



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر  
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال پانزدهم، شماره‌ی ۴۹  
بهار ۱۳۹۴، صفحات ۷۴-۵۷

رباب رزمی<sup>۱</sup>  
فاطمه ستوده<sup>۲</sup>  
برومند صلاحی<sup>۳</sup>

## تحلیل زمانی-مکانی و پهنه بندی احتمال وقوع خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌های شمال غرب ایران

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۰۷

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۳/۲۵

### چکیده

شمال غرب ایران به دلیل وضعیت توپوگرافیکی، موقع و مقر آن دارای تنوع زیست‌محیطی، گیاهی و جانوری است که با وضع کنونی اقلیم سازگاری یافته‌اند. نوسان و تغییرپذیری طولانی مدت در عناصر اقلیمی ناحیه می‌تواند پیامدهای زیان‌بار محیطی، کشاورزی، اقتصادی و حتی انسانی داشته باشد. بر این اساس در تحقیق حاضر تلاش گردید بخش‌های مستعد وقوع ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها در پهنه شمال غرب ایران طی دوره آماری ۲۰ ساله (۱۹۸۶-۲۰۰۵)، با استفاده از داده‌های ۵۵ ایستگاه همدید، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی مستقر در پهنه شناسایی و ارزیابی شود. بدین منظور از شاخص SPI در بازه زمانی ۱۲ ماهه بهره گرفته شد. جهت بررسی شدت خشک‌سالی و ترسالی‌های ناحیه، ۲۴۰ نقشه مربوط به تمامی ماه‌های مورد بررسی با استفاده از تکنیک میان‌یابی کریجینگ در محیط نرم‌افزار Surfer/win تولید شد. سپس نقشه‌ها به داده تبدیل شده و محاسبات مربوط به آماره‌های توصیفی آن شامل مرکز میانگینی، دایره و بیضی استاندارد بر روی ۴۲۳۶ یاخته در محیط نرم‌افزار Arcview محاسبه گردید. بررسی

E-mail: r-razmi@iau-ahar.ac.ir

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، اهر، ایران.

۲- دانشجوی دکتری دانشگاه خوارزمی تهران.

۳- دانشیار گروه جغرافیا دانشگاه محقق اردبیلی.

ماهانه خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌ها با شدت‌های مختلف طی ۲۴۰ ماه، نشان‌دهنده عدم هم‌خوانی و پیروی درصد احتمال وقوع خشک‌سالی‌های شدید و ترسالی‌های ضعیف از توزیع احتمال نرمال بوده و درصد احتمال وقوع ترسالی‌های ضعیف در بخش‌های شرقی و مرکزی ناحیه و خشک‌سالی‌های شدید در نیمه جنوبی پهنه بیش‌تر از سایر حالات است. محاسبه شاخص‌های مرکزی و پراکندگی مکانی هر یک از دو حالت یاد شده نیز نشان داد که پراکندگی مکانی احتمال وقوع ترسالی ضعیف در عرض‌های شمالی بیش‌تر و احتمال وقوع خشک‌سالی‌های شدید در عرض‌های پایین‌تر چشم‌گیرتر است. با این وجود احتمال وقوع خشک‌سال‌های شدید از پایداری مکانی بیش‌تری برخوردار می‌باشد.

**کلید واژه‌ها:** بیضی استاندارد، ترسالی و خشک‌سالی، شمال‌غرب ایران، شاخص SPI، مرکز میانگینی.

#### مقدمه

اقلیم یک منطقه بیانگر وضعیت جوی آن منطقه در طول زمانی متمادی است. با این وجود تغییر و تغییرپذیری از ویژگی‌های ذاتی اقلیم بوده و دارای تغییرات دوره‌ای به شکل نوسان می‌باشد. بسیاری از نوسانات اقلیمی به شکلی آرام و بطئی ظاهر شده‌اند اما نوساناتی نیز بوده‌اند که دوره ثابت و مشخصی نشان نداده و نمی‌دهند؛ اما قابلیت پیش‌بینی را دارند. به این نوع نوسانات، نوسانات غیر فصلی گفته می‌شود (عساکره، ۱۳۸۶: ۳۰). با این وصف می‌توان گفت پدیده خشک‌سالی و ترسالی، جزو نوسانات غیر فصلی اقلیم محسوب می‌شود.

وجود بی‌نظمی چه منفی (خشک‌سالی) و چه مثبت (ترسالی) در بارش، پی‌آمدهای موثر و مخرب در سال‌های پربارش و کم‌بارش داشته است. در واقع وقوع ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها به نوعی بحران اقلیمی محسوب می‌شوند. با این وجود اثرات خشک‌سالی، به صورت بطئی و آرام طی سال‌های متمادی نمایان می‌شود. به همین دلیل خسارات ناشی از این پدیده اقلیمی از شدت و وسعت گسترده‌تری نسبت به ترسالی برخوردار است. چرا که اثرات ترسالی‌ها آنی بوده و از وسعت کم‌تری برخوردار است.

مطالعات دانشمندانی هم‌چون هاگس و ساندرس<sup>۴</sup> (۲۰۰۲: ۱۵۹۲-۱۵۷۱) در اروپا، نتیل و یوگان<sup>۵</sup> (۲۰۰۲، ۱۳۵۷-۱۳۳۵) در آفریقا، کیم و بیون<sup>۶</sup> (۲۰۰۹: ۱۳۷-۱۵۰) در آسیا و مطالعات پرشمار دیگر نشان می‌دهد که خشک‌سالی پدیده‌ای جهانی است. از آن‌جا که وقوع خشک‌سالی با کاهش بارش همراه است، احتمال وقوع آن در مناطقی که

4- Hughes and Saunders

5- Ntale and Yew Gan

6- Kim and Byun

ذاتاً با کمبود آب و بارش مواجه بوده، خطر وقوع خشکسالی را چندین برابر می‌کند؛ لذا دانشمندان به دلیل اهمیت پدیده خشکسالی بیش از ترسالی به مطالعه این پدیده پرداخته‌اند که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

هاگس و ساندرس<sup>۷</sup> (۲۰۰۲، ۱۵۹۲-۱۵۷۱) با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده<sup>۸</sup> (SPI) وقوع و تداوم خشکسالی را طی قرن بیستم در اروپا مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که خشکسالی‌های فرین در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه با تداوم ۶-۲ ماهه به وقوع پیوسته است. نتیل و یوگان (۲۰۰۲: ۱۳۵۷-۱۳۳۵) با استفاده از سه شاخص SPI، شاخص بالم و مولی<sup>۹</sup> (BMI) و شاخص پالمیر<sup>۱۰</sup> (PDSI) در شرق آفریقا، سوتو<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۰۵: ۵۶-۳۳) با استفاده از شاخص نرمال استاندارد در مکزیک، ساکیریس<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۰۷: ۸۳۳-۸۲۱) با استفاده از شاخص شناسایی خشکسالی<sup>۱۳</sup> (RDI) و SPI در دو حوضه رودخانه‌ای مورنوس و نستوس<sup>۱۴</sup> در یونان، بالینگ و گودریچ<sup>۱۵</sup> (۲۰۰۷: ۱۹۴-۱۷۹) با استفاده از شاخص PDSI و تحلیل مؤلفه‌های اصلی در حوضه رودخانه کلرادو، واسیلیادز و زابیراس<sup>۱۶</sup> (۲۰۰۸: ۲۹-۲۳) با استفاده از SPI در منطقه تسالی<sup>۱۷</sup> یونان پدیده خشکسالی را مورد بررسی قرار دادند. سانتوس<sup>۱۸</sup> و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از شاخص SPI فراوانی وقوع خشکسالی طی سال‌های ۲۰۰۴-۱۹۱۰ را در پرتقال، چویی<sup>۱۹</sup> و همکاران (۲۰۱۱: ۹۳-۸۱) در مطالعه‌ای ارتباط بین خشکسالی‌های تابستانه شرق آسیا و نوسانات آرام شمالی را بررسی کردند.

