

Geographic Notion  
Vol. ۱۶, spring ۲۰۱۷  
Zanjan University  
No. ۱۱۳

اندیشه جغرافیایی  
سال نهم، شماره شانزدهم، بهار ۱۳۹۶  
دانشگاه زنجان  
مقاله شماره ۱۱۳

## پهنه بندی احتمال وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های شمال غرب ایران

رباب رزمی<sup>۱</sup>، فاطمه ستوده<sup>۲</sup>

### چکیده

در پژوهش حاضر تلاش شده که با استفاده از داده‌های بارش ماهانه ۵۵ ایستگاه واقع در شمال غرب ایران با حداقل پیشینه آماری ۲۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۸۶)، احتمال وقوع و دوره بازگشت خشکسالی‌ها و ترسالی‌های منطقه مورد پایش و پهنه بندی قرار گیرد. در این راستا، ابتدا با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش (*SPI*)، خشکسالی‌ها و ترسالی‌های منطقه در ۸ بازه تعریف شده، مورد ارزیابی قرار گرفت. با در نظر گرفتن هر هشت بازه به عنوان آستانه در تکنیک زنجیره مارکف دو حالت مرتبه اول، احتمال وقوع و دوره بازگشت هر یک از حالات، محاسبه و به صورت نقشه پهنه‌ای ارائه گردید. اعمال تکنیک زنجیره مارکف نشان داد که هر یک از حالت‌های ترسالی شدید، ترسالی متوسط، ترسالی ضعیف و خشکسالی ضعیف در گستره پهنه، از زنجیره مارکف مرتبه دوم تبعیت کرده و از احتمال وقوع بیشینه برخوردار هستند. اما خشکسالی متوسط، فرین و ترسالی فرین، در بخش وسیعی از پهنه تابع زنجیره مارکوف نبودند. بیشترین احتمال وقوع خشکسالی‌های شدید در نیمه جنوبی منطقه بوده، این در حالی است که بیشترین احتمال وقوع ترسالی‌های شدید و ضعیف در بخش شرقی و غربی- مرکزی به وقوع پیوسته است. می‌توان گفت این سه حالت رفتاری عکس هم دارند. در جاهایی که ترسالی شدید و ضعیف امکان وقوع دارد خشکسالی شدید از احتمال کمتری برخوردار است. در مناطقی که احتمال وقوع ترسالی متوسط بالاست خشکسالی شدید هم از احتمال وقوع بالایی برخوردار می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** ترسالی، زنجیره مارکوف، شمال غرب ایران، خشکسالی، *SPI*

<sup>۱</sup> - دانشجوی دکتری تغییر اقلیم، دانشگاه زنجان. Email: robab.razmi@znu.ac.ir

تلفن: ۰۹۳۹۸۰۷۶۹۶۸

<sup>۲</sup> - دانشجوی دکتری اقلیم شناسی سینوپتیک، دانشگاه خوارزمی

## مقدمه

وقوع خشکسالی و ترسالی پدیده‌هایی طبیعی هستند که از تغییر پذیری بنیادی در دستگاه اقلیم و از همه مهم‌تر گردش عمومی اتمسفر نشأت می‌گیرند. بنابراین وقوع آنها در رژیم آب و هوایی مختلف و متنوع محتمل است. مطالعات دانشمندان همچون هاگس و ساندرس<sup>۱</sup> (۱۵۷۱، ۲۰۰۲) در اروپا، نتال و گان<sup>۲</sup> (۲۰۰۳، ۱۳۳۵) در آفریقا، کیم و بیون<sup>۳</sup> (۲۰۰۹، ۱۳۷) در آسیا و مطالعات بی شمار دیگر نشان می‌دهد که خشکسالی پدیده‌ای جهانی است. لذا دانشمندان در سرتاسر جهان تلاش کرده‌اند تا با استفاده از تکنیک‌ها و شاخص‌های مختلف به شناخت جامع‌تر و کامل‌تری از آن دست پیدا کنند. تا امکان برنامه‌ریزی بهتر جهت مقابله با این بحران محیطی فراهم گردد. از جمله مطالعاتی که در این زمینه صورت گرفته می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

هاگس و ساندرس (۲۰۰۲) در تحقیقی تحت عنوان اقلیم‌شناسی خشکسالی اروپا، این پدیده را در اروپا با استفاده از شاخص SPI و PDSI طی دوره اماری ۱۹۹۹-۱۹۰۱ بررسی کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که پدیده خشکسالی طی قرن بیستم در اروپا تغییرات غیر معنی‌دار داشته است. نتال و گان (۲۰۰۳) با استفاده از مقایسه شاخص‌های SPI<sup>۴</sup>، BMI<sup>۵</sup>، PDSI<sup>۴</sup>، خشکسالی را در شرق آفریقا مطالعه کردند. نتایج نشان داد که شاخص SPI بهتر از سایر روشها می‌تواند پدیده خشکسالی را نشان دهد. بونا کورسو<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۰۳) به بررسی پدیده خشکسالی در منطقه سیسیل با استفاده از شاخص SPI و PCA طی دوره اماری ۱۹۲۶-۱۹۹۶ پرداختند. سرانو<sup>۸</sup> (۲۰۰۶) با استفاده از شاخص SPI و بهره‌گیری از توزیع پیرسون تیپ سه پدیده خشکسالی را در شبه جزیره ایبری مطالعه کرد و نشان داد که شدت خشکسالی در بخش‌های مختلف

<sup>۱</sup> - Hughes and Saunders

<sup>۲</sup> - Ntale and Gan

<sup>۳</sup> - Kim and Byun

<sup>۴</sup> - Palmer drought severity index

<sup>۵</sup> - Bhalme-Mooley index

<sup>۶</sup> - standardized precipitation index

<sup>۷</sup> - BONACCORSO

<sup>۸</sup> - SERRANO

این منطقه متفاوت می باشد. لوکاس<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از شاخص SPI خشکسالی را در منطقه تسالی یونان بررسی کردند. بدین منظور از بارش ماهانه ۵۰ ایستگاه هواشناسی طی دوره اماری ۱۹۹۰-۱۹۶۰ استفاده کردند. همچنین از مدل‌های CGCM<sup>۲</sup> برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان خشکسالی منطقه بهره گرفتند. نتایج نشان داد که شدت خشکسالی‌های سالانه طی زمان در منطقه افزایش یافته است. فانگ<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۰) پدیده خشکسالی را در مناطق مرکزی آسیا با استفاده از شاخص پالم (PDSI) و داده‌های حاصل از حلقه‌های درختان، بین سالهای (۲۰۰۵-۱۵۸۷) مطالعه کردند. نتایج تحقیقات ایشان گویای تغییر پذیری شدید خشکسالی طی دهه‌های اخیر بوده است. بیشترین شدت خشکسالی‌ها در قسمت غرب- مرکزی آسیا طی دهه‌های ۱۶۴۰-۱۶۵۰ بوده است. سانتوس<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۱) پدیده خشکسالی را در پرتقال برای دوره اماری ۲۰۰۴-۱۹۱۰، با استفاده از داده‌های ۱۴۴ ایستگاه و بر اساس روش SPI مطالعه کردند. مطالعات ایشان نشان داد که خشکسالی در منطقه دارای الگوی نسبتاً متجانسی می باشد. همزمان با مطالعاتی که در جهان صورت گرفته در ایران نیز دانشمندان به بررسی گسترده این پدیده پرداخته اند از جمله مطالعاتی که صورت گرفته می توان مواردی چند بر شمرد:

رضیئی و همکاران (۱۳۸۲) در محدوده اصفهان و یزد نشان دادند که در سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۹ منطقه سیکل‌های نسبتاً بلند مدت خشکسالی و ترسالی را پشت سر نهاده است که هر کدام از آنها نزدیک به ۱۰ سال بر منطقه حاکم بوده است. محمدی و همکاران (۱۳۸۲) با پهنه بندی خشکسالی اقلیمی در حوضه مارون با استفاده از شاخص آماری SIAP<sup>۴</sup> در منطقه جنوب غرب ایران در ابتدا سال‌های معرف خشک، نرمال و تر را برای حوضه تعیین سپس با استفاده از روشهای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نواحی با ریسک بالای خشکسالی را مشخص کردند. مرادی و همکاران (۱۳۸۶) با

