

## بررسی فضایی خشک‌سالی اقلیمی بر اساس بارش استاندارد SPI. مطالعه موردی: استان مازندران

علی محمدپورزیدی<sup>۱\*</sup>، کیا بزرگمهر<sup>۲</sup>، سیدیاسر حکیم دوست<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد آب و هواشناسی در برنامه‌ریزی محیطی، مدرس دانشگاه پیام نور،  
<sup>۲</sup> استادیار و عضو هیأت‌علمی گروه جغرافیای، دانشگاه آزاد چالوس،  
<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی دانشگاه پیام نور، مدرس دانشگاه پیام نور  
تاریخ دریافت: ۹۳/۵/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۱۹

### چکیده

خشک‌سالی از نظر فراوانی وقوع، شدت، مدت، وسعت، تلفات‌جانی، خسارت‌های اقتصادی-اجتماعی و اثرات شدید بلندمدت نسبت به سایر بلایای طبیعی اولویت دارد و مخاطره‌آمیزتر است و نیازمند توجه بیش‌تری در تصمیم‌گیری‌هاست. روش تحقیق در این تحقیق از نوع کاربردی و رویکرد حاکم بر آن تحلیل و آماری است. با استفاده از داده‌های بارش سالانه ۲۲ ایستگاه سینوپتیک و باران‌سنجی اقدام به پهنه‌بندی خشک‌سالی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار گردید. همچنین برای تحلیل فضایی خشک‌سالی از شاخص‌های خودهمبستگی فضایی استفاده گردید. نتایج تحقیق بهترین مدل را اسپیلان کاملاً منظم معرفی می‌نماید. همچنین نتایج حاصل از کاربرد شاخص موران در مورد توزیع فضایی خشک‌سالی، این ضریب مثبت و برابر Moran's  $I=0.9943$  است که نشان‌دهنده‌ی خوشه‌ای بودن توزیع فضایی خشک‌سالی است. با توجه به این‌که شاخص موران نمی‌تواند به شناسایی انواع گوناگونی از طبقه‌بندی الگوهای فضایی بپردازد، با استفاده از تحلیل آماره عمومی  $G$  این نقیصه پوشش داده شد. نتایج تحلیل آماره‌ی عمومی  $G$  نشان می‌دهد مناطق با خشک‌سالی، بیش‌تر در کنار هم دیگر قرار گرفته و دارای روند خوشه‌ای با تمرکز بالای خشک‌سالی هستند.

**واژگان کلیدی:** تحلیل فضایی، خشک‌سالی، خودهمبستگی فضایی، زمین‌آمار، مازندران.

### مقدمه و طرح مساله

خشک‌سالی یکی از پیچیده‌ترین مشکلات را نه تنها در مدیریت منابع آب، بلکه در مسائل اقتصادی و اجتماعی ایجاد می‌کند. اما تاکنون مسئله‌ی تعریف، شناسایی و پیش‌بینی آن حل نشده است. (Machlica & Stojkova, 2008). خشک‌سالی دارای اثر ممتد و تدریجی بوده و در دوره‌ی زمانی تا حدودی طولانی رخ می‌دهد. بنابراین بایستی با ایجاد طرح‌های آمادگی برای مدیریت آن، تا حدی از مشکلات ناشی از این پدیده کاست. این پدیده در هر منطقه‌ای می‌تواند رخ دهد و انسان و محیط زیست را تحت تأثیر قرار دهد؛ هرچند که گسترش آن متفاوت است. برخلاف خشکی که یک پدیده‌ی دایمی اقلیمی است، خشک‌سالی در مناطق خشک و مرطوب نیز رخ می‌دهد و حالتی طبیعی و نرمال از اقلیم است (Bordi & Sutura, 2004). علل وقوع پدیده‌ی خشک‌سالی را می‌توان معلول عوامل فیزیکی و مکانی متعددی که عمدتاً ریشه در گردش عمومی جو و بیلان انرژی کره‌ی زمین دارد، جستجو کرد. خشک‌سالی به کمبود رطوبت و مستمر و غیرطبیعی گفته می‌شود (خسروی و اکبری، ۱۳۸۸: ۵۱). برای بررسی خشک‌سالی از ابعاد و دیدگاه‌های مختلف شاخص‌های متنوعی ابداع شده است که اساس این شاخص‌ها اغلب بر مبنای سنجش انحراف مقادیر بارندگی از میانگین درازمدت طی یک دوره زمانی معین استوار است. یکی از کاراترین نمایه‌ها، شاخص بارش استاندارد (SPI) است که اولین بار مک‌کی (۱۹۹۳) از آن استفاده کرد (بذرافشان و دیگران، ۱۳۹۰: ۳۹۶). برای اولین بار نمایه‌ی بارش استاندارد را در ایالت کلرادو آمریکا به کار بردند و دریافتند که برای پردازش داده‌های بارندگی، توزیع گاما مناسب‌ترین توزیع است (McKee et al., 1993). از ویژگی‌های این شاخص این است که به محقق امکان می‌دهد تا تعداد وقایع خشک‌سالی و ترسالی اتفاق افتاده را برای هرگام زمانی دل‌خواه تعریف و شناسایی نماید (هیسن و همکاران، ۲۰۰۰: ۱۳). هر خشک‌سالی پنج ویژگی عمده دارد که عبارتند از: آغاز و خاتمه، دوره‌ی تداوم، شدت، فراوانی و گستره. این ویژگی‌ها در هر مطالعه مربوط به خشک‌سالی بررسی می‌شود (غیور و مسعودیان، ۱۳۷۶: ۲۶). از اهداف اصلی این پژوهش بررسی وضعیت خشک‌سالی استان مازندران و همچنین تحلیل فضای برای شناسایی نواحی مستعد با ضریب بالای خشک‌سالی در استان و نهایت معرفی این مناطق و برنامه‌ریزی‌های مناسب برای مقابله با این پدیده است.