طی دهه‌های اخیر اهمیت فزاینده پدیده خشکسالی توجه مسئولین و دانشمندان را در ایران نیز معطوف به خود داشته است که ارائه مقالات متعدد و تشکیل همایش‌ها و سمینارها و کنفرانس‌ها دلیل بر این مدعاست. برای مثال رضیئی و همکاران در سال‌های (۱۳۸۲: ۳۱۰-۲۹۲) و (۱۳۸۶: ۳۵-۲۵) در سیستان و بلوچستان با استفاده از شاخص بارش استاندارد و زنجیره مارکوف و شاخص SPI؛ آشگر طوسی و همکاران (۱۳۸۲: ۱۲۸-۱۱۹) خشکسالی استان خراسان رضوی را با استفاده از شاخص درصد از میانگین، SPI و مارکوف؛ حجازی زاده و شیر خانی (۱۳۸۲: ۳۱-۱۳) در استان خراسان رضوی با استفاده از شاخص دهک‌ها و زنجیره مارکوف؛ محسنی ساروی و

7- Hughes and Saunders

8- standardized precipitation index

9- Bhalme-Mooleyindex

10- Palmer drought severity index

11- Soto

12- Tsakiris

13- Reconnaissance Drought Index

14- Mornos and Nestos

15- Balling Jr. Robert C, Gregory B. Goodrich

16- Vasiliades and Tzabiras

17- Thessaly

18- Santos

19- Choi

همکاران (۱۳۸۳: ۶۲۰-۶۰۷) در حوضه رود کارون با استفاده از شاخص SPI؛ سلطانی و مدرس (۱۳۸۵: ۶۴-۶۹) در اصفهان با استفاده از مدل احتمالی زنجیره مارکوف؛ مرادی و همکاران (۱۳۸۶: ۹۷-۱۰۹) در استان فارس با استفاده از شاخص SPI؛ یوسفی و همکاران (۱۳۸۶: ۱۲۸-۱۲۱) در قزوین با استفاده از زنجیره مارکوف؛ سلطانی و سعادت (۱۳۸۶: ۶۷-۶۴) در استان اصفهان؛ حسینی صفا و مرید (۱۳۸۷) در تهران با استفاده از شاخص SPI؛ سرحدی و همکاران (۱۳۸۷: ۵۷۰-۵۵۵) در اصفهان با استفاده از چهار شاخص RAI, PNPI, DPI, SPI؛ نگارش و کریمی (۱۳۸۷: ۱۳۴-۱۰۹) خشک‌سالی ایران‌شهر واقع در استان سیستان و بلوچستان را با استفاده از شاخص SPI، خسروی و اکبری (۱۳۸۸: ۶۸-۵۱) در خراسان جنوبی با استفاده از SPI، رضیئی<sup>۲۰</sup> و همکاران (۲۰۰۹: ۴۵۵-۴۳۹) الگوهای مکانی و تغییرپذیری زمانی خشک‌سالی را در غرب ایران، نگارش و خسروی (۱۳۸۹: ۱۳۴-۱۰۹) در زاهدان با استفاده از شاخص SPI، به بررسی پدیده خشک‌سالی پرداخته‌اند. هم‌چنین مرادی<sup>۲۱</sup> و همکاران (۲۰۱۱: ۳۵-۴۶) ویژگی‌های خشک‌سالی هواشناسی را در استان فارس مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌ها خصیصه ذاتی اقلیم هستند و نمی‌توان از وقوع آن‌ها جلوگیری کرد اما می‌توان با مطالعه، پیش‌بینی و بهره‌گیری از خط‌مشی‌ها و برنامه‌ریزی‌های درست میزان خسارات احتمالی را به حداقل ممکن کاهش داد. به دلیل اهمیت موضوع، در تحقیق حاضر تلاش گردید پدیده‌های خشک‌سالی و ترسالی در پهنه شمال‌غرب کشور طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۶۶ و با استفاده از شاخص SPI و محاسبه شاخص‌های پراکنندگی و مرکزی مکانی، احتمال وقوع آن مورد ارزیابی قرار گیرد.

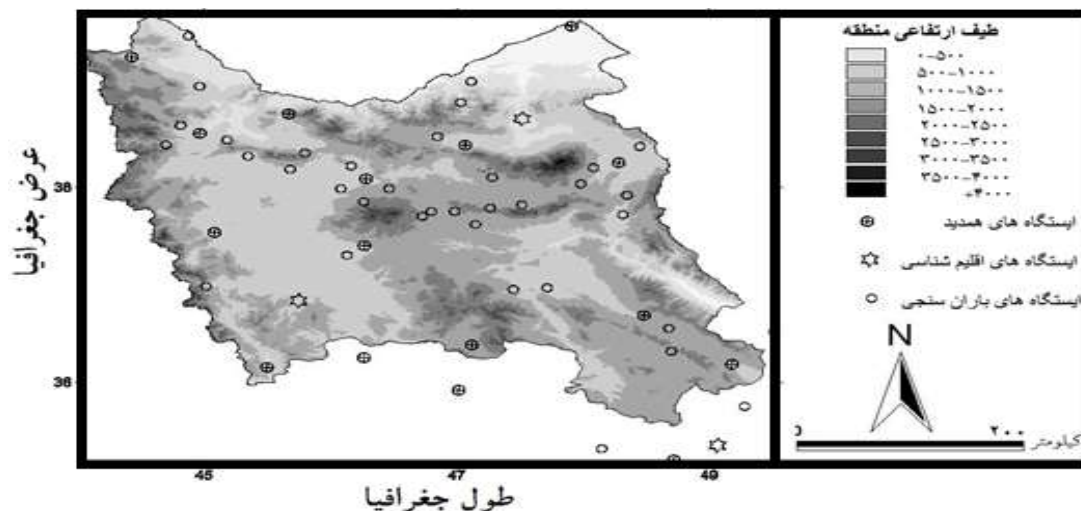
#### مواد و روش‌ها

در نوشتار حاضر از ۵۵ ایستگاه همدید، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی موجود در چهار استان شمال‌غرب کشور (شامل استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل و زنجان) و نیز استان‌های مجاور با حداقل پیشینه آماری ۲۰ ساله بهره گرفته شد. بدین ترتیب طول دوره آماری مورد بررسی از سال ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۵ در نظر گرفته شد. محدوده مورد مطالعه شامل مختصات جغرافیایی زیر می‌باشد:

$$N: 35^{\circ} 32' 54'' - 39^{\circ} 46' 18''$$

$$E: 44^{\circ} 02' 19'' - 49^{\circ} 26' 27''$$

پراکنش مکانی و طیف ارتفاعی ایستگاه‌های مورد استفاده در شکل ۱ ارائه شده است. بیش‌تر ایستگاه‌ها در دامنه ارتفاعی ۱۵۰۰-۱۰۰۰ متر واقع شده‌اند. داده‌های ایستگاهی موجود، اطلاعات دقیقی را نمی‌تواند از وضعیت اقلیمی مناطق مرتفع به‌دست دهد. چرا که مرتفع‌ترین ایستگاه (زینجناب) در ارتفاع ۲۱۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است.