<sup>۱</sup> - Loukas

<sup>۲</sup> - Fang

<sup>۳</sup> - Santos

<sup>۴</sup> - Standard Index of Annual Precipitation

استفاده از نمایه بارش استاندارد شده بر روی ۲۶ ایستگاه باران سنجی بمدت ۳۳ سال (۱۳۴۲-۱۳۷۸) در استان فارس نشان دادند شدت خشکسالی در مناطق مرکزی استان نسبت به سایر نواحی بیشتر بوده است. صداقت کردار و فتاحی (۱۳۸۷) با استفاده از رگرسیون چند متغیره و بر اساس داده‌های شاخص‌های پیوند از دور، نشان دادند که طی فاز سرد ENSO و طی فاز گرم NAO خشکسالی بر ایران حاکم می‌شود. روشنی و اسلامی (۱۳۸۸) جهت ارزیابی و پایش خشکسالی (شدت، مدت و فراوانی) در ساحل جنوبی دریای خزر در طی دوره 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 است. سرحدی و همکاران (۱۳۸۷) پدیده خشکسالی را در استان اصفهان مطالعه کردند بدین منظور از چهار شاخص SPI, RAI, DPI, PNPI استفاده کردند. نتایج تحقیقات ایشان نشانگر افزایش شدت خشکسالی در بخش‌های شرقی استان بوده است. علیجانی و بابایی (۱۳۸۸)، با استفاده از شاخص SPI طی بازه‌های زمانی ۳ و ۶ ماهه خشکسالی‌های ایران را مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور از ۷۰ ایستگاه سینوپتیک با بازه زمانی (۲۰۰۵-۱۹۷۶) استفاده کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که در قسمت‌های شمال غرب، شمال و شمال شرق کشور خشکسالی‌ها در بازه زمانی مورد نظر بسیار شدید بوده است. خسروی و اکبری (۱۳۸۸) خشکسالی‌های استان خراسان جنوبی را طی دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۷۴ با استفاده از شاخص SPI مطالعه کردند. بررسی‌ها نشان داد که طی دوره آماری مورد مطالعه شدیدترین خشکسالی‌ها در سال ۲۰۰۱ اتفاق افتاده است. نگارش و خسروی (۱۳۸۹) به منظور بررسی خشکسالی‌های شهرستان زاهدان، از شاخص SPI سه ماهه‌ی اصلاح شده توسط آگ نیو برای یک دوره شانزده ساله طی سال‌های زراعی ۷۰-۱۳۶۹ و ۸۵-۱۳۸۴ از پنج ایستگاه هواشناسی در منطقه استفاده کردند. نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که بیشترین فراوانی شدت خشکسالی‌ها مربوط به خشکسالی‌های متوسط بوده است. همچنین قسمت‌های شرقی و مرکزی

شهرستان بیشتر از قسمت های غربی از خشکسالی متاثر می شوند. ناصر زاده و احمدی (۱۳۹۱) با استفاده از شاخص  $Z$  چینی، شاخص  $Z$  چینی اصلاح شده، شاخص بارش استاندارد و شاخص دهک ها، نشان دادند که شاخص های مختلف بکار رفته دارای مشابهت در عملکرد به ویژه شاخص  $Z$  چینی و شاخص بارش استاندارد به ویژه در نشان دادن خشکسالی های شدید می باشند. و نتایج تقریباً یکسانی را نشان می دهند. خسروی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از شاخص ناهنجاری بارش (RIA) و تحلیل خوشه ای-فاصله ای، تعداد چهار خوشه را در مناطق هم خشکسالی در استان گیلان شناسایی کردند. احمدی و همکاران (۱۳۹۲)، با استفاده از شاخص SPI و SPEI پدیده خشکسالی را در منطقه کبوتر اباد اصفهان طی دوره اماری ۲۰۰۲-۱۹۹۷، مورد بررسی قرار دادند. بررسی ایشان نشان داد که سال ۲۰۰۰ شدیدترین سال مواجه با خشکسالی در منطقه بوده است.

خشکسالی ها و ترسالی ها از آن دست پدیده های اقلیمی هستند که وقوع آن ها در هر نقطه ای از کره زمین اجتناب ناپذیر است. با توجه به پیشرفت علم و تکنولوژی هنوز نمی توان راهکار دقیقی ارائه کرد که از وقوع این پدیده ها به طور قطع جلوگیری کند، اما می توان با مطالعه، پیش بینی و بهره گیری از خط مشی ها و برنامه ریزی های درست میزان خسارات احتمالی را به حداقل ممکن تقلیل داد. با توجه به اینکه اقصی نقاط کشور ما نیز هر ساله با آثار مخرب این دو پدیده مواجه است و به دلیل اهمیت موضوع در شمال غرب کشور در تحقیق حاضر تلاش گردید پدیده خشکسالی و ترسالی در این منطقه با استفاده از شاخص SPI و مدل زنجیره مارکف مورد بررسی و مطالعه بنیادی قرار گیرد.

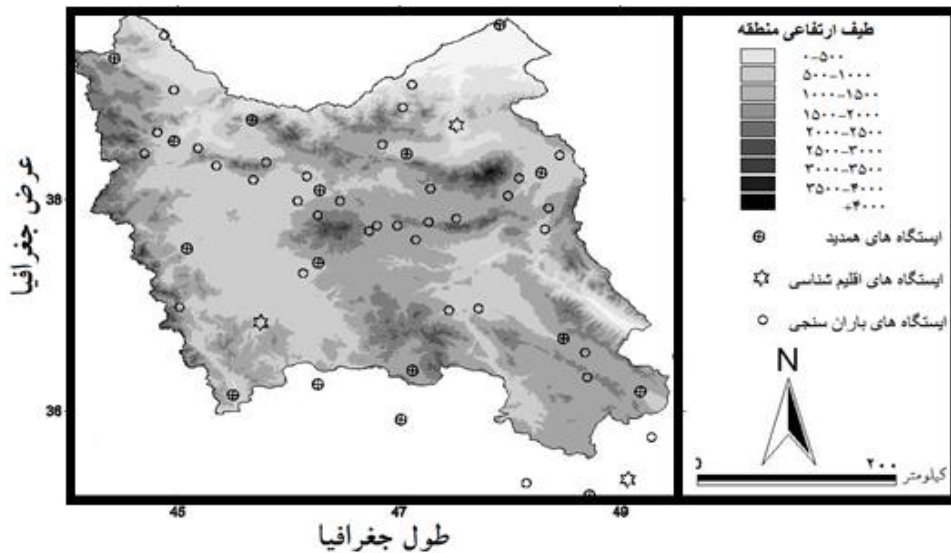
### مواد و روش ها

تعیین دوره بازگشت و احتمال وقوع خشکسالی و نیز شناخت ویژگی های دوره های خشک و تر از مسائل حائز اهمیت در برنامه ریزی های بلند مدت، بخصوص در راستای مدیریت منابع آب می باشد. بنابراین به جهت دست یافتن به چشم انداز آینده دوره های

خشکسالی و ترسالی از تکنیک زنجیره مارکف استفاده شد، تا مشخص شود دوره‌های خشک و تر محاسبه شده در روش SPI با چه احتمال و چه طول دوره‌ای، بازگشت خواهند داشت. جهت نیل به هدف تحقیق از داده‌های بارش ماهانه ۵۵ ایستگاه سازمان هواشناسی واقع در شمال غرب ایران (شامل استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل و زنجان)، با طول دوره آماری ۲۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۸۶) بهره گرفته شد. پراکنش مکانی و طیف ارتفاعی ایستگاه‌های مزبور در شکل ۱ ارائه شده است. این پهنه شامل مختصات جغرافیایی زیر می باشد:

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

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



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

در این پژوهش، ابتدا با استفاده از شاخص SPI خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها با شدت‌های مختلف (۸ بازه تعریف شده) در منطقه محاسبه گردید. سپس مقادیر هر هشت بازه به عنوان آستانه جهت محاسبه و احتمال وقوع و دوره بازگشت آنها با استفاده از تکنیک

زنجیره مارکوف در نظر گرفته شد. بدین ترتیب احتمال وقوع و دوره بازگشت هر یک از شدت‌های خشکسالی محاسبه شد. در ادامه به هریک از این روش‌ها به تفصیل پرداخته شده است.

### شاخص *SPI*

شاخص استاندارد شده بارش، 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. این تطبیق پذیری، امکان تحلیل دینامیک خشکسالی را به ویژه در زمینه شروع و خاتمه خشکسالی فراهم می‌کند. در ابتدا داده‌ها با توزیع احتمال دو پارامتری گاما برازش داده سپس به توزیع نرمال تبدیل می‌شوند (ادوارد<sup>۱</sup>، ۱۹۹۷، ۱۸).