### پیشینه تحقیق

موریا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۶)، در پژوهشی با استفاده از یک مدل لگاریتمی خطی به پیش‌بینی مقدار و احتمال وقوع خشک‌سالی پرداختند. نتایج این تحقیق حاکی از دقت مناسب این روش بوده است.

1- Moreira et al

نکته‌ی قابل توجه، کنترل فرض استفاده از این روش در تخمین است. اطلاعات استفاده شده در این تحقیق مربوط به یک دوره‌ی ۲۳ ساله بوده است. مشرا<sup>۱</sup> و دسای<sup>۲</sup> (۲۰۰۶)، در پژوهشی به پیش‌بینی شاخص خشک‌سالی SPI با استفاده از یک شبکه‌ی عصبی برگشتی پرداختند. پائولو<sup>۳</sup> و پریرا<sup>۴</sup> (۲۰۰۷)، با استفاده از زنجیره‌ی مارکو و شاخص SPI به ایجاد یک مدل تصادفی هشدار خشک‌سالی پرداختند. ایشان با استفاده از اطلاعات ۶۷ ساله منطقه آجاتو در جنوب پرتغال به پیش‌بینی وقوع خشک‌سالی در سه ماه آتی پرداختند. بذرافشان و همکاران (۱۳۹۰)، در پژوهشی با استفاده از شاخص بارش استاندارد SPI به پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی استان گلستان پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که وسعت خشک‌سالی با افزایش مقیاس زمانی کاهش یافته و وضعیت خشک‌سالی‌ها در پهنه‌ی استان گلستان از سمت غرب به شرق کاهش یافته است. عساکره و همکاران (۱۳۹۱)، در پژوهشی به مدل‌سازی بارش مکانی سالانه ایران بر اساس دو مدل رگرسیون عمومی مدل رگرسیون موزون جغرافیایی پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که در بین دو مدل مذکور، برآورد حاصل از به کارگیری رگرسیون موزون جغرافیایی (GWR) به واقعیت نزدیک‌تر است. بر همین اساس معلوم شد که ارتفاعات در شمال غرب و نواحی داخلی، جهت دامنه‌ها در زاگرس و شیب در شمال شرق و نواحی خزری مهم‌ترین عامل مکانی مؤثر بر بارش به شمار می‌آیند.

محمد پورزیدی و همکاران (۱۳۹۳)، در پژوهشی به تحلیل خشک‌سالی اقلیمی و اثرات آن بر الگوی مکان‌گزینی سکونت‌گاه‌های روستای استان مازندران پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که تحلیل آماری عمومی G مناطق با خشک‌سالی بیش‌تر در کنار هم دیگر قرار گرفته و از روند خوشه‌ای با تمرکز بالای خشک‌سالی برخوردار می‌باشند. سپس مساحت هر خوشه و مکان‌گزینی روستاها را مورد واکاوی قرار دادند. محاسباتشان نشان می‌دهد که خوشه‌های خیلی گرم حدود ۳۵/۲۱ درصد از مساحت استان و ۷۵۳ روستا را در خود جای داده است. این در حالی است خوشه کمی سرد تا کمی گرم ۳۷/۱۷ درصد از مساحت استان و ۱۲۴۵ روستا را در بر می‌گیرد. نتایج همبستگی‌ها نشان می‌دهد که بین خوشه‌ها و تعداد روستاها در سطح اطمینان ۰/۹۹ درصد با سطح خطای ۰/۰۰۴ رابطه‌ای مستقیم وجود دارد.