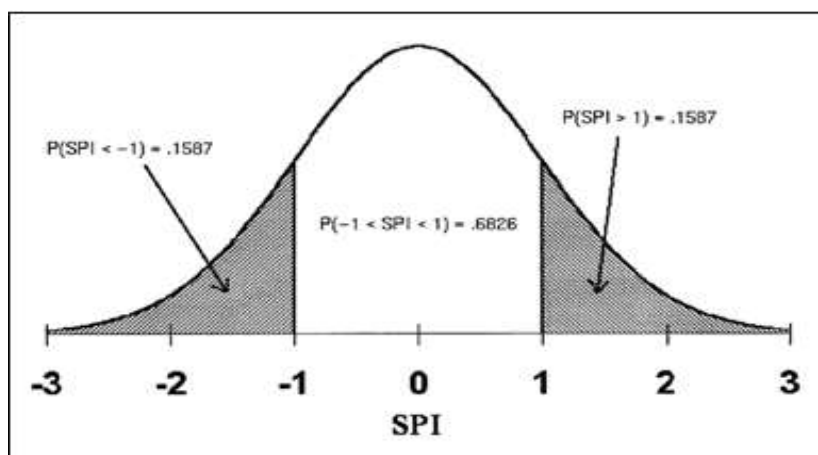


شکل ۱: پراکنش مکانی ایستگاه‌ها همراه با توزیع ارتفاعی منطقه شمال غرب ایران

این در حالی است که دامنه ارتفاعی منطقه تا ۴۸۷۷ متر می‌رسد. به دلیل فقدان داده‌های نقطه‌ای در ارتفاعات بالاتر با استفاده از تکنیک‌های معتبر زمین آماری و با بهره‌گیری از تکنیک میان‌یابی کریجینگ به‌عنوان روش پهنه میان‌یابی، از داده‌های موجود پیشینه‌ی بهره‌مندی به‌عمل آمده و اطلاعات نقطه‌ای به اطلاعات پهنه‌ای تبدیل گردید. تکنیک کریجینگ یکی از روش‌های درون‌یابی داده‌ها برحسب تغییرات مکانی آن‌ها بوده و از مناسب‌ترین روش‌ها جهت برآورد مشاهدات در مناطق فاقد داده به صورت پهنه‌ای می‌باشد. این تکنیک برآورد کننده‌ی رسا، ناریب، خطی و با حداقل واریانس می‌باشد (عساکره، ۱۳۸۷: ۲۷).

پژوهش حاضر با هدف بررسی احتمال وقوع خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌های شمال غرب ایران انجام شد. بدین منظور از شاخص استاندارد شده بارش SPI بهره گرفته شد. شاخص استاندارد شده بارش روشی است که در ابتدا برای تعیین خشک‌سالی‌ها توسط اقلیم‌شناسان مورد استفاده قرار گرفت. این شاخص تنها بر مبنای بارش استوار بوده و یک کمیت بی بعد می‌باشد.

شاخص SPI براساس احتمال تجمعی بارش پایه‌ریزی شده است. بدین ترتیب که در ابتدا داده‌ها با توزیع احتمال دو پارامتری گاما برازش داده سپس به توزیع نرمال تبدیل می‌شوند. توزیع گاما بهترین توزیع برای برازش داده‌ها در این روش است. شکل ۲ نشان می‌دهد که وقتی مقادیر SPI با توزیع گاما برازش داده شد، مقادیر SPI به توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس یک تبدیل می‌شود.



شکل ۲: احتمال وقوع توزیع نرمال استاندارد مقادیر SPI (ادوارد و مک کی، ۱۹۹۷: ۲۵)

جدول ۱- طبقه‌بندی خشک‌سالی از طریق مقدار SPI و احتمال وقوع متناظر با آن (ادوارد و مک کی، ۱۹۹۳: ۸۱)

مقدار SPI	طبقه	احتمال %
$> 2$	ترسالی فرین	۲/۳
$(1/5) - (1/99)$	ترسالی شدید	۴/۴
$(1) - (1/49)$	ترسالی متوسط	۹/۲
$(0) - (0/99)$	ترسالی ضعیف	۳۴/۱
$(0) - (0/99)$	خشک‌سالی ضعیف	۳۴/۱
$(-1) - (-1/49)$	خشک‌سالی متوسط	۹/۲
$(-1/5) - (-0/99)$	خشک‌سالی شدید	۴/۴
$< -2$	خشک‌سالی فرین	۲/۳

در سال ۱۹۹۳، مک کی و همکاران یک طبقه‌بندی از خشک‌سالی توسط شاخص SPI همراه با احتمال وقوع هر یک از شدت‌ها ارائه دادند که در جدول ۱ ارائه شده است. این جدول مبنای تعیین دوره‌های خشک‌سالی با شدت‌های متفاوت قرار گرفت.

بدین ترتیب که مقادیر SPI بین  $(-0/99)$  تا  $(0)$  به‌عنوان خشک‌سالی ضعیف، مقادیر بین  $(-1/49)$  تا  $(-1)$  به‌عنوان خشک‌سالی متوسط و... در نظر گرفته شد. سپس متوسط شدت‌های ماهانه مقادیر SPI محاسبه‌شده به صورت نقشه در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شد.

بعد از محاسبه متوسط مقادیر SPI ماهانه و احتمال وقوع متناظر هر یک از حالات، در نهایت جهت ارائه توصیفی دقیق از موقعیت مکانی آن‌ها در پهنه، آماره‌های توصیفی هر یک از حالات، شامل شاخص‌های پراکندگی و میل به مرکز، توسط دایره استاندارد، بیضی استاندارد و مرکز میانگینی ارائه شد.

با ترسیم نقشه‌های مرکز ثقل متوسط مقادیر SPI ماهانه و نقاط احتمال وقوع پدیده‌های ترسالی و خشکسالی، می‌توان تفاوت مکانی در دریافت بارندگی و احتمال وقوع پدیده‌های مورد نظر را بازشناخت. به عبارت دیگر می‌توان گفت که کدام بخش از منطقه از احتمال وقوع یا شدت بالا و کدام بخش از احتمال وقوع یا شدت کم‌تری برخوردار است.

مرکز ثقل به طریق زیر قابل دست‌یابی است (جی لی، ۱۳۸۱: ۵۵).

$$\bar{x}_{mc} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad \bar{y}_{mc} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$\bar{x}_{mc}$  و  $\bar{y}_{mc}$  مختصات مرکز میانگین،  $x_i$  و  $y_i$  مختصات نقطه،  $N$  تعداد نقاط است.

در محاسبه مرکز میانگینی در صورتی که میانگین مکانی توسط متغیری وزن‌دار شود و همراه با مقادیر یک متغیر ارائه گردد می‌توان نتایج بهتری را به دست آورد. لذا در این پژوهش مقادیر مکانی توسط مقادیر وزن‌دار شده و مرکز میانگین وزنی بهره گرفته شده است. میانگین مذکور از طریق زیر محاسبه می‌گردد:

$$\bar{x}_{wmc} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad \bar{y}_{wmc} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

دایره استاندارد نیز همانند انحراف استاندارد در آمار کلاسیک، نشان‌دهنده پراکندگی (انحراف) نقاط حول آن مرکز میانگین می‌باشد (جی لی، ۱۳۸۱: ۶۶) هر چه پراکندگی مجموعه نقاط در اطراف مرکز میانگین بیش‌تر باشد به همان اندازه فاصله استاندارد بزرگ‌تر خواهد بود. این فاصله استاندارد با در نظر گرفتن طول و عرض جغرافیایی ( $x_i$  و  $y_i$ ) هر یاخته از پهنه برای مقادیر SPI ماهانه و احتمال وقوع آن‌ها محاسبه شده به صورت دایره استاندارد در نقشه‌ها ارائه شده است. در این پژوهش از آن‌جاکه برای محاسبه مرکز میانگینی از مقادیر ماهانه بهره گرفته شده است لذا به صورت وزن برای هر پیکسل از پهنه با طول و عرض جغرافیایی خاص در نظر گرفته شده است. چنان‌چه مقادیر در منطقه‌ای بیش از سایر مناطق باشد مرکز میانگینی به آن منطقه نزدیک‌تر می‌شود. طریقه‌ی محاسبه‌ی فاصله استاندارد وزنی بدین صورت است:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum f_i (x_i - \bar{x}_{mc})^2 + \sum f_i (y_i - \bar{y}_{mc})^2}{\sum_{i=1}^n f_i}}$$

در اینجا ( $\bar{x}_{mc}$  و  $\bar{y}_{mc}$ ) مرکز میانگین توزیع نقاط و  $f_i$  وزن نقاط ( $x_i$  و  $y_i$ ) است.