جهت محاسبه شاخص *SPI* ابتدا تابع چگالی احتمال گاما به صورت زیر محاسبه می‌شود (ادوارد، ۱۹۹۷، ۱۸)

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad x > 0 \quad (1)$$

در فرمول فوق  $\alpha > 0$  پارامتر شکل،  $\beta > 0$  پارامتر مقیاس و  $x > 0$  مقدار بارندگی ماهانه و  $\Gamma(\alpha)$  تابع گاما است که بدین صورت محاسبه می‌شود:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

برای برازش داده‌های بارندگی به توزیع گاما برآورد پارامترهای شکل  $\alpha$  و مقیاس  $\beta$  ضروری است. ادوارد و مک کی (۱۹۹۷)

<sup>۱</sup> - Edward

$$\hat{a} = \frac{1}{4A} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \rightarrow A = Ln(\bar{x}) - \frac{\sum_{i=1}^n Lnxi}{n} \quad (۳)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (۴)$$

در فرمول‌های فوق  $\bar{x}$  میانگین بارش طولانی مدت، و  $n$  تعداد مشاهداتی است که بارندگی در آنها روی داده است.

با استفاده از پارامترهای برآورد شده  $\hat{\alpha}$  و  $\hat{\beta}$  می‌توان احتمال تجمعی بارش را در مقیاس زمانی مورد نظر به فرم زیر محاسبه نمود (علیجانی و بابایی، ۱۳۸۸):

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta} \hat{\alpha} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \quad (۵)$$

از آنجا که تابع گاما برای مقادیر بارش برابر صفر تعریف نشده است؛ به دلیل وجود مقادیر صفر در داده‌های بارش احتمال تجمعی بارش به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (۶)$$

که در این رابطه  $q$  احتمال وقوع مقادیر صفر می‌باشد. اگر  $m$  تعداد صفرها در مقادیر بارش باشد،  $q$  را می‌توان به صورت  $m/n$  محاسبه کرد. شکل تغییر یافته نمره  $Z$  استاندارد با میانگین صفر و واریانس یک است. که مقادیر  $SPI$  را بدست می‌دهد.



$$Z = SPI = - \left[ t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad \text{اگر } 0 < H(x) \leq 0.5 \text{ باشد} \quad (7)$$

$$Z = SPI = + \left[ t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad \text{اگر } 0.5 < H(x) \leq 1 \text{ باشد} \quad (8)$$

مقدار  $t$  از طریق زیر محاسبه می شود:

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad \text{برای } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (9)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(1-H(x))^2} \right]} \quad \text{برای } 0.5 < H(x) \leq 1 \quad (10)$$

مولفه های  $c_0, c_1, c_2, d_1, d_2, d_3$  مقادیر ثابت هستند که به شرح زیر تعریف می شوند:

$$\begin{aligned} c_0 &= 2/515517 & c_1 &= 0/802853 & c_2 &= 0/010328 \\ d_1 &= 1/432788 & d_2 &= 0/189269 & d_3 &= 0/001308 \end{aligned}$$

در سال ۱۹۹۳، مک کی و همکاران یک طبقه بندی از خشکسالی توسط شاخص  $SPI$  همراه با احتمال وقوع هر یک از شدت ها ارائه دادند که در جدول ۱ ارائه شده است. این جدول مبنای تعیین دوره های خشکسالی و ترسالی با شدت های متفاوت قرار گرفت.

جدول ۱- طبقه بندی خشکسالی از طریق مقدار SPI و احتمال وقوع متناظر با آن

مقدار SPI	طبقه	احتمال %
$> 2$	ترسالی بسیار شدید	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
$(-1/5) - (-1/99)$	خشکسالی شدید	۴/۴
$< -2$	خشکسالی بسیار شدید	۲/۳

### زنجیره مارکوف

زنجیره مارکوف یک تکنیک ریاضی جهت مدل سازی پدیده‌های تصادفی است که توالی از مشاهدات را در طول زمان نشان می‌دهد. مقادیر ممکن هر فرایند، حالت‌های فرایند نامیده می‌شوند. یک فرایند تصادفی مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی است که طی زمان، مقادیر مختلفی را نشان می‌دهند. به هر فرایند فرایندهای تصادفی که تنها به برآمد بلافاصله قبل از آن بستگی دارد فرایند تصادفی با ویژگی مارکوفی گویند. بر این اساس فرایند تصادفی که در ویژگی مارکوف صدق کند فرایند با زنجیره‌های مارکوفی گویند. در این رویه احتمال وقوع یک حالت اقلیمی در زمان  $t$  به وضعیت آن در زمان قبل  $(t-1)$  بستگی دارد. مثلاً احتمال خشکسالی امسال با وضعیت بارش سال قبل بررسی می‌شود. در این صورت احتمال تغییر هر یک از مشاهدات از حالتی به حالت دیگر مشخص می‌شود (علیزاده، به نقل از عساکره، ۱۳۸۹). در این راستا جهت برآورد احتمال وقوع هر پدیده، برآورد ماتریس احتمال تغییر وضعیت ضروری است. برای بدست آوردن ماتریس فوق، باید در ابتدا ماتریس شمارش فراوانی محاسبه گردد بدین صورت:

$$F = \begin{matrix} & D & W \\ D & \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \end{bmatrix} \\ W & \end{matrix} \longrightarrow F = \begin{matrix} & D & W \\ D & \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \end{bmatrix} \\ W & \end{matrix} \quad (11)$$

این ماتریس، فراوانی تغییر وضعیت از خشکی به خشکی (DD) را با  $n_{11}$ ، تغییر از خشکی به مرطوب (DW) را با  $n_{12}$  و ... نشان می‌دهد. ماتریس فوق ماتریسی است که درایه‌های آن با احتمال‌های تغییر وضعیت یک مرحله‌ای متناظرند. در این ماتریس اندیس سطر نمایان‌گر وضعیت در زمان  $(t-1)$  و اندیس ستون نمایان‌گر وضعیت در زمان  $t$  است.

در مرحله بعد باید ماتریس تشکیل شده مورد آزمون قرار گیرد تا بررسی گردد آیا مشاهدات از زنجیره مارکوفی مرتبه مورد نظر پیروی می‌کنند یا خیر. برای آزمون نیکویی برازش ماتریس تغییر حالت از آزمون استقلال استفاده می‌شود. جهت آزمون استقلال از آزمون خی دو بهره گرفته شد، که در این آزمون فرض صفر ( $H_0$ ) مبنی بر مستقل بودن سری‌ها می‌باشد یعنی داده‌ها از زنجیره مارکوف مرتبه مورد نظر پیروی نمی‌کنند.

این آزمون بر اساس جدول متقابل مقادیر انتقال مشاهدات ( $n_{ij}$ ) و تعداد انتقال مورد انتظار بر اساس فرض ( $e_{ij}$ ) بنا نهاده شده است. مقادیر مورد انتظار از روی مقادیر مشاهده شده انتقال با این فرض که جمع حاشیه ای مقادیر قابل انتظار مثل انتقالات مشاهده می‌باشد، حاصل می‌آید (باکس و همکاران به نقل از عساکره، ۱۳۸۷). یعنی:

$$e_{ij} = \frac{n_{i+} + n_{+j}}{n} \quad (12)$$

در رابطه فوق :

$$n_{i+} = n_{i1} + n_{i2}, \dots \quad (\text{مجموع هر یک از سطرهاى ماتریس فراوانی})$$

$$n_{+j} = n_{1j} + n_{2j}, \dots \quad (\text{مجموع هر یک از ستون‌های ماتریس فراوانی}) \text{ است.}$$

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{(n_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}} \quad (13)$$

$\chi_c^2$  بحرانی ( $\chi_c^2$ ) با  $(r-1)$ ،  $(c-1)$  درجه آزادی (در اینجا  $r$  و  $c$  به ترتیب تعداد

سطر و ستون‌های ماتریس است) و در سطح ۵ درصد خطا ( $\chi_{0.05,df} = (c-1), (r-1)$ )

(از جدول مربوطه به دست می‌آید. اگر  $\chi_0^2 > \chi_c^2$  باشد فرض صفر رد می‌شود یعنی

مشاهدات مستقل اند و زنجیره نیست (عساکره، ۱۳۸۷).