---

1- Mishra

2- Desai

3- Paulo

4- Pereira

### روش تحقیق

روش تحقیق در این تحقیق از نوع کاربردی و رویکرد حاکم بر آن تحلیل و آماری است. در این پژوهش برای شناسایی خشک‌سالی استان مازندران بر اساس بارش سالانه ۲۲ ساله از سال ۱۹۸۸-۲۰۱۰ انجام گرفته شده است. برای این منظور با استفاده از داده‌های بارش ۲۲ ایستگاه سینوپتیک و باران‌سنجی استان استفاده شده است. به علت نقص داده‌های بعضی از ایستگاه‌های باران‌سنجی داده‌های با استفاده‌ی روش‌های نسبت‌ها آماری ناقصی‌ها برآورد گردید. در تحلیل‌های مکانی داده‌ها از نیم تغییر نگار مدل‌های مذکور استفاده شده است که با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS10 محاسبه گردید. روش‌های مورد استفاده در پهنه‌بندی از مدل‌های کریجینگ و IDW برای برازش شامل: IDW با سه توان ۱،۲،۳، و روش کریجینگ با مدل‌های کروی، دایره‌ای، نمایی، گوسین و... است که با دو فن کریجینگ ساده و معمولی و استفاده از تابع پایه شعاعی (RBF) شامل مدل اسپیلاین کاملاً منظم، مولتی کوادریک معکوس، مولتی کوادریک، اسپیلاین با کشش و اسپیلاین صفحه نازک انجام خواهد گرفت. برای ارزیابی و تعیین بهترین مدل، صحت و دقت هر یک از نقشه‌ها تولید شده محاسبه گردید که در این مورد مقادیر اولیه در ساخت نقشه‌ها، با مقادیر محاسبه و تخمین زده شده، روی نمودار برازش قرار گرفته و با استفاده از محاسبه ضریب تعیین و همبستگی پیرسون، میزان دقت هر کدام از نقشه‌ها تعیین گردید. همچنین با استفاده از توابع ریشه‌ی دوم میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین مطلق خطا (MAE)، نقشه‌ها با یکدیگر مقایسه گردید. همچنین برای تحلیل فضایی خشک‌سالی از شاخص‌های خودهمبستگی فضایی و مدل‌های موران و آماره‌ی عمومی G استفاده خواهد شد تا روند الگوی فضایی خشک‌سالی در استان مازندران مورد واکاوی فضایی قرار گیرد.

### شاخص استاندارد بارش (SPI)<sup>۱</sup>

شاخص بارش استاندارد یکی از شاخص‌های اساسی در مطالعه‌ی تغییرات و حول مرکز به شمار می‌آید که محاسبه آن نیازمند داشتن میانگین و انحراف معیار درازمدت مقادیر بارندگی برای دوره‌های مورد مطالعه است (Bonaccorso, 2003: 275). این شاخص برای تعریف و پایش خشک‌سالی و ترسالی ارائه شده است (Tsakiris, 2004: 2). از لحاظ ریاضی SPI بر اساس احتمال تجمعی بارندگی پایه‌ریزی شده است. بدین ترتیب که ابتدا داده‌ها با توزیع احتمال دوپارامتری گاما برازش داده، سپس به توزیع نرمال تبدیل می‌شود (Edwards & Makee, 1997). توزیع گاما بهترین توزیع برای برازش

1- Standardized Precipitation Index

داده‌ها در این روش است؛ زیرا از طریق این تابع حداکثر همجواری پارامتر توزیع گاما  $\alpha$  و  $\beta$  برآورده می‌گردد (Michael, 2003).

از جمله مزایای دیگر این شاخص آن است که می‌توان خشک‌سالی‌های شدید و ترسالی‌های شدید منطقه را شناسایی و با تابع برازش تابع چگالی احتمال، تحلیل فراوانی روی آن انجام داد (Livada & Assimakopoulos, 2007: 145). در انتخاب شاخص خشک‌سالی از شاخص بارش استاندارد (SPI) مربوط به روش‌های مطالعه پراکندگی میانگین بارش استفاده شده است. فرمول این شاخص به شرح ذیل است: (لشئی زند، ۱۳۸۳: ۸۷). (رابطه ۱):

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این معادله SPI، شاخص استاندارد بارش،  $P_i$  معادل بارش سال مفروض به میلی‌متر،  $\bar{P}$  میانگین بارش دراز مدت ایستگاه و  $SD$  انحراف معیار بارش است.

### تحلیل فضایی

#### روش‌های آماری گرافیک مبنا

**الف) خودهمبستگی فضایی:** در طبقه‌بندی الگوهای فضایی خواه خوشه‌ای، پراکنده و تصادفی، می‌توان بر چگونگی نظم و ترتیب قرارگیری واحدهای ناحیه‌ای متمرکز شد. می‌توان مشابهت و عدم مشابهت‌ها برای الگوهای فضایی خلاصه شوند. خودهمبستگی فضایی به مفهوم این است که ارزش صفت‌های مطالعه شده، خود همبسته هستند و همبستگی آن‌ها قابل اسناد به نظم جغرافیایی پدیده‌ها است. (Clark & Hosking, 1986:379). خودهمبستگی فضایی قوی به این مفهوم است که ارزش صفات پدیده‌های جغرافیایی به شکلی معنی‌دار با یکدیگر رابطه دارند (خواه قوی، یا ضعیف). اگر ضرایب ویژگی پدیده‌های جغرافیایی مجاور ارتباط و نظم ظاهری مشخصی نداشته باشند، گفته می‌شود دارای ارتباط فضایی ضعیف و یا دارای الگوی تصادفی می‌باشند. خودهمبستگی فضایی ابزار تحلیلی ارزشمندی است برای این‌که چگونه الگوهای فضایی در طول زمان تغییر می‌کنند. نتایج این نوع تحقیق به فهم بیش‌تری از چگونگی تغییر الگوهای فضایی از گذشته به حال کمک می‌کند. برای اندازه‌گیری همبستگی فضایی آماره‌هایی وجود دارد که به ما اجازه می‌دهند با نقاط یا پلی‌گون‌ها (سطوح ناحیه‌ای) کار کنیم.