اما مجموعه موقعیت‌های نقاط ممکن است از نظر پدیده‌های به وقوع پیوسته دارای انحراف جهت‌دار باشند که بیضی استاندارد می‌تواند انحراف جهت‌دار توزیع نقاط احتمال را به خوبی نشان دهد (جی لی، ۱۳۸۱: ۷۱) به سخنی دیگر، جهت انحراف پراکندگی نقاط با استفاده از بیضی استاندارد نشان داده می‌شود. در بیضی، امتداد محور اصلی نشان‌دهنده حداکثر پراکندگی مرکز ثقل (بیش‌ترین جابه‌جایی مرکز ثقل) است و محور فرعی مسیر حداقل جابه‌جایی را نشان می‌دهد.

دو محور در سیستم مختصات کارتزین همان محورهای  $x$  و  $y$  بوده و زاویه چرخش با توجه به جهت‌یابی جغرافیایی توزیع نقاط دارای مقدار معینی است. زاویه چرخش، زاویه بین شمال و محور چرخشی  $y$  در جهت گردش

عقربه‌های ساعت است.

مراحل تعیین بیضی انحراف استاندارد به صورت زیر است (جی لی، ۱۳۸۱: ۷۲):

$$1- \text{ محاسبه مختصات مرکز میانگین } \bar{X}_{mc} \text{ و } \bar{Y}_{mc}$$

$$2- \text{ محاسبه انتقال مختصات برای هر نقطه از } P_i \text{ در توزیع،}$$

$$x_{i'} = x_i - x_{mc}$$

$$y_{i'} = y_i - y_{mc}$$

$$3- \text{ محاسبه زاویه چرخش } \theta \text{ طبق رابطه زیر:}$$

$$\tan \theta = \frac{(\sum_{i=1}^n x_{i'}^2 - \sum_{i=1}^n y_{i'}^2) + \sqrt{(\sum_{i=1}^n x_{i'}^2 - \sum_{i=1}^n y_{i'}^2)^2 + 4(\sum_{i=1}^n x_{i'} - \sum_{i=1}^n y_{i'})}}{2 \sum_{i=1}^n x_{i'} - \sum_{i=1}^n y_{i'}}$$

$$x_{i'} = x_i - x_{mc}$$

$$y_{i'} = y_i - y_{mc}$$

با توجه به زاویه  $\theta$  در مرحله سوم، می‌توان انحراف در طول محورهای  $x_i$  و  $y_i$  را با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه نمود:

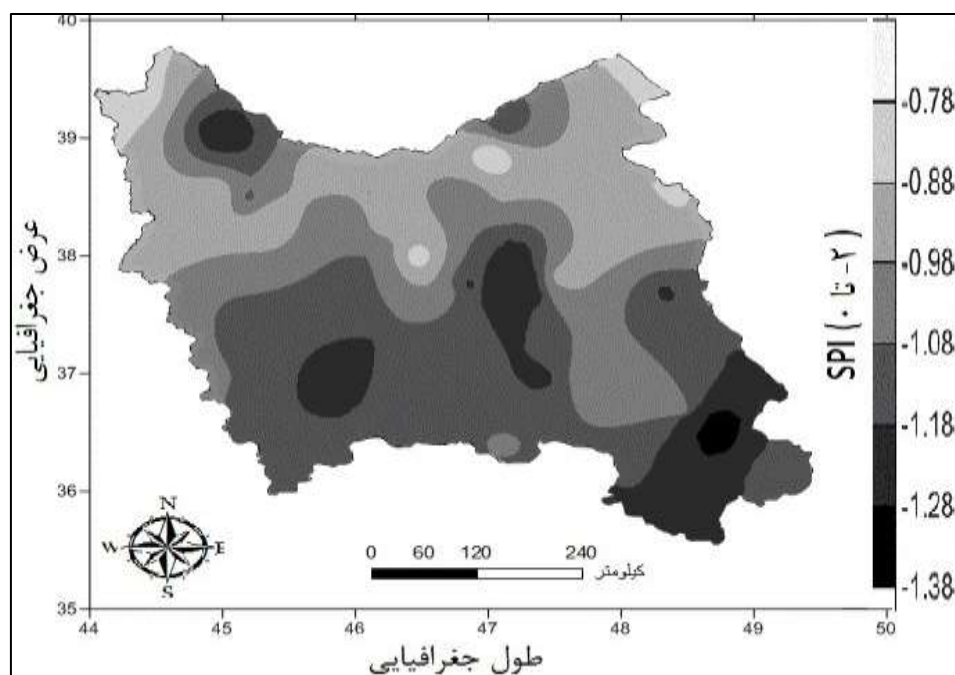
$$\delta_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{i'} \cos \theta - y_{i'} \sin \theta)^2}{n}}$$

$$\delta_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{i'} \sin \theta - y_{i'} \cos \theta)^2}{n}}$$



## یافته‌ها و بحث

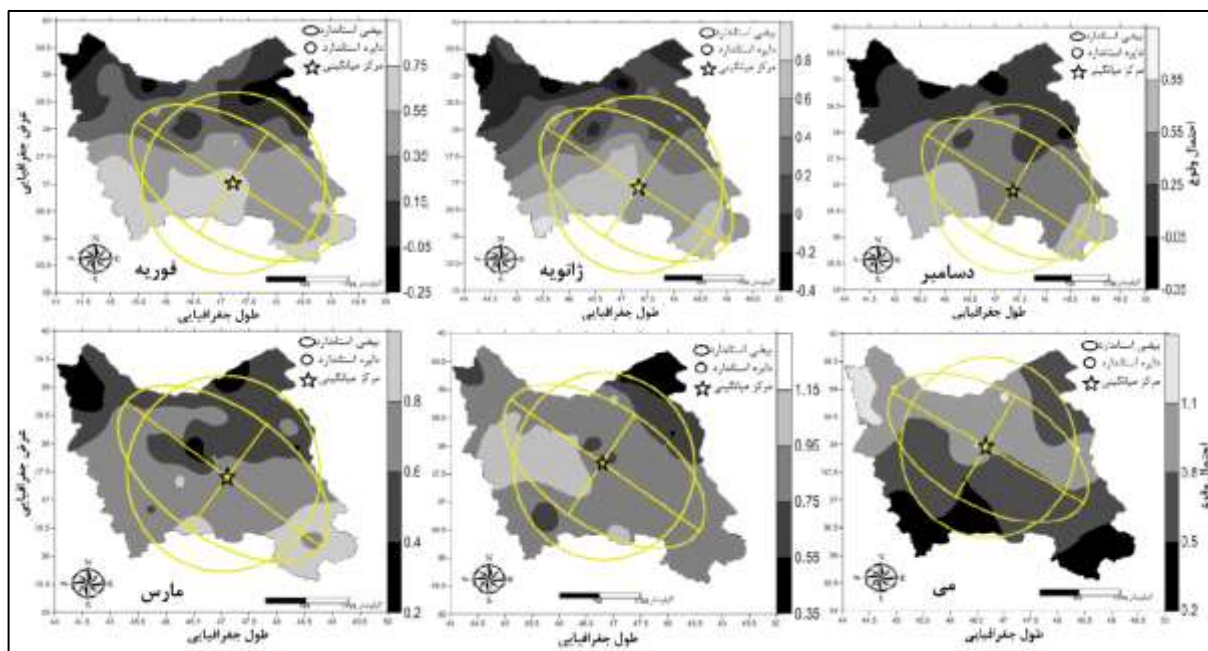
به دلیل اهمیت وقوع خشکسالی در شمال غرب ایران، جهت بررسی متوسط شدت وقوع آن در پهنه، میانگین شدت‌های خشکسالی (۲- تا ۰)، در گستره پهنه با استفاده از تکنیک میان‌یابی کریجینگ محاسبه گردیده به صورت نقشه در شکل ۳ ارائه شد. بررسی این نقشه نشان می‌دهد که در گستره وسیعی از پهنه، وقوع خشکسالی‌ها از شدت بالایی برخوردار می‌باشند به طوری که در نیمه جنوبی-مرکزی و به ویژه در استان زنجان، وقوع خشکسالی‌های متوسط تا شدید از شدت بالایی برخوردار است. نیمه شمالی نسبت به نیمه جنوبی شدت کم‌تری را تجربه کرده است. با این وجود در این بخش نیز مناطقی به صورت مجزا در بخش شمال غربی دیده می‌شود که با خشکسالی مواجه است. بخش مذکور با وجود نزدیکی به مسیر ورود بادهای غربی، به دلیل وضعیت توپوگرافی منطقه، خشکسالی‌ها در آن از امکان وقوع بیش‌تری برخوردارند.