یک زنجیره مارکوف ساده توسط ماتریس احتمال انتقال قابل ارزیابی است. ماتریس

احتمال انتقال نیز از طریق فرمول زیر بدست می‌آید (آشگر طوسی و همکاران، ۱۳۸۲)

$$p_{ij}(t) = p[x(t) = j | x(t-1) = i] = \frac{x(t-1) = i, x(t) = j}{x(t-1) = i} \quad (14)$$

برای تمام جفت‌های  $i, j$ ، زنجیره ممکن است از حالت  $i$  در زمان  $t-1$  به حالت

$j=1, 2, \dots, r$  در زمان  $t$  تغییر یابد. لذا با معلوم بودن وضعیت در زمان  $(t-1)$  احتمال-

های انتقال متناظر در زمان  $t$  با  $p_{i1}, p_{i2}, p_{i3}, \dots$  نمایش داده می‌شود. بردار احتمال

انتقال برداری است که اولاً یک ماتریس تصادفی بوده و کلیه مؤلفه‌های آن غیرمنفی و

ثانیاً مجموع کلیه مؤلفه‌های آن برابر یک است (عساکره و مازینی، ۱۳۸۹، ۳۶). شیوه

های برآوردهای ماتریس احتمال عبارتند از: روش بیزی، کمترین توان‌های دوم خطا،

برآورد بیزی تجربی، حداکثر درست‌نمایی. از آنجا که متداول‌ترین رویه تخمین

پارامترهای احتمالاتی روش حداکثر درست‌نمایی است (عساکره، ۱۳۸۹) لذا در تحقیق

حاضر، ماتریس احتمال انتقال بر اساس این روش محاسبه گردید. بر مبنای تئوری کلاسیک، احتمال بر اساس فراوانی (بسامد) های نسبی در یک دوره آماری طولانی و به صورت درستیابی بیشینه اتفاق افتادن رویداد مورد نظر تعریف می شود. این درستیابی غالباً با  $P$  نشان داده می شود. برای مثال هر گاه آمار  $n$  روز را داشته باشیم و رویدادی معین  $m$  بار رخ دهد، آن گاه به  $\frac{m}{n}$  فراوانی نسبی گفته می شود. فراوانی نسبی را می توان به عنوان برآوردی از ارزش احتمال ( $P$ ) در نظر گرفت.

$$\sum_{j=1}^r p_{ij}(t) = 1 \quad i = 1, 2, 3, \dots, r \quad (15)$$

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} D & W \end{matrix} \\ \begin{matrix} D \\ W \end{matrix} & \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad P = \begin{matrix} & \begin{matrix} D & W \end{matrix} \\ \begin{matrix} D \\ W \end{matrix} & \begin{bmatrix} \frac{n_{11}}{n_{1+}} & \frac{n_{12}}{n_{1+}} \\ \frac{n_{21}}{n_{2+}} & \frac{n_{22}}{n_{2+}} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

ماتریس تغییر وضعیت یک مرحله ای میزان احتمالی است که ممکن است انتقال از وضعیت  $i$  به وضعیت  $j$ ،  $(P_{ij})$  صورت بگیرد. زمانی که ماتریس احتمال به توان های مکرر برسد، به سمت ماتریس  $\pi$  که دارای سطرهای یکسان و درایه های مخالف صفر است، میل می کند. یعنی  $\lim_{k \rightarrow \infty} p^k = \pi$ . یک سطر این ماتریس را به صورت  $\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_s)$  نمایش داده و بردار احتمال حالت پایا نامیده می شود. احتمال  $\pi_j$  بدین معناست که در دراز مدت این پدیده با چه احتمالی به وضعیت متناظر  $j$  انتقال خواهد یافت (دریاباری، ۱۳۸۵). به بیانی، هر فاکتور آن بیانگر متوسط درصد زمانی

است که وضعیت مورد نظر به وقوع پیوسته است. در کل با در دست داشتن توزیع اولیه و ماتریس احتمال انتقال می‌توان احتمال در هر مرحله دلخواه را بدست آورد.

بعد از محاسبه احتمال پایا ( ایستا )، دوره بازگشت هر یک از تغییر وضعیت‌ها محاسبه شد. دوره بازگشت ( $T_j$ ) متوسط تعداد روزهایی است که بین وقوع دو حادثه مشابه

وجود دارد و به شکل  $T_j = \frac{1}{P_{ij}}$  بیان می‌شود. در صورتی که وضعیت  $j$  بر قرار باشد، رابطه ساده امید ریاضی دوره بازگشت و احتمال پایا را می‌توان به شکل زیر نشان داد:

$$E(T_i) = \frac{1}{\pi_j} \quad (۱۶)$$

در رابطه فوق  $\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_s)$  بردار احتمال حالت پایای زنجیره  $T_j$  و دوره بازگشت با حالت  $j$  را نشان می‌دهد.

از کاربردهای زنجیره مارکوف، برآورد احتمال تداوم  $m$  روزه فرآیند‌ها و دوره بازگشت تداوم آنهاست. منظور از تداوم، تعداد روزها یا ماه‌های متوالی است که یک فرآیند در آن رخ داده باشد. برای مثال تداوم دو روزه بارش، به معنی ریزش باران در دو روز متوالی است. بدون آنکه قبل از روز نخست و بعد از دومین روز بارندگی صورت گرفته باشد. این احتمال بر اساس رابطه زیر بدست می‌آید (عساکره، ۱۳۸۹):

$$p_m = p^{m-1}(1-p) \quad (۱۷)$$

$P$ : احتمال فرآیند در زمان مورد نظر و  $m$  تداوم به روز و  $p_m$ : احتمال وقوع  $m$  روزه است. دوره بازگشت بارش با تداوم  $m$  روزه نیز بدین طریق محاسبه می‌شود:

$$T_m = \frac{1}{p^{m-1}(1-p)} \quad (۱۸)$$

در اینجا  $P$  احتمال بارش در ماه مورد نظر و  $m$ ، دوره بارانی مورد نظر طی  $m$  روز،  $T_m$  دوره بازگشت بارش  $m$  روزه است. در تحقیق حاضر به دلیل استفاده از مقیاس بارش ماهانه، دوره‌های بازگشت به صورت ماهانه محاسبه گردید.

### نتایج و بحث

آگاهی از احتمال وقوع خشکسالی‌ها با شدت‌های متفاوت، نقش بسزایی در برنامه‌ریزی‌های اقتصادی، صنعتی و کشاورزی می‌تواند داشته باشد. جهت دستیابی به این مهم، در این بخش از تحقیق تلاش گردید تا احتمال وقوع ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها با شدت‌های متفاوت بدست آمده از روش SPI، با استفاده از تکنیک زنجیره مارکوف مرتبه اول دو حالت مورد بررسی قرار گیرد. در این رویه جهت برآورد ماتریس تغییر حالت، آستانه‌های شاخص استاندارد نرمال با شدت‌های مختلف مقادیر SPI مورد استفاده قرار گرفت. بدین ترتیب که با دادن ارزش ۱ برای هریک از مقادیر شاخص‌های SPI و عدد صفر برای اعداد غیر از مقادیر شاخص مورد نظر، یک توالی تصادفی از مقادیر صفر و یک زنجیره مارکوف دو وضعیتی ایجاد شد، به عنوان مثال، یک بار زنجیره مارکوف دو وضعیتی برای ترسالی ضعیف محاسبه شد بار دیگر برای خشکسالی ضعیف و... این فرایند برای هر هشت بازه تعریف شده حاصل از روش SPI طی شد. ماتریس‌های تغییر حالت دو وضعیتی، احتمال انتقال و ماتریس پایا برای هر یک از مقادیر شاخص SPI در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی محاسبه شد. برای نمونه، ماتریس‌های احتمال حاصل از زنجیره مارکوف بر مقادیر SPI ایستگاه تبریز در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: ماتریس‌های احتمال حاصل از زنجیره مارکوف بر مقادیر SPI ایستگاه تبریز

