 18.658d + 49.7$
سردشت	$R^2 = 1$	$f = -0.1528d^6 + 3.7917d^5 - 36.903d^4 + 177.54d^3 - 436.94d^2 + 511.67d - 217$
ماکو	$R^2 = 0.9$	$f = -0.0081d^6 + 0.2266d^5 - 2.4315d^4 + 12.384d^3 - 29.768d^2 + 24.715d + 14$
مراغه	$R^2 = 1$	$f = 0.1d^5 - 1.5417d^4 + 7.5833d^3 - 10.458d^2 - 11.683d + 29$
مهاباد	$R^2 = 1$	$f = 0.35d^5 - 5.875d^4 + 35.833d^3 - 97.125d^2 + 115.82d - 46$
میانه	$R^2 = 1$	$f = 0.0583d^5 - 0.75d^4 + 2.375d^3 + 3.25d^2 - 23.933d + 32$



شکل ۲ نمودار فراوانی وقوع خشکسالی‌های SPI در بازه‌های مختلف زمانی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

#### ۴.۳. تحلیل خوشه‌ای مقادیر SPI

با ایجاد ماتریسی با ابعاد  $20 \times 264$  سطر و ستون در نرم‌افزار Spss، اقدام به گروه‌بندی بین ایستگاهی ضرایب ترسالی و خشکسالی شده است بدین منظور از روش وارد برای خوشه‌بندی استفاده گردید. یعنی مجموع مربعات تفاضل هر داده از یک خوشه با بردار میانگین آن خوشه (با استفاده از فاصله مربع اقلیدسی) به عنوان معیاری برای سنجش یک خوشه استفاده گردید به این منظور، سومین مقیاس بین ۵ و ۱۵ به عنوان معیار تقسیم خوشه‌ها برای SPI انتخاب و ایستگاه‌ها به ۴ خوشه (گروه مجزا) از لحاظ ویژگی‌های ترسالی - خشکسالی تقسیم شدند. همانگونه که در شکل مشهود است (شکل ۳) این روش براساس مقادیر SPI، ایستگاه‌های پیرانشهر، سردشت، سقز، مهاباد، ارومیه، مراغه، تکاب، زرینه‌اوباتو و زنجان را در گروه اول، آستارا و پارس‌آباد (گروه دوم)، اردبیل، اهر، خلخال، میانه، تبریز، سراب (گروه سوم) و سه ایستگاه جلفا، خوی و ماکو را در گروه چهارم قرار داده است. در واقع گروه‌بندی ایستگاه‌ها در چهار دسته مجزا حاکی از اختلاف برون‌گروهی بین ایستگاه‌های هر گروه و عدم اختلاف یا اختلاف ناچیز درون‌گروهی ایستگاه‌های هر گروه است از این رو می‌توان گفت شرایط ترسالی و خشکسالی از لحاظ مکانی و زمانی در ایستگاه‌های هر گروه تقریباً یکسان و در بین گروه‌ها متفاوت است.