**ب) انواع معیارهای خودهمبستگی فضایی:** مدل‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری آماره‌ای (خود همبستگی) فضایی وجود دارد، از جمله شاخص موران و ضریب گری می‌باشند و گزینش ممکن دیگر

آماره عمومی  $G^1$  می‌باشد (Lee et al., 2001:136). شاخص‌های موران و گری مشخصه‌های مشترکی دارند، اما مشخصات (خواص) آماری‌شان متفاوت است. اکثر تحلیل‌گران با شاخص موران موافق‌ترند، اساساً به خاطر این‌که توزیع مشخصاتش مطلوب‌تر است (Clark & Hosking, 1986: 379). هنوز هر دو روش بر مقایسه‌ی ارزش‌های واحدهای ناحیه‌ای همسایگی‌ها متکی هستند. اگر واحدهای ناحیه‌ای همسایگی و طول ناحیه ارزش‌های مشابهی داشته باشد، آن‌گاه آماره‌ها دلالت بر یک خودهمبستگی فضایی قوی دارند. اگر واحدهای ناحیه‌ای همسایگی ارزش‌های خیلی نامشابهی داشته باشند، آماره‌ها یک خودهمبستگی فضایی منفی خیلی قوی را نشان می‌دهند. دو مدل، به هر حال روش‌های متفاوتی را برای مقایسه‌ی ضرایب همسایگی‌ها به کار می‌گیرند.

### شاخص موران<sup>۲</sup>

شاخص موران به شرح زیر است. (رابطه ۲)

$$I = \frac{n \sum \sum w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{w \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$X_i$  ضریب متغیر فاصله‌ای یا نسبی در واحدهای ناحیه‌ای،  $i$  تعداد واحدهای ناحیه‌ای، وزن  $w_{ij}$  (شامل تسهیلات شهری است). ضریب موران بین -۱ تا ۱ متغیر است. ۱- برابر تعامل فضایی منفی و ۱ برابر تعامل فضایی مثبت است. اگر تعامل فضایی وجود نداشته باشد، ضرایب مورد انتظار موران برابر صفر است. ضرایب مورد انتظار موران برابر است. (رابطه ۳):

$$E_I = -\frac{l}{(n-l)} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$n$  تعداد واحدهای ناحیه‌ای،  $EI$  ضریب مورد انتظار. وقتی که شاخص موران مورد محاسبه‌ی بزرگ‌تر از مقدار ضریب مورد انتظار باشد، الگوی پراکنش فضایی تأیید می‌شود و بر عکس. (Lee et al., 2001:138).

**آماره عمومی G:** شاخص موران به خوبی برای خواص آماری و توصیف همبستگی فضایی جهانی ساخته شده است. به هر حال آن‌ها، در شناسایی انواع گوناگونی از طبقه‌بندی الگوهای فضایی کارآمد

1- General G-Statistic

2- Moran's I

نیستند. این الگوها بعضی مواقع به عنوان نقاط داغ<sup>۱</sup> و نقاط سرد<sup>۲</sup> تمرکز نامیده می‌شوند. برای مثال اگر ارزش‌های بالا، نزدیک یکدیگر باشند، شاخص موران و ضریب گری دلالت بر خودهمبستگی فضایی مثبت نسبتاً بالا دارند، این طبقه (خوشه) از ارزش‌های بالا ممکن است به عنوان نقطه‌ی تمرکز (داغ) نامیده شود. اما خودهمبستگی فضایی مثبت بالا نشان داده شده با شاخص موران و ضریب گری ممکن است به وسیله‌ی ارزش‌های پایین مجاور با یکدیگر به وجود آمده باشند. این نوع از خوشه می‌تواند به عنوان نقطه‌ی سرد نامیده شود. در شاخص موران نمی‌توان این دو نوع از خودهمبستگی فضایی را متمایز کنند. آماره‌ی عمومی  $G$  بر شاخص موران در تعیین نقاط مثبت (داغ) و منفی (سرد) در سطح ناحیه مورد مطالعه ترجیح دارد. این نقاط داغ و سرد می‌تواند به عنوان تمرکزهای فضایی در نظر گرفته شوند (Thomas et al., 1980: 283).