ماتریس دو بعدی مقادیر مشاهده شده و مقادیر مورد انتظار ماتریس فراوانی دو حالت	ماتریس احتمال انتقال	ماتریس احتمال پایا	نوع ماتریس / نوع خشکی
$F = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 2 & 235 \end{bmatrix}$	-	-	ترسالی فرین
$F = \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 4 & 230 \end{bmatrix}$	-	-	ترسالی شدید
$F = \begin{bmatrix} 5 & 24 \\ 24 & 186 \end{bmatrix}$ (3.52) (25.48) (25.48) (184.52)	$P = \begin{bmatrix} 0.1724 & 0.8275 \\ 0.1142 & 0.8857 \end{bmatrix}$	$P^4 = \begin{bmatrix} 0.1221 & 0.8779 \\ 0.1221 & 0.8779 \end{bmatrix}$	ترسالی متوسط
$F = \begin{bmatrix} 54 & 51 \\ 51 & 83 \end{bmatrix}$ (46.13) (58.87) (58.87) (75.13)	$P = \begin{bmatrix} 0.5142 & 0.4857 \\ 0.3806 & 0.62 \end{bmatrix}$	$P^5 = \begin{bmatrix} 0.4388 & 0.5612 \\ 0.4388 & 0.5612 \end{bmatrix}$	ترسالی ضعیف
$F = \begin{bmatrix} 12 & 50 \\ 50 & 127 \end{bmatrix}$ (16.08) (45.92) (45.92) (131.08)	$P = \begin{bmatrix} 0.1935 & 0.8064 \\ 0.2825 & 0.7175 \end{bmatrix}$	$P^4 = \begin{bmatrix} 0.2592 & 0.7408 \\ 0.2592 & 0.7408 \end{bmatrix}$	خشکسالی ضعیف
$F = \begin{bmatrix} 0 & 6 \\ 6 & 227 \end{bmatrix}$	-	-	خشکسالی متوسط
$F = \begin{bmatrix} 0 & 3 \\ 3 & 233 \end{bmatrix}$	-	-	خشکسالی شدید
$F = \begin{bmatrix} 8 & 17 \\ 17 & 197 \end{bmatrix}$ (2.62) (22.38) (22.38) (191.62)	$P = \begin{bmatrix} 0.32 & 0.68 \\ 0.0794 & 0.920 \end{bmatrix}$	$P^8 = \begin{bmatrix} 0.1053 & 0.8947 \\ 0.1053 & 0.8947 \end{bmatrix}$	خشکسالی فرین

در ماتریس ذکر شده اعداد داخل پرانتز مقادیر مورد انتظار و مقادیر بالای آن مقادیر مشاهده شده است. مقادیر کای دو با در نظر گرفتن  $p\text{-value}=0$  نشان دهنده تبعیت فراوانی هر کدام از حالت‌های خشکسالی ضعیف، خشکسالی فرین، ترسالی ضعیف و



ترسالی متوسط از زنجیره مارکوف دو حالت می‌باشد. بقیه حالت‌ها شامل خشکسالی متوسط و شدید و ترسالی شدید و ترسالی فرین، با توجه به مقادیر بحرانی کای دو از زنجیره مارکوف تبعیت نمی‌کردند. لذا در جدول احتمال ارائه نشده‌اند.

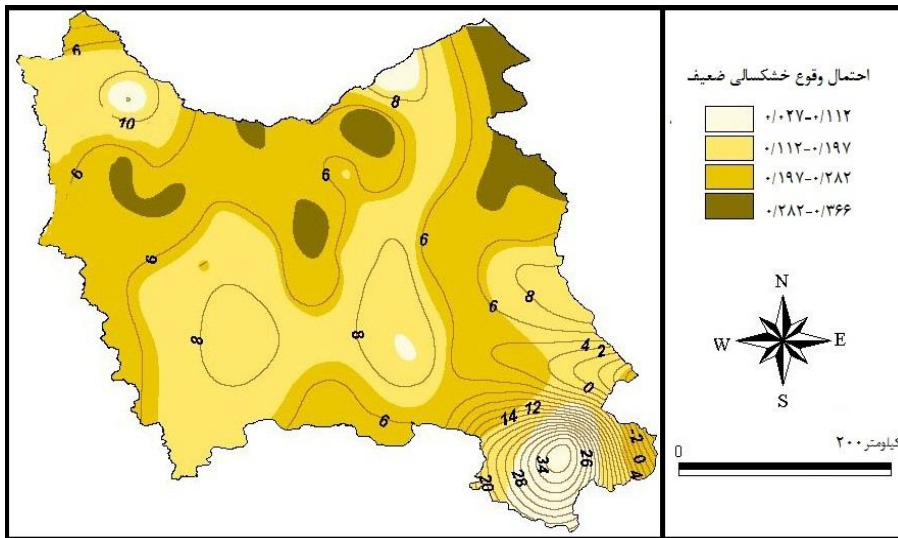
در توضیح جدول فوق باید گفت که بر اساس ماتریس‌های ارائه شده در آن، بیش‌ترین فراوانی تغییر وضعیت‌های خشکسالی در تغییر از خشکسالی ضعیف به ضعیف و سپس در تغییر از خشکسالی بسیار شدید به بسیار شدید دیده می‌شود. این تغییر وضعیت (خشکسالی ضعیف به ضعیف) با آغاز از خشکسالی ضعیف، ۱۲ بار تکرار شده است. اما باید در نظر داشت که احتمال انتقال خشکسالی‌های ضعیف ۰/۱۹۳ است. این در حالی است که احتمال انتقال از وضعیت خشکسالی ضعیف به حالات دیگر با فراوانی ۵۰ بار، ۰/۸۰۶ است. ماتریس پایا نیز نشان می‌دهد که تقریباً هر ۴ سال یکبار احتمال وقوع خشکسالی ضعیف با تداوم دو ماهه وجود دارد.

پس از بدست آوردن احتمال وقوع هر یک از حالات ترسالی شدید، ترسالی متوسط و ترسالی ضعیف و خشکسالی ضعیف که در اکثریت ایستگاه‌ها از احتمال وقوع بیشینه برخوردار بودند مقادیر احتمالات مزبور با استفاده از تکنیک میان‌یابی کریجینگ به پهنه تعمیم داده شده به صورت نقشه پهنه‌ای ارائه گردیدند. سایر حالات سه‌گانه شامل خشکسالی متوسط، فرین و ترسالی فرین چون از احتمال وقوع بسیار ضعیف و دوره بازگشت بسیار طولانی در منطقه برخوردار بودند و از طرف دیگر در اکثر ایستگاه‌ها از حالت زنجیره مارکوف مرتبه دوم تبعیت نداشتند لذا در این بخش از ارائه نقشه و تحلیل این بازه‌ها خودداری گردید. در ادامه به بحث و بررسی و تحلیل نقشه‌های حاصل از هر یک از حالات یاد شده پرداخته خواهد شد.

### احتمال وقوع خشکسالی ضعیف در پهنه شمال غرب ایران

نقشه مربوط به احتمال وقوع خشکسالی ضعیف و دوره بازگشت آن در شکل ۲ ارائه شده است. احتمال وقوع خشکسالی ضعیف با پس‌زمینه رنگی و دوره بازگشت آن، با

خطوط هم ارزش ارائه شده است. در این نقشه بیشترین احتمال وقوع پدیده مذکور در مناطق پست شمال شرقی و به صورت هسته‌های مجزا در نیمه شمالی پهنه دیده می‌شود که به سمت نیمه جنوبی از احتمال وقوع آن کاسته شده و در منطقه زنجان به حداقل ممکن می‌رسد. به طوری که دوره بازگشت این پدیده در بخش جنوبی منطقه بیش از ۳۴ ماه است. بدین معنی که تقریباً در هر ۳ سال یکبار امکان وقوع این پدیده در این بخش وجود دارد. اما کمینه احتمال وقوع دیگر در بخش شمال غربی منطقه با دوره بازگشت ۱۰ ماهه دیده می‌شود که نسبت به بخش جنوب شرقی از احتمال وقوع بالاتری برخوردار است. نکته قابل توجه این است که احتمال وقوع متوسطی با دوره بازگشت ۸ ماهه به شکل اریب از شمال شرق تا جنوب غرب منطقه کشیده شده است.