شکل ۳: متوسط شدت خشکسالی‌ها در پهنه شمال غرب ایران

جهت بررسی شدت وقوع ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها در پهنه شمال غرب ایران، نقشه متوسط مقادیر ماهانه SPI محاسبه شده، به صورت پس زمینه‌های رنگی در شکل‌های ۵ و ۴ ارائه شد. دیده شد که طی ماه‌های فصل زمستان خشکسالی‌ها و عمدتاً خشکسالی‌های ضعیف بیش‌تر در نیمه شمالی پهنه به وقوع پیوسته‌اند. اما نیمه جنوبی به دلیل دریافت بارش مناسب‌تر وضعیت مرطوب را تجربه کرده است. این در حالی است که با پیش‌روی به سمت بهار از گستره و شدت این خشکسالی‌ها در نیمه شمالی کاسته شده و بر وسعت مناطق درگیر با ترسالی‌ها افزوده

می‌شود. وقوع ترسالی‌ها در ماه آوریل به حداکثر مقدار می‌رسد به طوری که طی این ماه بخش وسیعی از پهنه ترسالی‌های متوسط را تجربه می‌کند. تنها بخشی که با کمبود بارش مواجه است بخش شمال‌شرقی منطبق بر دشت مغان است. با این حال طی آخرین ماه فصل بهار حالت معکوس در پهنه اتفاق افتاده و نیمه جنوبی تحت تاثیر خشک‌سالی ضعیف قرار گرفته است که ناشی از کاهش بارش نسبت به ماه‌های قبل است.

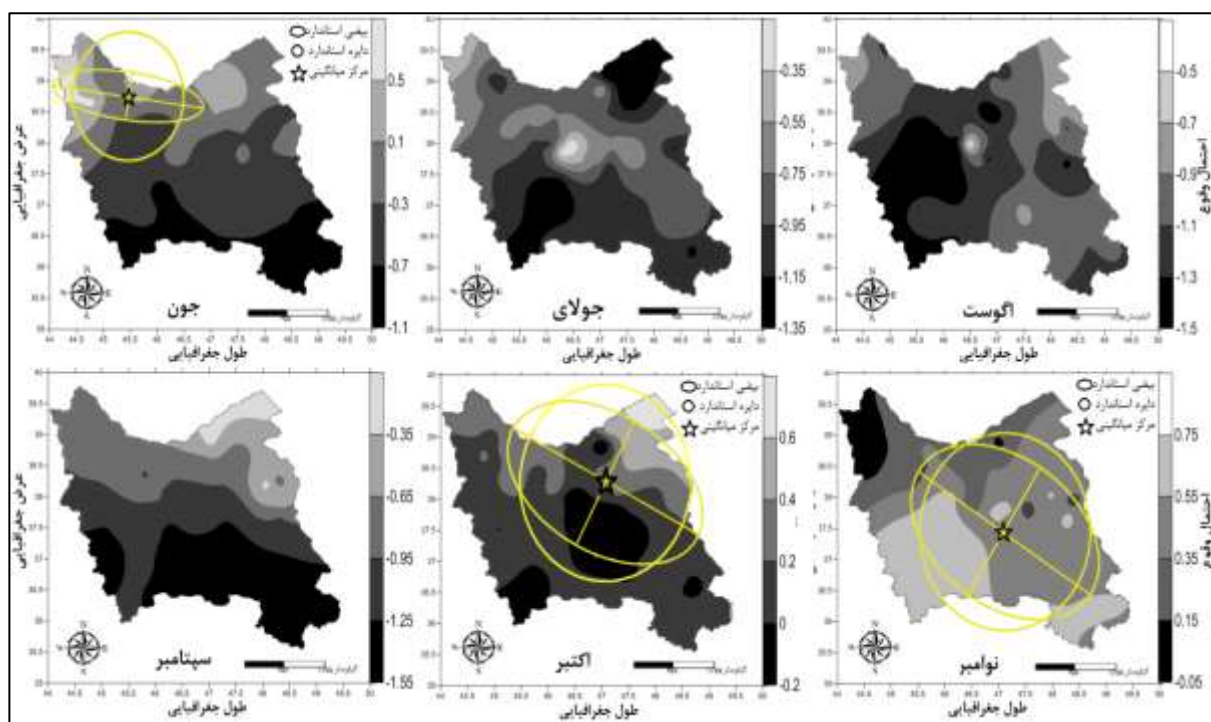


شکل ۴: پراکنش مکانی مقادیر SPI ماهانه فصول زمستان و بهار و گستره شاخص‌های پراکنده‌گی و مرکزی آن‌ها در شمال غرب ایران

بر اساس شکل ۵، با گذر به فصل تابستان از بخش جنوبی منطقه به طرف شمال بر وسعت مناطق درگیر با خشک‌سالی و بارش کم‌تر از نرمال افزوده می‌شود، به طوری که طی دو ماه آخر تابستان و اولین ماه پاییز بخش گسترده‌ای از پهنه با خشک‌سالی متوسط تا شدید مواجه می‌شود. در این بین منطقه شمال‌شرق (دشت مغان) وضعیت خاصی داشته و حالتی عکس با پهنه نشان می‌دهد. به گونه‌ای که وقوع خشک‌سالی‌ها طی اواخر تابستان و اوایل پاییز در این بخش نسبت به سایر بخش‌ها از شدت کم‌تری برخوردار است. با این وجود طی ماه‌های پاییز با آغاز ورود بادهای غربی به منطقه و دریافت بارش مناسب در پهنه، بر گستره وقوع ترسالی‌ها افزوده شده و شدت خشک‌سالی‌ها سیر قهقراپی می‌گیرند. در آخرین ماه به جز در گوشه شمال‌غربی اثری از کمبود بارش و خشک‌سالی دیده نمی‌شود.