آماره‌ی عمومی  $G$  به شکل فرمول نیز تعریف شده است (رابطه ۴):

$$G(d) = \frac{\sum \sum w_{ij}(d) x_i x_j}{\sum \sum x_i x_j} \quad \text{رابطه (۴)}$$

به خاطر این که  $i \neq j$ ، آماره‌ی عمومی  $G$  به وسیله معیار فاصله ( $D$ ) تعریف شده است، درون آن فاصله‌ی واحدهای ناحیه‌ای می‌توانند به عنوان همسایه‌ای  $I$  مد نظر قرار گیرند. وزن  $w_{ij}(d)$  برابر ۱ است، اگر در داخل فاصله  $d$  باشد و در صورت عکس برابر صفر (۰) است. بنابراین، وزن‌های ماتریس اساساً یک ماتریس متقارن دوتایی است، اما ارتباطات همسایگی به وسیله‌ی فاصله‌ی  $d$  تعریف شده است. مجموع وزن‌های ماتریس  $W$  برابر است با (رابطه ۵):

$$w = \sum_i \sum_j w_{ij}(d) \quad \text{رابطه (۵)}$$

**روش IDW<sup>۳</sup>:** یک روش کاملاً ریاضی است و بر فاصله بین نقاط مشاهده شده و نقطه‌ای که باید درون‌یابی شود، پایه‌گذاری شده است. این روش یک روش پیشرفته‌ی نزدیک‌ترین همسایه است که اجازه می‌دهد تعداد یاز نقاط همجوار در برآورد وزن‌های درون‌یابی سایر نقاط شرکت کنند و بدین ترتیب نزدیک‌ترین نقطه، بیش‌ترین وزن را به دست می‌آورد و ایستگاه‌های دورتر بالعکس که از نظر ریاضی IDW به صورت زیر بیان می‌شود (Ole & Wolfgang, 2002: 1-45).

---

1- Hot Spots

2- Cold Spots

3- Inverse Distance Square Weighted

(رابطه ۶):

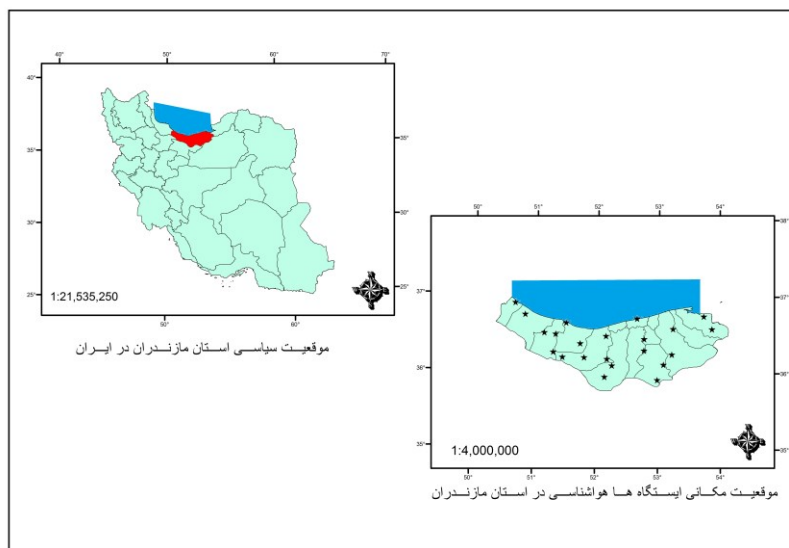
$$Z_j^* = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$Z_j^*$  = ارزش ارزیابی شده در نقطه  $j$ ،  $ZI$  = ارزش در نقطه  $i$ ،  $A_i$  = مختصات برای نقطه‌ی همسایه،  $j$  = مختصات برای نقاط برآورد شده،  $h_{ij}$  = مسافت بین نقطه‌ی برآورد شده و نقاط همسایه،  $\beta$  = توازن وزنی. این روش برخلاف روش کریجینگ از فرضیات مربوط به ارتباط مکانی بین داده‌ها پیروی نمی‌کند (واریوگرام ندارد) و تنها به این فرض متکی است که نقاط نزدیک‌ترین به نقطه‌ی برآورد، شباهت بیش‌تر به آن دارند تا نقاط دورتر. در این روش اغلب توانی بر عکس فاصله در نظر گرفته می‌شود که به طور معمول بین ۱ تا ۵ است، ولی اغلب از توان ۲ استفاده می‌شود، یعنی عکس مجذور فاصله. مشخصه‌ی جالب این روش این است که وزن به کار رفته با افزایش فاصله به سرعت کاهش می‌یابد، در نتیجه درون‌یابی در این روش کاملاً محلی است و چون وزن‌های به کار رفته هیچ‌گاه صفر نمی‌شوند، بنابراین هیچ‌گونه انقطاع و عدم پیوستگی در برآوردها رخ نمی‌دهد (Webster & Oliver, 2000: 271).