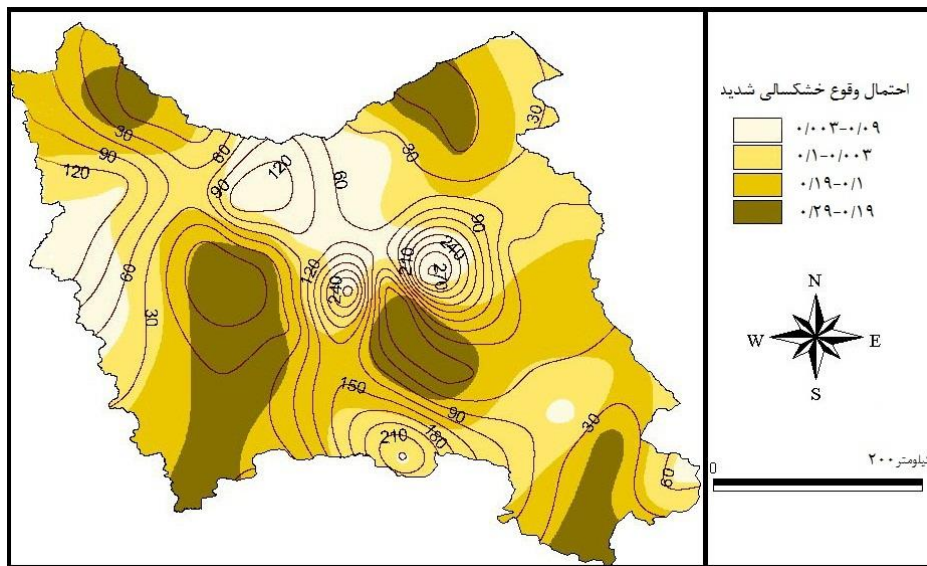


شکل ۲: احتمال و دوره بازگشت خشکسالی ضعیف در شمال غرب ایران

### احتمال وقوع خشکسالی شدید در پهنه شمال غرب ایران

شکل ۳ که مربوط به احتمال وقوع و دوره بازگشت خشکسالی‌های شدید در پهنه مورد مطالعه می‌باشد؛ نشان می‌دهد که بیشترین احتمال وقوع پدیده مورد نظر در نیمه جنوبی و به صورت بخش‌های منفرد مجزایی در بخش شمالی وجود دارد. در این بین

بیشترین احتمال وقوع به صورت زبانه ای در بخش جنوب غربی تا نیمه غربی کشیده شده است. همچنین در این منطقه دوره بازگشت خشکسالی شدید کوتاه تر می باشد و هر ۲/۵-۳ سال یکبار امکان وقوع آن وجود دارد. در کل منطقه وقوع این پدیده از دوره بازگشت متغیر و نسبتاً طولانی برخوردار است به طوری که از ۲ سال در بخش جنوب غربی تا ۳۰ سال در بخش مرکزی و مناطق منطبق بر ارتفاعات منفرد مرکزی را در بر می گیرد.

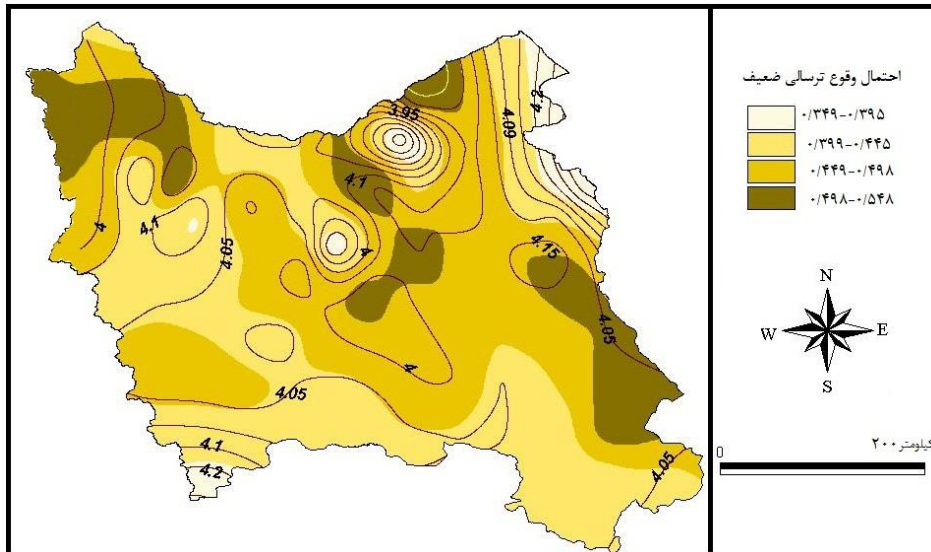


شکل ۳: احتمال وقوع و دوره بازگشت خشکسالی شدید

### احتمال وقوع ترسالی ضعیف در پهنه شمال غرب ایران

در شکل ۴ بیشترین احتمال وقوع ترسالی ضعیف با رنگ تیره تر نشان داده شده است. بر اساس این شکل، بیشترین احتمال وقوع ترسالی ضعیف، به صورت بخش هایی مجزا در مناطق شرقی و شمال غربی منطقه و بخش هایی واقع در مناطق مرکزی دیده می شود. این احتمالات بیش تر با خط سیر ناهمواریها مطابقت می کند به طوری که بیشترین میزان احتمال بر ارتفاعات منطبق شده است و به سمت بخش های پست تر از احتمال وقوع آن کاسته می شود.

کم ترین میزان احتمال وقوع ترسالی های ضعیف در بخش غربی، جنوبی و شمالی شرقی منطقه می باشد که در مقایسه با نقشه مربوط به خشکسالی ضعیف درست عکس هم عمل کرده اند. بدین معنی که مناطقی که از احتمال بالای وقوع خشکسالی ضعیف برخوردارند احتمال ترسالی ضعیف در آن بخش ها کم می باشد. دوره بازگشت وقوع ترسالی ها در کل گستره پهنه تقریباً یکسان بوده و ۴ ماهه است. به عبارتی هر ۴ ماه یکبار احتمال وقوع ترسالی ضعیف وجود دارد.

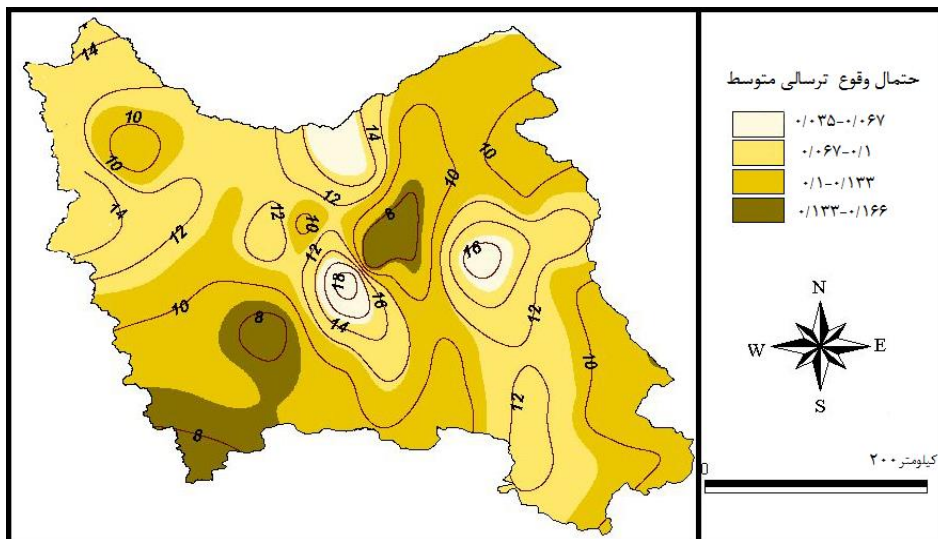


شکل ۴: احتمال وقوع و دوره بازگشت ترسالی ضعیف در پهنه شمال غرب ایران

#### احتمال وقوع ترسالی متوسط در پهنه شمال غرب ایران

بر اساس شکل ۵ که احتمال وقوع ترسالی متوسط را نشان می دهد، بیش ترین احتمال وقوع ترسالی متوسط در بخش هایی دیده می شود که از بارش بیش تری برخوردار می باشد. دومین منطقه بیشینه احتمال وقوع در بخش های مرکزی منطبق بر مناطق واقع در حد واسط ارتفاعات سهند و سبلان واقع شده است. جالب توجه اینکه کم ترین میزان احتمال وقوع این پدیده در ارتفاعات مذکور قابل مشاهده است. به سمت بخش های

شرقی و شمال غربی منطقه از احتمال وقوع کاسته می شود. با این وجود در بیش از ۷۰ درصد منطقه وقوع پدیده ترسالی متوسط از احتمال بالای برخورداری است. دقت در خطوط هم ارزش مربوط به دوره بازگشت ترسالی متوسط نیز این واقعیت را نشان می دهد که مناطقی که از احتمال وقوع بیشه برخوردارند، دوره بازگشت کوتاه تری را هم نمایان می سازند. به عنوان مثال، گستره واقع در بخش جنوب غربی منطقه که از بالاترین احتمال وقوع برخوردار می باشند انتظار می رود هر ۸ ماه یکبار امکان وقوع این پدیده را تجربه کنند و برعکس مناطق منطبق بر ارتفاعات سهند و سبلان با احتمال وقوع کمینه، هر ۱۶ ماه یکبار انتظار وقوع این پدیده را باید داشته باشند.