مرکز میانگینی محاسبه‌شده برای پهنه نشان می‌دهد که طی ماه‌های فصل زمستان به طور متوسط میانگین مقادیر SPI در نیمه جنوبی قرار گرفته است. تمایل مرکز میانگینی به بخش‌های جنوبی نشان بر تمرکز بیش‌تر شدت‌های وقوع ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌های ضعیف (با توجه به مقادیر  $-0.5 < SPI < 0.9$  طی این ماه‌ها) در این بخش دارد. دیده

می‌شود که دایره و بیضی استاندارد بیش‌ترین انطباق را با یکدیگر طی ماه‌های اول زمستان دارند این انطباق نشان‌دهنده پایستگی بیشتر وقوع مقادیر ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌های ضعیف در پهنه به‌ویژه در نیمه جنوبی آن می‌باشد. اما به سمت بهار از میزان پایستگی آن کاسته می‌شود. به سمت بهار مرکز میانگینی از نیمه جنوبی به سمت بخش‌های مرکزی-شمالی جابه‌جا می‌شود این جابه‌جایی در مرکز نشان می‌دهد که به دلیل دریافت بارش مناسب و بیش از حد نرمال در پهنه، شدت‌های وقوع خشک‌سالی‌ها نیز تعدیل شده و با توجه به مقادیر  $SPI < 1/5$  ( $> 0/2$ ) (به شکل ۴ نگاه کنید) طی ماه‌های بهاری، ترسالی‌های ضعیف تا متوسط در پهنه سیطره می‌یابند. با این وجود با کشیده‌تر شدن بیضی استاندارد، تغییرات مکانی میانگین مرکزی بیش‌تر می‌شود. طی ماه‌های هر دو فصل زمستان و بهار، حداکثر جابه‌جایی مکانی مرکز میانگینی در جهت شمال‌غرب-جنوب‌شرق است.

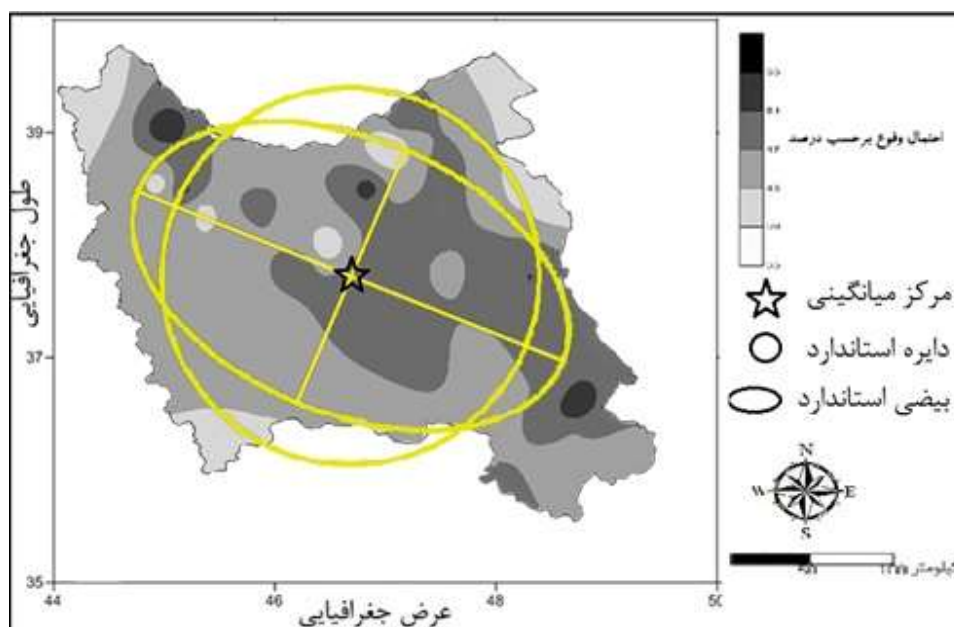


شکل ۵: پراکنش مکانی مقادیر SPI ماهانه فصول تابستان و پاییز و گستره شاخص‌های پراکنده‌گی و مرکزی آن‌ها در شمال غرب ایران

کوچک بودن مقادیر SPI و نزدیکی بیش از حد مقادیر هر یاخته از پهنه به صفر طی سه ماه جولای، اگوست و سپتامبر باعث شد که انحراف داده‌ها از مرکز میانگینی، مقادیر بسیار کوچکی داشته باشد و داده‌ها حول میانگین متمرکز شوند (تمرکز حول صفر). لذا امکان محاسبه دایره و بیضی استاندارد برای سه ماه مذکور فراهم نشد (به شکل ۵ نگاه کنید). اما طی ماه‌های آخر پاییز دوباره مرکز میانگینی در پهنه نمایان شد و مرکز ثقل خشک‌سالی-ترسالی ضعیف ( $SPI < 0/2 > 0/8$ ) در شمال منطقه واقع شد. با گسترش بیش‌تر پراکنده‌گی داده‌ها حول

میانگین، دایره و بیضی استاندارد در ماه‌های مذکور انطباق بیشتری را نشان دادند که نشان‌دهنده پایستگی بیشتر مقادیر در بخش‌های تحت سیطره آن‌هاست. طی ماه نوامبر مرکز ثقل به سمت عرض‌های پایین جابه‌جا شده است از طرف دیگر با فزونی بارندگی طی این فصل در منطقه احتمال وقوع ترسالی‌های ضعیف نیز بیشتر شده است. این احتمال وقوع بیشتر در بخش جنوب‌غربی دیده می‌شود.

چنان‌که پیش‌تر گفته شد، ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها با شدت‌های متفاوت در گستره شمال‌غرب کشور با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش SPI مورد بررسی قرار گرفت. از آن‌جا که بررسی‌ها نشان از برتری احتمال وقوع ترسالی ضعیف و خشک‌سالی شدید در پهنه داشت؛ لذا از بین احتمالات متناظر، آماره‌های توصیفی تنها برای بیان ویژگی‌های احتمال وقوع این پدیده‌ها ارائه شد.



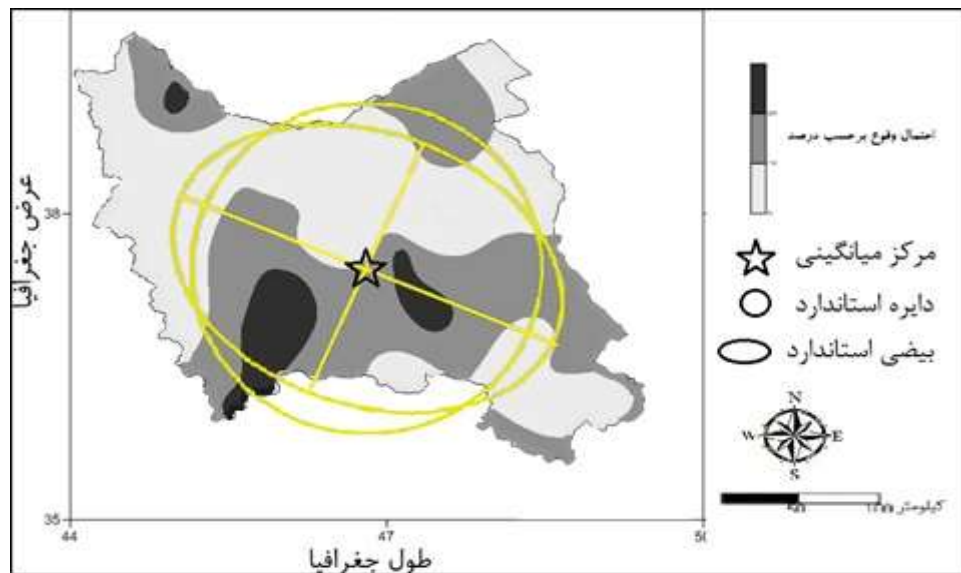
شکل ۶: احتمال وقوع ترسالی ضعیف و گستره شاخص‌های پراکندگی و مرکزی آن در شمال‌غرب ایران