### محدوده و قلمرو پژوهش

ضاستان مازندران در قسمت شمال مرکزی ایران واقع شده است. موقعیت نسبی آن برابر با بین ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. استان مازندران با مساحت ۲۳۷۵۶ کیلومتر مربع وسعت، ۱/۴۶ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است. دریای مازندران در شمال، استان تهران و سمنان در جنوب و استان‌های گیلان و گلستان به‌ترتیب در غرب و شرق آن قرار گرفته است. شهرستان‌های این استان عبارتند از: آمل، بابل، بابلسر، بهشهر، تنکابن، ساری، سوادکوه، قائم‌شهر، رامسر، محمودآباد، نکا، نور، نوشهر و چالوس و عباس‌آباد. (نقشه ۱:۲۵۰۰۰، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح). شکل (۱) موقعیت سیاسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.





شکل ۱- موقعیت سیاسی و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه

### بحث اصلی

#### یافته‌های تحقیق

در این قسمت برای پهنه‌بندی خشک‌سالی در استان مازندران، داده‌های شاخص استاندارد بارش (SPI)<sup>۱</sup> ایستگاه‌های مورد مطالعه وارد پایگاه داده اطلاعات GIS گردید و با استفاده از فنون زمین آمار پهنه‌بندی گردید. همچنین برای تعیین مدل بهینه، شانزده نقشه به دست آمد که در جداول (۱) و (۲) قابل مشاهده است.

جدول ۱- نتایج ارزیابی متقابل نقشه‌های تولید شده

خطای روش ارزیابی متقابل			مدل	روش
R2	RMSE	MAE		
۰,۴۵	۰,۷۴	۰,۰۸	اسپیلان کاملاً منظم	RBF
۰,۳۸	۰,۹۳	-۰,۰۲	اسپیلان صفحه نازک	
۰,۴۴	۰,۷۶	۰,۱۰	مولتی کوادریک معکوس	
۰,۴۴	۰,۷۵	۰,۰۴	مولتی کوادریک	
۰,۴۳	۰,۷۵	۰,۰۶	اسپیلان با کشش	

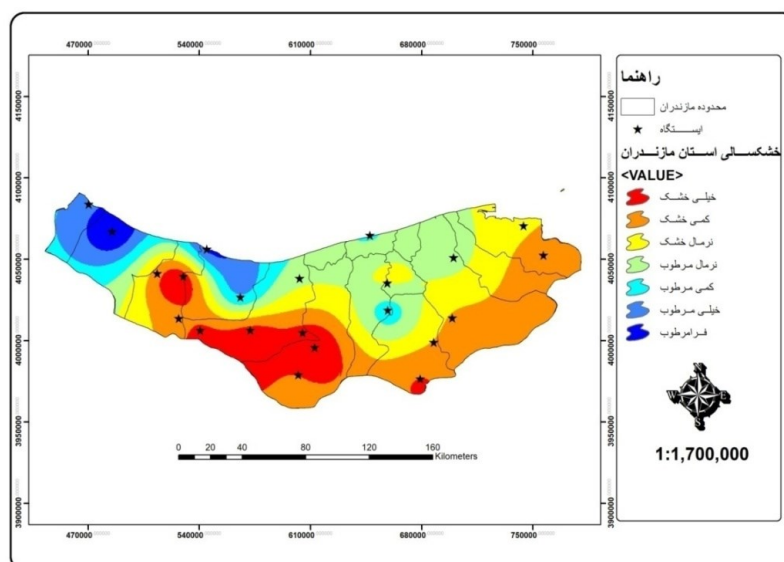
1- Standardized Precipitation Index

جدول ۲- نتایج ارزیابی متقابل نقشه‌های تولید شده

خطای روش ارزیابی متقابل			مدل	روش
R2	RMSE	MAE		
۰,۲۲	۰,۸۷	۰,۰۵	۱	IDW
۰,۳۱	۰,۸۲	۰,۱۰	۲	
۰,۳۲	۰,۸۳	۰,۱۴	۳	
۰,۳۵	۰,۷۹	۰,۰۵	کروی	ok
۰,۳۶	۰,۸۰	۰,۰۴	دایره‌ای	
۰,۲۶	۰,۸۲	۰,۰۵	نمایی	
۰,۳۵	۰,۸۰	۰,۰۸	گوسین	sk
۰,۲۸	۰,۸۵	۰,۱۲	کروی	
۰,۲۷	۰,۸۶	۰,۰۹	دایره‌ای	
۰,۲۲	۰,۸۷	۰,۱۱	نمایی	
۰,۲۵	۰,۸۷	۰,۰۹	گوسین	

(مأخذ: محاسبات نگارندگان)

با توجه به جدول بالا شماره‌های (۱) و (۲) که بر اساس مدل‌های درونیابی استخراج گردیده، بهترین مدل بهینه و مناسب برای پهنه‌بندی خشک‌سالی استان مازندران مدل اسپیلان کاملاً منظم است که در شکل (۲) مدل بهینه آورده شده است.