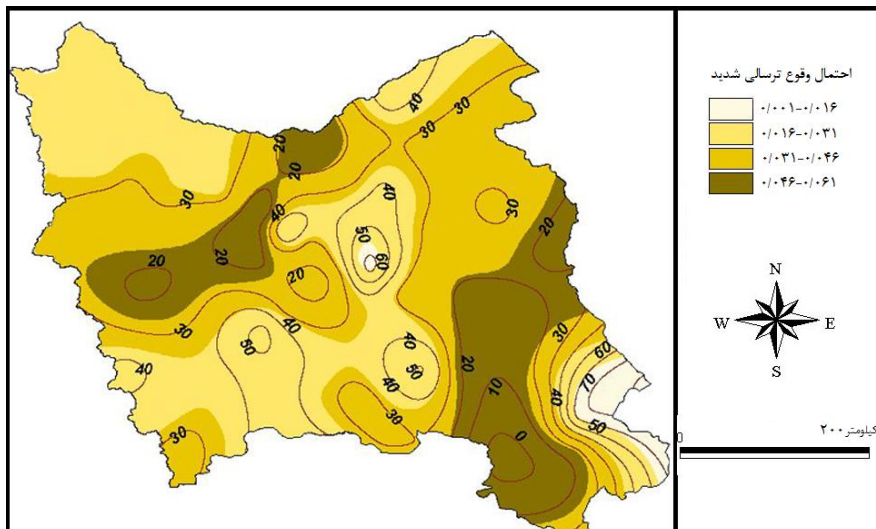


شکل ۵: احتمال وقوع و دوره بازگشت ترسالی متوسط در پهنه شمال غرب ایران

### احتمال وقوع ترسالی شدید در پهنه شمال غرب ایران

بررسی نقشه های ۵ و ۶ مربوط به ترسالی های متوسط و شدید نشان می دهد که احتمال وقوع دو پدیده مذکور رفتاری کاملاً متفاوت و عکس دارند. به عبارتی مناطقی که در شکل ۵ از احتمال بالای وقوع ترسالی متوسط برخوردارند، احتمال وقوع ترسالی شدید در آنها کم است و برعکس در مناطقی که شانس وقوع ترسالی شدید در آنها زیاد

است؛ وقوع ترسالی متوسط از احتمال کم تری برخوردار می باشد. این رفتار عکس به ویژه در بخش شرقی منطقه مشهودتر است. تنها بخشی که هر دو از احتمال وقوع تقریباً یکسانی برخوردارند منطقه شمالی - غربی است که در آن منطقه وقوع ترسالی‌های شدید و متوسط از شانس کم تری برخوردار می باشد. دوره بازگشت ترسالی‌های شدید از دوره بازگشت ترسالی‌های ضعیف، از دوره زمانی طولانی تری برخوردار است به گونه‌ای که در گستره وسیعی از پهنه دوره بازگشت این نوع ترسالی‌ها از ۱۰ تا بیش از ۸۰ ماه متفاوت است. بدین معنی که هر ۱/۵ تا ۶/۵ سال یکبار امکان وقوع ترسالی‌های شدید وجود دارد. شایان ذکر است که همچون دیگر نقشه‌های ارائه شده مناطقی که از احتمال وقوع بالای ترسالی شدید برخوردارند دوره بازگشت آنها نیز کم تر است. برای مثال در بخش شرقی که شانس وقوع بالاست دوره بازگشت ۲۰-۱۰ ماهه است و برعکس در مناطق جنوب غربی و تقریباً مرکزی که احتمال وقوع کمینه است دوره بازگشت ۷۰-۵۰ ماهه می باشد.



شکل ۶: احتمال وقوع و دوره بازگشت ترسالی شدید در پهنه شمال غرب ایران

از طرف دیگر نقشه نشان می دهد که کم ترین شانس وقوع ترسالی های شدید در بخش جنوب شرقی با بیش ترین زمان دوره بازگشت در حدود ۸۰ ماهه دیده می شود. منطقه زنجان از لحاظ وقوع ترسالی های شدید به دو نیمه کاملاً متفاوت با بیش ترین احتمال وقوع و کم ترین احتمال وقوع تقسیم شده است.

### نتیجه گیری

بررسی ماهانه خشکسالی ها و ترسالی ها با شدت های مختلف طی ۲۴۰ ماه در پهنه شمال غرب ایران نشان دهنده عدم همخوانی و پیروی درصد احتمال وقوع خشکسالی ها و ترسالی ها با توزیع احتمال نرمال بوده و درصد احتمال وقوع ترسالی های ضعیف و خشکسالی های شدید در تمامی ایستگاه ها از درصد احتمال وقوع سایر حالات بیشتر است..

برآورد احتمال وقوع حالات ۸ گانه SPI نشان داد که بعضی از بازه ها شامل خشکسالی ضعیف و شدید و ترسالی های ضعیف، متوسط و شدید از شانس وقوع بالاتری برخوردار هستند. بیشترین احتمال وقوع خشکسالی های شدید در نیمه جنوبی منطقه بوده، این در حالی است که بیشترین احتمال وقوع ترسالی های شدید و ضعیف در بخش شرقی و غربی - مرکزی به وقوع پیوسته است. به عبارتی این سه حالت رفتاری عکس هم دارند. در جاهایی که ترسالی شدید و ضعیف امکان وقوع دارد خشکسالی شدید از احتمال کمتری برخوردار است. اما با ترسالی متوسط رفتاری تقریباً یکسان دارد به گونه ای که مناطقی که احتمال وقوع ترسالی متوسط بالاست خشکسالی شدید هم از احتمال وقوع بالایی برخوردار می باشد که نشان دهنده نوسان زیاد بارش و گرایش به مقادیر حدی دارد.

در این بین هر چه شدت خشکسالی ها یا ترسالی ها بیشتر می شود دوره بازگشت آنها هم طولانی تر می شود اما در شدت های مختلف نیز مناطقی که از احتمال وقوع بالایی



برخوردارند دوره بازگشت آن نسبت به بخش‌های دیگر منطقه کوتاه‌تر است و برعکس.

با وجود اینکه بر اساس نتایج تحقیق ترسالی‌ها از احتمال وقوع بالاتری نسبت به خشکسالی‌ها برخوردارند اما باید در نظر داشت که خشکسالی‌های شدید نیز شانس وقوع بیشتری دارند. همچنین باید در نظر داشت که طبق پیش‌بینی‌های به عمل آمده توسط مدل‌های IPCC منابع آب خاورمیانه کم شده و در آینده در حدود ۱۲ درصد کاهش خواهد یافت. از طرف دیگر افزایش گرمایش جهانی بر پارامترهای مختلف هیدرولوژیکی، منابع آب نظیر بارندگی، تغییر رواناب و... اثر کرده و باعث به وجود آمدن خشکسالی‌ها و سیلاب‌های با شدت بیش‌تر و فرکانس کوتاه‌تر خواهد شد. لذا با توجه به بحران تغییر اقلیم و افزایش دمای جهانی و تشدید وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها و احتمال وقوع مخاطرات ناشی از آنها لزوم برنامه‌ریزی‌های کلان‌مقیاس و طولانی‌مدت جهت مقابله با این مخاطرات و حفظ محیط زیست بهتر انسانی و منابع طبیعی که لازمه بقای انسان و طبیعت است، از ضروریات جامعه امروزی می‌باشد.