در شکل ۶ احتمال وقوع، مرکز میانگینی و دایره و بیضی استاندارد احتمال وقوع ترسالی ضعیف در شمال‌غرب ایران به تصویر کشیده شده است. بر اساس این شکل، بیش‌ترین احتمال وقوع ترسالی ضعیف در بخش‌های شرقی-مرکزی و منطقه کم وسعتی در بخش شمال‌غربی منطقه دیده می‌شود. تطبیق نقشه احتمال وقوع ترسالی‌های ضعیف با نقشه پراکنش ارتفاعی منطقه، گویای تبعیت احتمال وقوع این نوع ترسالی از جهت‌گیری ناهمواری‌های شرقی منطقه می‌باشد. احتمال وقوع ترسالی ضعیف در مناطق یادشده بین ۵۱-۴۷ درصد است. اما در نیمه شرقی و جنوبی با جهتی اریب، احتمال وقوع آن نسبت به نیمه شرقی کم بوده و در حد ۴۷-۳۴ درصد می‌باشد که به سمت

حواشی پهنه در گوشه شمال شرقی، شمال غربی و جنوب غربی منطقه از احتمال وقوع ترسالی ضعیف کاسته شده و به حداقل میزان ممکن می‌رسد.

مرکز میانگینی نشان می‌دهد که به طور متوسط بیش‌ترین میزان احتمال وقوع ترسالی ضعیف و مرکز ثقل آن در بخش شرقی کوه سهند واقع شده است. دایره استاندارد بیش‌ترین پراکنش احتمال وقوع این پدیده را در مناطق مرکزی نشان می‌دهد. به عبارتی در محدوده آن، پراکنش احتمال وقوع ترسالی ضعیف بیش‌تر است. محور اصلی بیضی استاندارد نیز بیانگر بیش‌ترین جابه‌جایی مکانی مرکز ثقل در امتدادی خاص می‌باشد. طبق شکل ۶ بیش‌ترین جابه‌جایی مکانی مرکز ثقل احتمال وقوع پدیده مورد نظر سویی شمال غربی، جنوب شرقی دارد. بدین معنی که مرکز میانگینی بیش‌تر در جهت یادشده جابه‌جا می‌شود. کشیدگی بیش‌تر این بیضی نشانی از انحراف و ناپایداری بیش‌تر مرکز میانگینی احتمال وقوع ترسالی ضعیف است.

در شکل ۷ پراکنش مکانی احتمال وقوع خشک‌سالی‌های شدید نشان داده شده است. دیده می‌شود که در گستره وسیعی از پهنه به‌ویژه در نیمه جنوبی منطقه احتمال وقوع خشک‌سالی‌های شدید بیش‌تر است (با احتمال وقوع ۳۰-۲۰٪) در این بین بیش‌ترین احتمال وقوع این نوع خشک‌سالی‌ها در بخش جنوب غربی دیده می‌شود.



شکل ۷: احتمال وقوع خشک‌سالی شدید و گستره شاخص‌های پراکنش و مرکز آن در شمال غرب ایران

با این وجود ترسیم مرکز میانگینی و دایره استاندارد نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان احتمال وقوع خشک‌سالی شدید در بخش جنوب شرقی کوهستان سهند واقع شده است. مرکز میانگین و دایره استاندارد نسبت به ترسالی ضعیف به طرف عرض‌های پایین‌تر منتقل شده‌اند. به عبارتی بیش‌ترین پراکنش احتمال وقوع خشک‌سالی شدید در

عرض‌های پایین‌تر واقع است. باید متذکر شد که دایره و بیضی استاندارد در خشک‌سالی شدید نسبت به احتمال وقوع ترسالی ضعیف از پایداری مکانی بیش‌تری برخوردارند چرا که انطباق بیش‌تری با یکدیگر نشان می‌دهند. از طرف دیگر بیضی استاندارد نیز از کشیدگی کم‌تری برخوردار است چرا که مقادیر احتمال وقوع از انحراف کم‌تری نسبت به میانگین برخوردارند. اما همانند احتمال وقوع ترسالی ضعیف، جهت انحراف مرکز میانگینی، جهتی شمال غرب، جنوب‌شرقی دارد. که نشانی از جابه‌جایی بیشینه مرکز ثقل در امتداد مذکور می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تلاش گردید تا با استفاده از شاخص به بررسی وضعیت ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها در پهنه شمال‌غرب کشور پرداخته شود. بررسی ماهانه خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌ها با شدت‌های مختلف طی ۲۴۰ ماه، نشان دهنده عدم هم‌خوانی و پیروی درصد احتمال وقوع خشک‌سالی‌های شدید و ترسالی‌های ضعیف از توزیع احتمال نرمال بوده و درصد احتمال وقوع ترسالی‌های ضعیف در بخش‌های شرقی و مرکزی منطقه و خشک‌سالی‌های شدید در نیمه جنوبی پهنه بیش‌تر از سایر حالات است. از طرف دیگر محاسبه شاخص‌های مرکزی و پراکندگی مکانی هر یک از دو حالت یادشده نیز نشان داد که پراکندگی مکانی احتمال وقوع ترسالی ضعیف در عرض‌های شمالی، بیش‌تر و احتمال وقوع خشک‌سالی‌های شدید در عرض‌های پایین‌تر نمایان‌تر است. با این وجود احتمال وقوع خشک‌سال‌های شدید از پایداری مکانی بیش‌تری برخوردار می‌باشد.

گرچه در نگاه اول یافته‌های تحقیق مبنی بر احتمال بالای وقوع ترسالی‌ها در منطقه خوش‌بینانه به نظر می‌رسد، اما تحقیقات گسترده دانشمندان و محققان کشور نشان از پتانسیل بالای وقوع پدیده خشک‌سالی در جای سرزمین پهناور ایران دارد. شمال‌غرب ایران نیز از این امر مستثنی نبوده و خشک‌سالی‌های شدید نیز در این بخش از پهنه ایران زمین از احتمال وقوع بالایی برخوردار است که تکرار این پدیده می‌تواند طی زمان باعث تشدید پدیده خشکی در منطقه شده و تأثیرات منفی پرشماری بر بخش‌های مختلف اقتصادی، کشاورزی و محیطی منطقه داشته باشد؛ لذا در این تحقیق پیشنهاد می‌شود که به پدیده‌های مذکور از دیدگاه سینوپتیکی نیز پرداخته شود چرا که وقوع این پدیده‌ها ریشه در عوامل کلان‌مقیاس دارد. همچنین پیشنهاد می‌شود با انجام مطالعات بیش‌تر با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته آماری هم‌چون سری‌های زمانی، تحلیل طیفی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و... در زمینه پیش‌بینی وقوع خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌های منطقه مطالعات متقن‌تری انجام شود چرا که پیش‌بینی این پدیده‌هاست که می‌تواند به عنوان کلیدی در اختیار مسئولین محترم در جهت مدیریت بحران و رویارویی با مشکلات جانبی ناشی از وقوع این پدیده‌ها و تسلط بر شرایط بحرانی باشد. با برنامه‌ریزی مناسب و طولانی‌مدت و استفاده بهینه از منابع آب



منطقه و استفاده از تکنولوژی و فن‌آوری‌های نوین جهت استفاده از روان آب‌ها و منابع آبی منطقه می‌توان تا حد بسیار زیادی از اثرات زیان‌بار خشک‌سالی در منطقه کاست.

#### تقدیر و تشکر

پژوهش حاضر با حمایت مالی باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر و در قالب یک طرح پژوهشی تحت عنوان پایش و پهنه‌بندی خشک‌سالی منطقه شمال غرب ایران با استفاده از تکنیک‌های آماری، احتمالی و GIS انجام شده است. بدین وسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را از باشگاه پژوهشگران جوان واحد مذکور اعلام می‌داریم.