شکل ۲- پهنه‌بندی خشک‌سالی استان مازندران با مدل اسپیلان کاملاً منظم

با توجه به نقشه پهنه‌بندی خشک‌سالی استان، مشاهده می‌شود بعضی از مناطق مرتفع استان و حتی قسمتی از مناطق میانه در غرب استان در پهنه‌ی خیلی خشک قرار دارند و پهنه‌ی وسیعی از استان در ارتفاعات میانه از غرب، مرکز و شرق استان شرایط کمی خشک را شامل می‌شود. با توجه به نقشه‌ی مذکور، مساحت پهنه‌های مربوطه استخراج گردید. مطالعات نشان می‌دهد مناطق خیلی خشک ۱۲/۰۲ درصد، کمی خشک ۲۹/۸۳ درصد، نرمال خشک ۲۰/۴۵ درصد، محدوده نرمال مرطوب ۲۲/۶۶ درصد و پهنه خیلی مرطوب و فرا مرطوب در مجموع ۸/۹۱ درصد مساحت استان را به خود اختصاص داده‌اند. جدول (۳) مساحت و درصد پهنه‌های مورد نظر را در سطح استان نشان می‌دهد.

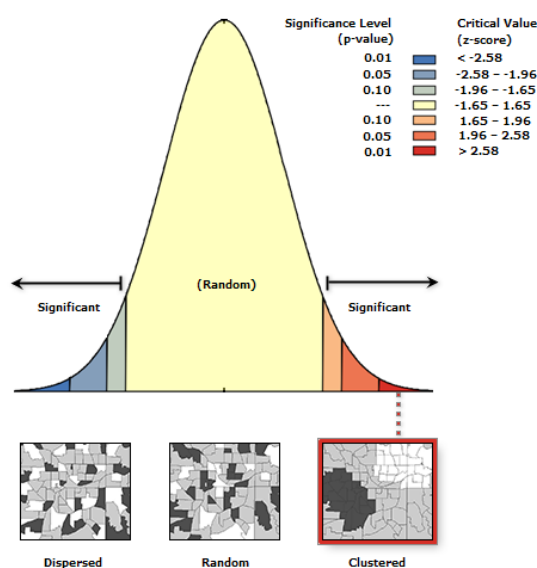
جدول ۳- مساحت و درصد پهنه‌های خشک‌سالی

ردیف	SPI طبقه‌بندی	مساحت پهنه به کیلومتر مربع	درصد
۱	خیلی خشک	۲۸۴۲۰۸,۵	۱۲,۰۲٪
۲	کمی خشک	۷۰۴۸۵۴	۲۹,۸۳٪
۳	نرمال خشک	۴۸۳۲۸۰,۵	۲۰,۴۵٪
۴	نرمال مرطوب	۵۳۵۴۹۲,۱	۲۲,۶۶٪
۵	کمی مرطوب	۱۴۴۰۴۲,۹	۶,۰۹٪
۶	خیلی مرطوب	۱۵۵۴۶۶,۴	۶,۵۷٪
۷	فرا مرطوب	۵۵۳۷۰,۶۱	۲,۳۴٪

(مأخذ: محاسبه نگارندگان)

**تحلیل فضایی خشک‌سالی استان مازندران:** در این مرحله بعد از استخراج بهترین مدل پهنه‌بندی خشک‌سالی استان مازندران که مدل اسپیلان کاملاً منظم است به تحلیل فضایی خشک‌سالی می‌پردازیم. در این مرحله نقشه بهینه که حالت رستری دارد به صورت نقطه‌ای تبدیل می‌شود که هر پهنه هم‌ارزش به نقاط هم‌ارزش کنار هم درمی‌آیند که گروه‌های هم‌ارزش شناخته می‌شوند. یکی از شاخص‌های تحلیل‌های فضایی شاخص موران است؛ این شاخص بر دو اصول مهم متکی است: توزیع مشخصی از شاخص‌ها را داراست و دیگر این که بر ارزش‌های همسایگی متکی است. یکی از نقاط ضعف این تحلیل این است که نمی‌تواند به شناسایی انواع گوناگونی از طبقه‌بندی الگوهای فضایی بپردازد. نتایج هر دو روش در ذیل آمده است. برای تحلیل‌های فضایی خشک‌سالی استان مازندران با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS10 و با ابزار موجود Spatial Statistics Tools که بسیار منعطف است، استفاده شد. نتایج حاصل از کاربرد شاخص موران در مورد توزیع فضایی خشک‌سالی، این ضریب مثبت و برابر Moran's I=0.994307 می‌باشد که نشان دهنده‌ی خوشه‌ای بودن توزیع فضایی خشک‌سالی است. زیرا هر چه ضریب به سمت عدد ۱ تمایل داشته باشد نشان از تمرکز بالاتر دارد. با توجه به این که

مقدار  $ZScore=641.9462$  محاسبه شده در سطح اطمینان  $sig.L=0.01$  بزرگتر از مقدار مورد انتظار ( $EI=2.58$ ) است، در نتیجه خوشه ای بودن توزیع فضایی بارش و ضریب موران مورد تأیید واقع می‌گردد. نتایج به دست آمده در شکل (۳) و جدول (۴) نشان داده شده است.