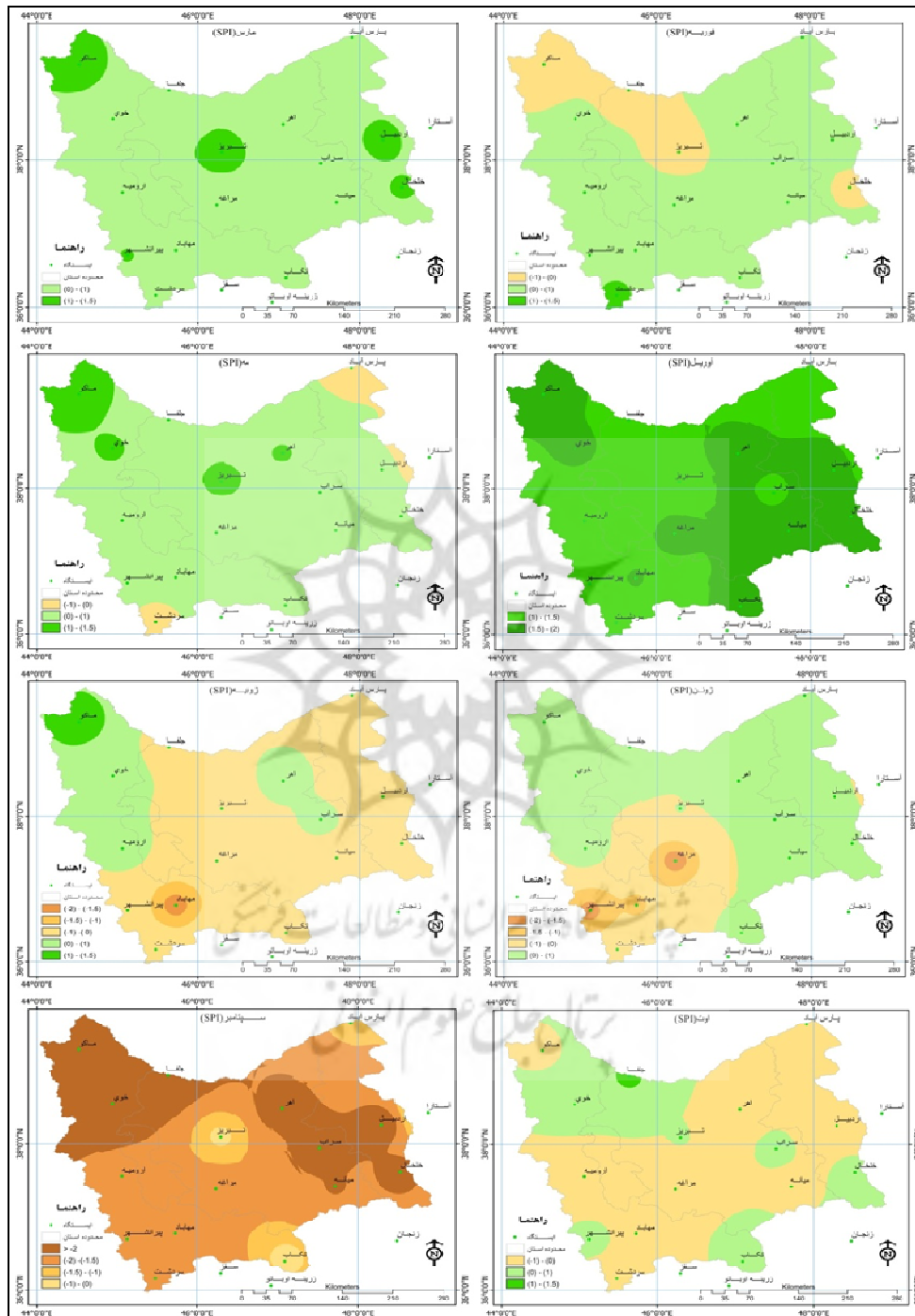


شکل ۳ تحلیل خوشه‌ای مقادیر SPI ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه

#### ۴. ۴. تحلیل مکانی خشکسالی - ترسالی (فوریه تا سپتامبر ۲۰۰۷)

همانطوری که در بحث تئوریک ویژگی‌های خشکسالی گفته شد زمان شروع، خاتمه، شدت و سطح درگیر با آن از لحاظ مکانی - زمانی بسیار مهم است. در این راستا یک دوره زمانی ۸ ماهه (فوریه تا سپتامبر ۲۰۰۷) انتخاب و با استفاده از نرم افزار GIS طبقات ترسالی - خشکسالی بر روی منطقه مورد مطالعه در قالب ۸ نقشه پهنه‌بندی گردید. با بررسی پایش خشکسالی رخ داده در سپتامبر ۲۰۰۷ پر واضح است که قسمت اعظم محدوده شمال غرب ایران در سپتامبر این سال با خشکسالی در بازه‌های تعریف شده درگیر بوده است در حالی که خشکسالی در ماه سپتامبر در هر ۴ بازه کل منطقه را تحت پوشش قرار داده است. این در حالی است که بیشترین ترسالی را در ماه آوریل شاهد هستیم. دو بازه ترسالی متوسط و شدید سطح منطقه را پوشش داده‌اند. همان‌گونه که در نقشه نیز کاملاً مشهود است بیشترین تغییرات خشکسالی و ترسالی را برای ماه ژوئیه می‌توان در نظر گرفت بطوریکه سه بازه خشکسالی شدید، متوسط و ضعیف در محدوده حاکم بوده و هسته اصلی آن در ایستگاه مهاباد قرار دارد. همچنین دو بازه ترسالی متوسط و ضعیف که هسته پیشینه آن در ایستگاه ماکو واقع شده نیز منطقه را تحت پوشش دارد. و نیز می‌توان از نقشه‌ها این را دریافت که منطقه مورد مطالعه در ماه‌های آوریل و مارس با پدیده ترسالی مواجه بوده است. این منطقه در سه ماه فوریه، مه و اوت با سه بازه خشکسالی ضعیف، ترسالی ضعیف و متوسط به طور مشترک درگیر بوده است این در حالی است که سطح درگیر توسط هر یک از سه بازه در این ماه‌ها متفاوت می‌باشد. مثلاً ماکو در ماه فوریه و اوت با خشکسالی ضعیف و در ماه مه با ترسالی متوسط مواجه

می‌باشد. ایستگاه‌های ماکو، خوی، جلفا، اهر، سراب، اردبیل، میانه و خلخال تنها در ماه سپتامبر با خشکسالی شدید مواجه بوده‌اند.



شکل ۴ تغییرات و پایش مکانی - زمانی خشکسالی SPI، فوریه تا سپتامبر ۲۰۰۷ در شمال غرب ایران

## ۵. نتیجه گیری

فراوانی وقوع خشکسالی در شدت‌های ضعیف و متوسط ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره زمانی مورد نظر به میزان بیشتری رخ داده‌اند. رابطه مدت - فراوانی حاکی از وجود همبستگی معکوس بین دو ویژگی خشکسالی بوده و نتایج حاصل از بررسی فراوانی خشکسالی‌های رخ داده در گستره شمال غرب ایران نشان می‌دهد که در مجموع فراوانی خشکسالی‌های یک ماهه، دوماهه و چهار ماهه در تمامی ایستگاه‌ها دارای بیشترین تکرار هستند. بنابراین با توجه به نتایج حاصل نمی‌توان گفت که همه خشکسالی‌های کوتاه‌مدت بیشتر از بلندمدت هستند به عنوان مثال خشکسالی سه ماهه از فراوانی کمتری نسبت به خشکسالی چهارماهه برخوردار است. همبستگی مقادیر SPI در ۲۰ ایستگاه مورد مطالعه نشان‌دهنده همزمانی وقوع خشکسالی در ایستگاه‌های مجاور هم و با افزایش فاصله میزان آن کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه معادله در بیشتر موارد از نوع معادله درجه ۶ می‌باشد منحنی حالت سینوسی پیدا کرده و نشان‌دهنده غیر خطی بودن آنها است. از طرف دیگر میزان کاهش فراوانی متناسب با افزایش مدت خشکسالی نبوده و در آن شیب‌های مختلف مشاهده می‌شود. بنابراین رابطه مدت- فراوانی نمی‌تواند از نوع خطی باشد. همچنین گروه‌بندی ایستگاه‌ها در چهار دسته مجزا حاکی از اختلاف برون گروهی بین ایستگاه‌های هر گروه و عدم اختلاف یا اختلاف ناچیز درونگروهی ایستگاه‌های هر گروه است از این رو می‌توان گفت شرایط ترسالی و خشکسالی از لحاظ مکانی و زمانی در ایستگاه‌های هر گروه تقریباً یکسان و در بین گروه‌ها متفاوت است. و نهایتاً با بررسی پایش خشکسالی رخ داده در سپتامبر ۲۰۰۷ پر واضح است که قسمت اعظم محدوده شمال غرب ایران در سپتامبر این سال با خشکسالی SPI در بازه‌های تعریف شده درگیر است و طبق آنچه در نقشه‌ها مشاهده می‌شود نمی‌توان گفت رفتار مکانی خشکسالی در تمامی ایستگاه‌ها در زمان وقوع خشکسالی یکسان بوده است.