## منابع

- آشگر طوسی، ش؛ علیزاده، ا؛ جوانمرد، س (۱۳۸۲)، «پیش بینی احتمال وقوع خشک‌سالی در استان خراسان» *تحقیقات جغرافیایی*، اصفهان، شماره ۷۰، صص ۱۱۹-۱۲۸.
- سرحدی، ع؛ سلطانی، س؛ مدرس، ر (۱۳۸۷)، «ارزیابی و تحلیل گستره خشک‌سالی در استان اصفهان بر پایه چهار شاخص مهم خشک‌سالی»، *نشریه دانشکده منابع طبیعی*، تهران، شماره (۳) ۶۱، صص ۵۷۰-۵۵۵.
- سلطانی، س؛ سعادت‌تی، س (۱۳۸۶)، «پهنه‌بندی خشک‌سالی در استان اصفهان با استفاده از نمایه استاندارد بارش (SPI)» گزارش فنی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره ۲، صص ۶۷-۶۴.
- جی، لی؛ ود (۱۳۸۱)، «تجزیه و تحلیل آماری با Arcview GIS»، (ترجمه: م، ر؛ حسین نژاد)، تهران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ص ۲۷۴.
- حسینی صفا، ح؛ مرید، س (۱۳۸۷)، «تحلیل احتمالاتی خصوصیات مکانی شدت خشک‌سالی در استان تهران»، *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، تهران، شماره ۵، صص ۴۵-۲۸.
- حجازی زاده، ز؛ شیرخانی، ع (۱۳۸۴)، «تحلیل و پیش‌بینی آماری خشک‌سالی و دوره‌های خشک کوتاه‌مدت در استان خراسان»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۵۲، صص ۳۱-۱۳.
- خسروی، م؛ اکبری، م (۱۳۸۸)، «بررسی ویژگی خشک‌سالی‌های استان خراسان جنوبی»، *جغرافیا و توسعه*، شماره ۱۴، صص ۶۸-۵۱.
- خسروی، م؛ اسمعیل نژاد، م؛ نظری پور، ح (۱۳۸۹)، «تغییر اقلیم و تاثیر آن بر منابع آب خاورمیانه»، *چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام*، ایران، ۲۷-۲۵ فروردین ۱۳۸۹، زاهدان، صص ۶۸-۵۱.
- رضیئی، ط؛ شکوهی، ع.ر؛ ثقفیان، ب (۱۳۸۲)، «پیش‌بینی شدت، تداوم و فراوانی خشک‌سالی با استفاده از روش‌های احتمالاتی و سری‌های زمانی (سیستان و بلوچستان)»، *بیابان*، شماره ۲، صص ۳۱۰-۲۹۲.
- رضیئی، ط؛ دانش کار آراسته، پ؛ اختری، ر؛ ثقفیان، ب (۱۳۸۶)، «بررسی خشک‌سالی‌های هواشناسی (اقلیمی) در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکوف»، *تحقیقات منابع آب ایران*، شماره ۱، صص ۳۵-۲۵.
- عساکره، ح (۱۳۸۶)، «تغییر اقلیم»، زنجان، انتشارات دانشگاه زنجان، ص ۲۳۴.
- عساکره، ح (۱۳۸۷)، «کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش»، *جغرافیا و توسعه*، شماره ۱۲، صص ۴۲-۲۵.



- علیجانی، ب؛ بابایی، ا (۱۳۸۸)، «تحلیل فضایی خشکسالی‌های کوتاه‌مدت ایران»، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، شماره ۱۳، صص ۱۰۹-۱۲۱.
- محسنی ساروی، م؛ صفدری، ع.ا؛ ثقفیان، ب؛ مهدوی، م (۱۳۸۳)، «تحلیل شدت، مدت، فراوانی و گستره خشکسالی‌های حوضه کارون به کمک شاخص بارش استاندارد (SPI)»، *مجله منابع طبیعی ایران*، شماره (۴) ۵۷، صص ۶۲۰-۶۰۷.
- مرادی، ح.ر؛ رجبی، م؛ فرج زاده، م (۱۳۸۶)، «تحلیل روند و خصوصیات مکانی شدت خشکسالی‌های استان فارس»، *فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان*، شماره ۱ (۱۴)، صص ۹۷-۱۰۹.
- نگارش، ح؛ کریمی، م (۱۳۸۷)، «تحلیل خشکسالی‌های اخیر منطقه ایران شهر به روش SPI»، *علوم جغرافیایی*، شماره ۱۲، صص ۳۱-۵۸.
- نگارش، ح؛ خسروی، م (۱۳۸۹)، «مطالعه خشکسالی‌های کوتاه مدت شهرستان زاهدان»، *جغرافیا و توسعه*، شماره ۱۸، صص ۱۰۹-۱۳۴.
- یوسفی، ن؛ حجام، س؛ ایران‌نژاد، پ (۱۳۸۶)، «برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی با استفاده از زنجیره مارکوف و توزیع نرمال (مطالعه موردی، قزوین)»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۶۰، صص ۱۲۱-۱۲۸.
- Balling. Jr., Robert. C., Gregory. B., (2007), "Analysis of drought determinants for the Colorado River Basin", *Climatic Change*, 82:179-194.
- Edward. D.C., McKee, T.B., (1997), "Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple timescales", Colorado State University: Fort Collins, *Climatology Report*, pp 1-92.
- Choi, K.S., Su-Bin, Oh., Hi-RyongByun, R. H., Kripalani & Do-Woo Kim., (2011), "Possible linkage between East Asian summer drought and North Pacific Oscillation", *Theor. Appl. Climatol*, 103:81-93.
- Castaneda, M., Gonzalez, M. 2008. Statistical analysis of the Precipitation trend in the Patagonia region in southern South America. *Atmosfera*, 21: 303- 317.
- Hughes, B.L., Saunders, M., (2002), "A drought climatology for Europe", *Int. J. Climatol*, 22: 1571-1592.
- Kim, Do-Woo., -Ryong B.Hi., (2009), "Future pattern of Asian drought under global warming scenario", *Theor. Appl. Climatol*, 98:137-150.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., (1993), "The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales", *Applied Climatology*, 179-184.

- Moradi, H. R., Rajabi, M., Faragzadeh, M., (2011), "Investigation of meteorological drought characteristics in Fars province", *Iran. Catena*, 84: 35–46.
- Ntale, H. k., Thian, y. g., (2003), "Drought indices and their application to east Africa", *Int. J. Climatol*, 23: 1335–1357.
- Raziei, T., Saghafian, B., Ana, A., Paulo, L. S., Isabella, B., (2009) ,"Spatial Patterns and Temporal Variability of Drought in Western Iran", *Water Resour. Manage*, 23:439–455.
- Raziei, T., Isabella, B.L., Santos, P., (2011),"An Application of GPCC and NCEP/NCAR Datasets for Drought Variability Analysis in Iran", *Water Resour Manage*, 25:1075–1086.
- Soto, M.L., Giddings, B.M., Rutherford, A. Maarouf., (2005),"standardized precipitation index zones for Mexico", *Atmosfera*, 58: 33-56.
- Santos. J.F., Maria, M.P., Inmaculada P.C., (2011), "Regional Frequency Analysis of Droughts in Portugal", *Water Resour. Manage*, 25: 9869-9883.
- Tsakiris. G., Pangalou, D., Vangelis, H., (2007),"Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI)", *Water Resour. Manage*. 21:821–833.
- Vasiliades, A., Loukas, Tzabiras.J., (2008),"Climate change effects on drought severity", *Adv. Geosci*, 17: 23–29.