### سپاسگزاری

مقاله حاضر تحت حمایت باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر و در قالب یک طرح پژوهشی تحت عنوان "پایش و پهنه بندی 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

- ۱- آشگر طوسی، شادی، عزیزاده، امین، سهیلا، جوانمرد (۱۳۸۲) "پیش بینی احتمال وقوع خشکسالی در استان خراسان" فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۰، اصفهان، صص ۱۲۸-۱۱۹.
- ۲- احمدی، محمود؛ کاظم، نصرتی؛ هیوا، سلکی (۱۳۹۲) "خشکسالی و ارتباط آن با رطوبت خاک (مطالعه موردی: کبوتر اباد اصفهان)" جغرافیا، سال ۱۱، شماره ۳۸، صص ۷۷-۹۱.
- ۳- خسروی، محمود؛ محمد، اکبری (۱۳۸۸) "بررسی ویژگی خشکسالی های استان خراسان جنوبی" جغرافیا و توسعه، شماره ۱۴، صص ۶۸-۵۱.
- ۴- خسروی، محمود؛ اکبر، زهرایی؛ حسین، حیدری؛ سارا، بنی نعیمه (۱۳۹۱) "تعیین مناطق هم خشکسالی استان گیلان با استفاده از شاخص ناهنجاری بارش و تحلیل خوشه ای - فاصله ای" جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۳، صص ۲۰-۱.
- ۵- دریاباری، سید جمال الدین (۱۳۸۵) "پیش بینی خشکسالی بر اساس مدل های ماتریس احتمال انتقال تجربی در مناطق مختلف ایران" علوم جغرافیایی، جلد ۵، شماره ۷۰۶، تهران، صص ۱۰۴-۸۷.
- ۶- رضیعی، طیب، شکوهی، علی رضا، ثقفیان، بهرام (۱۳۸۲) "پیش بینی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی با استفاده از روش های احتمالاتی و سری های زمانی (سیستان و بلوچستان)" بیابان، جلد ۸، شماره ۲، تهران، صص ۳۱۰-۲۹۲.
- ۷- روشنی، محمود؛ علیرضا، اسلامی (۱۳۸۸) "پایش منطقه ای خشکسالی (مطالعه موردی: سواحل جنوبی در یای خزر)"، همایش منطقه ای بحران آب و خشکسالی، ۳۰ و ۳۱ اردیبهشت ۱۳۸۸، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت.
- ۸- سرحدی، علی؛ سعید، سلطانی؛ رضا، مدرس (۱۳۸۷) "ارزیابی و تحلیل گستره خشکسالی در استان اصفهان بر پایه چهار شاخص مهم خشکسالی" نشریه دانشکده منابع طبیعی، دوره ۶۱، شماره ۳، صص ۵۷۰-۵۵۵.
- ۹- صداقت کردار، عبدالله؛ ابراهیم، فتاحی (۱۳۸۷) "شاخص های پیش آگاهی خشکسالی در ایران" جغرافیا و توسعه، شماره ۱۱، صص ۷۶-۵۹.
- ۱۰- عساکره، حسین، (۱۳۸۷) "بررسی احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی در شهر تبریز با استفاده از مدل زنجیره مارکف"، تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۲، تهران، صص ۵۶-۴۶.



- ۱۱- عساکره، حسین (۱۳۸۹) "احتمال تواتر و تداوم یخبندان‌های زودرس و دیر رس در شهر زنجان" جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، پایب ۳۷، شماره ۱، اصفهان، صص ۱۶-۱.
- ۱۲- عساکره، حسین، مازینی، فرشته (۱۳۸۹) "بررسی احتمال وقوع روزهای خشک در استان گلستان با استفاده از مدل زنجیره مارکوف" جغرافیا و توسعه، شماره ۱۷، صص ۲۹-۴۴.
- ۱۳- علیجانی، بهلول؛ ام السلمه، بابایی (۱۳۸۸) "تحلیل فضایی خشکسالی‌های کوتاه مدت ایران" جغرافیا و برنامه ریزی منطقه‌ای، پیش شماره پاییز و زمستان، صص ۱۲۱-۱۰۹.
- ۱۴- مرادی، حمید رضا؛ رجبی، منصور؛ فرج زاده، منوچهر (۱۳۸۶) "تحلیل روند و خصوصیات مکانی شدت خشکسالی‌های استان فارس" فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات مرتع بیابان در ایران، جلد ۱۴ شماره ۱، صص ۹۷ تا ۱۰۹.
- ۱۵- محمدی، کورش؛ داوطلب، رحمان؛ میثاقی، فرهاد (۱۳۸۲) "پهنه بندی خشکسالی‌های اقلیمی در حوضه مارون با استفاده از شاخص آماری SIAP" سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، ۲۹ مهر الی ۱ آبان ۱۳۸۲- دانشگاه اصفهان
- ۱۶- نگارش، حسین؛ محمود، خسروی (۱۳۸۹) "مطالعه خشکسالی‌های کوتاه مدت شهرستان زاهدان" جغرافیا و توسعه، شماره ۱۸، صص ۱۳۴-۱۰۹.
- ۱۷- ناصرزاده، محمد حسین؛ اسماعیل، احمدی (۱۳۹۱) "بررسی عملکرد شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ارزیابی خشکسالی و پهنه بندی آن در استان قزوین" تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۲، شماره ۲۷، صص ۱۶۲-۱۴۱.
- ۱۸- Edward. D.C., McKee T.B. (۱۹۹۷), "Characteristics of ۲۰th century drought in the United States at multiple timescales", Colorado State University: Fort Collins, Climatology Report No, ۹۷-۲.
- ۱۹- Hughes, B.L., and M. Saunders (۲۰۰۲), "A Drought Climatology for Europe", Int. J. Climatol. ۲۲: ۱۵۷۱-۱۵۹۲. ۴۶.
- ۲۰- Kim. D., Hi-Ryong B. (۲۰۰۹), "Future pattern of Asian drought under global warming scenario", Theor Appl Climatol ۹۸: ۱۳۷-۱۵۰.
- ۲۱- McKee T, B., Doesken, N.J. Kleist, J. (۱۹۹۳), "The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales", Applied Climatology, January ۱۷-۲۲, American Meteorological Society, Massachusetts, PP: ۱۷۹-۱۸۴.
- ۲۲- Ntale, H. K. and Thian Y. G. (۲۰۰۳), "Drought indices and their application to East Africa", Int. J. Climatol. ۲۳: ۱۳۳۵-۱۳۵۷.
- ۲۳- Fang.K, Nicole Davi • Xiaohua Gou . Fahu Chen • Edward Cook • Jinbao Li. Rosanne D'Arrigo (۲۰۱۰) "Spatial drought reconstructions for central High Asia based on tree rings" Clim Dyn, ۳۵: ۹۴۱-۹۵۱.

- ۲۴- Hughes, benjamin lloyd; mark a. Saunders (۲۰۰۲)" a drought climatology for europe" int. J. Climatol. ۲۲: ۱۵۷۱-۱۵۹۲.
- ۲۵- Loukas.A , L. Vasiliades, and J. Tzabiras(۲۰۰۸)" Climate change effects on drought severity" Adv. Geosci., ۱۷, ۲۳-۲۹.
- ۲۶- Ntale, henry k.; thian yew gan (۲۰۰۳)" drought indices and their application to east africa" Int. J. Climatol. ۲۳: ۱۳۳۵-۱۳۵۷.
- ۲۷- Serrano, sergio m. Vicente (۲۰۰۶)" differences in spatial patterns of drought on different time scales: an analysis of the iberian peninsula" water resources management, ۲۰: ۳۷-۶۰.
- ۲۸- Santos. João Filipe; Maria Manuela Portela ; Inmaculada Pulido-Calvo (۲۰۱۱)" Regional Frequency Analysis of Droughts in Portugal" Water Resour Manage, ۲۵: ۲۵۳۷-۳۵۵۸
- ۲۹- Bonaccorso, b ; i. Bordi, a. Cancelliere, g. Rossi and a. Sutera (۲۰۰۳)" spatial variability of drought: an analysis of the spi in sicily" water resources management ۱۷: ۲۷۳-۲۹۶.



## **Zoning Northwest of Iran based on probability of drought and wet occurrences**

### **Abstract:**

The current study has attempted to estimate and classify the probability occurrence and the return periods of dry and wet years of Northwestern Iran in ۵۵ stations containing ۲۰ years of monthly recorded data (۱۹۸۶-۲۰۰۵). In this regard, at first we evaluated droughts and wet periods of the area by applying SPI index in ۸ given ranges as thresholds inside the two-state Markov chain technique. Accordingly, the return periods of each state was calculated and the maps of them were created. The application of Markov chain model indicated that each of the states of intensive wet period, moderate wet period, weak wet period, and weak drought over the study area have followed the second order Markov chain and have maximum probability of occurrence. However, the moderate drought, extreme drought and wetness were not highly supported in Markov chain. The maximum probability of drought occurrence belonged to the southern parts, while the maximum possibility of intensive and weak wet periods have occurred in western and eastern parts. It can be concluded that there is an opposite behavior among these three conditions. In the areas where a possibility of weak and intensive wet periods has stronger probability occurrence, the possibility of intensive drought reduces. In regions where the probability of high moderate wet period occurrence, the intensive drought might mostly happen.

**Keywords:** Wet Periods, Markov Chain, North West of Iran, Drought, SPI.