### کتابنامه

- روشنی، محمود و اسلامی، علیرضا؛ ۱۳۸۸. پایش منطقه‌ای خشکسالی (مطالعه موردی: سواحل جنوبی دریای خزر). همایش منطقه‌ای بحران آب و خشکسالی. ۳۰ و ۳۱ اردیبهشت ۱۳۸۸. دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت.
- سازمان هواشناسی کشور. سالنامه‌های هواشناسی از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۹.
- کاوایی، محمد رضا و علیجانی، بهلول؛ ۱۳۷۶. مبانی آب‌وهواشناسی. انتشارات سمت.
- مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۷۷. بررسی نظام تغییرات زمانی مکانی بارش در ایران. پایان‌نامه دوره دکتری. استاد راهنما: غیور حسعلی. رشته جغرافیای طبیعی. دانشگاه اصفهان
- وزارت نیرو. آمار هواشناسی ایستگاه‌های منطقه از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۹
- Bonaccorso, B, Bordi, I, Cancelliere, A, Rossi, G and Sutera, A, 2003. Spatial variability of drought: An analysis of the SPI in Sicily. *Water Resources Management* 17, 273-296.



- Dalezios. N.R, Athanasios. L, Lampros. V, Elias. L, 2000, Severity duration frequency analysis of droughts and wet periods in Greece. *Hydrology Sciences Journal* 45(5), 751-768.
- Edward. DC, McKee. TB, 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple timescales, Colorado State University: Fort Collins, Climatology Report No 97-2.
- Hughes. B.L, Saunders. M.A, 200. drought climatology for Europe, *International Journal of Climatology* 22,1571-1592
- IR.OF IRAN Meteorological Organization, Meteorological yearbooks from 1988 to 2009.
- Kim.D.W, Byun. H.R, 2009. Future pattern of Asian drought under global warming scenario. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, Published online 98:1-2, 137-150.
- Loukas. A, Vasiliades. L, Tzabiras. J, 2008. Climate change effects on drought severity. *Advances in Geosciences* 17, 23- 29.
- Masoodian.S. A, 1998. Investigation of temporal – spatial precipitation variations systems in Iran, Ph.D thesis, Esfahan University
- Michael. J. H, 2007. What is drought: drought in dices, climate impacts specialist, National Drought Mitigation Center.
- Ministry of Energy, weather data stations in the region from 1988 to 2009.
- Pashiardis. S, Michael ides. S, 2008. Implementation of the standardized precipitation index (SPI) and the reconnaissance drought index (RDI) for regional drought assessment: A case study for Cyprus. *European Water* 23/24, 57-65.
- Q. He, "A Review of Clustering Algorithms as Applied in IR", Graduate School of Library and Information Science University of Illinois at Urbana-Champaign, 1999/6+IRG.
- Roshani. M, Ramazanipour. M, Tatina. M and Robati. M, 2012. Characteristics of drought in three recent decades in north of Iran, Guilan province. *American – Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science* 12(1):115-122.
- Roshani. M, Eslami. A, 2009. The Regional monitoring of drought (case study: southern coast of Caspian Sea), Regional conference of water and drought crisis, 20 and 21 April 2009, Eslamic Azad university of Rasht branch.
- Tsakiris. G, Vangelis. H, 2004. Towards a Drought Watch System based on Spatial SPI. *Journal of Water Resources Management* 18, 1-12.
- Yildiz, O, 2009. Assessing temporal and spatial characteristics of droughts in the Hirfanli dam basin, Turkey. *Academic Journal of Scientific Research and Essay*, Volume 4, (4), 249-255..