شکل ۳- گزارش خودهمبستگی فضایی با مدل موران

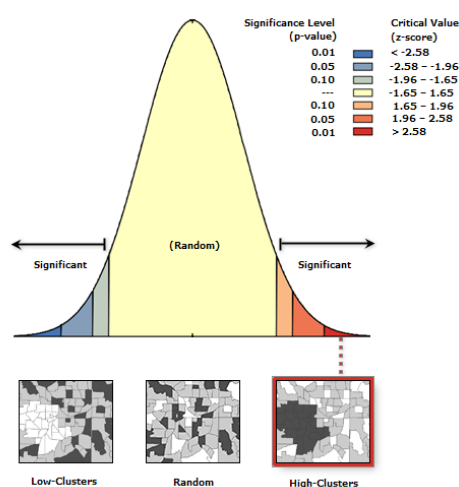
جدول ۴- نتایج خلاصه تحلیل موران خشک‌سالی استان مازندران

Moran's Index	۰.۹۹۴۳۰
Variance	۰,۰۰۰۰۰۲
z-score	۶۴۱.۹۴۶۲۱۶
p-value	۰,۰۰۰۰۰

(مأخذ: محاسبات نگارندگان)

نتایج موران نشان می‌دهد که خشک‌سالی مکانی استان مازندران حالتی خوشه‌ای را دارد. البته این تحلیل نمی‌تواند به شناسایی انواع گوناگونی از طبقه‌بندی الگوهای فضایی بپردازد که با استفاده از تحلیل آماره‌ی عمومی G این نقیصه را روپوش دادیم. نتایج نشان می‌دهد که غرب استان و قسمت‌های

از سواحل غربی تا شهرستان نور، بابلسر، آمل و مناطقی در اطراف ساری (قراخیل) دارای مناطق فرا مرطوب تا خیلی مرطوب، دارای ضریب خوشه‌ای بالا (مناطق داغ) است که انحراف معیار بالایی دارد. نتایج تحلیل آماری عمومی G نشان می‌دهد که قسمت‌هایی از غرب و سواحل غربی و قسمت‌های از مرکز استان مناطقی گرم دارد که نمره Z آن ۶۱۲.۵۱۸۰۸۳ است که در سطح اطمینان ۰/۰۱ معنادار است. نتایج به دست آمده در شکل‌های (۴) و (۵) و در جدول (۵) نشان داده شده است.

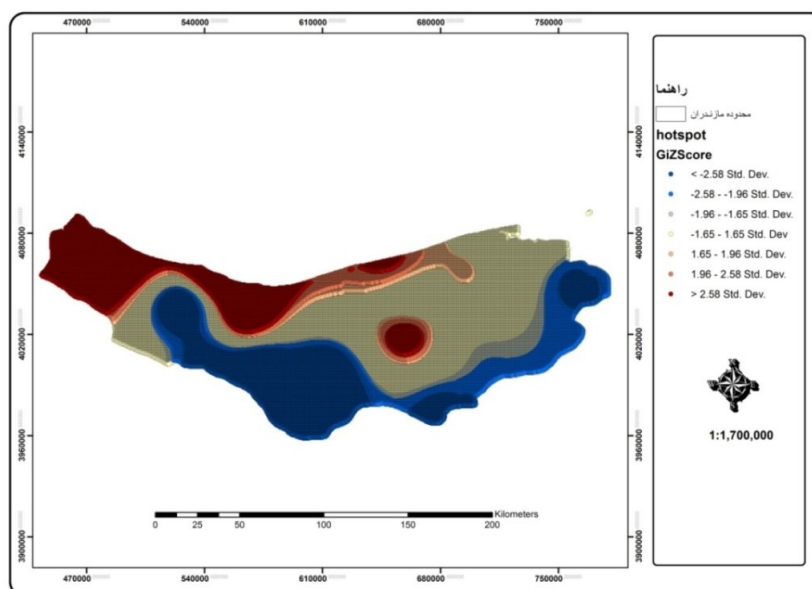


شکل ۴- گزارش همبستگی آماری عمومی G خشک‌سالی استان مازندران

جدول ۵ - نتایج خلاصه تحلیل آماری عمومی G خشک‌سالی استان مازندران

Observed General G	۰/۰۰۰۰
z-score	۶۱۲/۵۱۸۰
Variance:	۰,۰۰۰۰
p-value	۰/۰۰۰۰

مأخذ: محاسبات نگارندگان



شکل ۵- نقشه فضایی نقاط داغ و سرد خشک‌سالی استان مازندران

### جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از داده‌های بارش ۲۲ ایستگاه سینوپتیک و باران‌سنجی در دوره‌ی ۲۲ ساله سالانه استفاده شد. ابتدا بهترین پهنه‌بندی خشک‌سالی تهیه شد که بهترین مدل اسپیلان کاملاً منظم شناخته شد. بعد از آن بهترین مدل از حالت رستری به صورت نقطه‌ی هم ارزش تبدیل شد تا تحلیل‌های فضایی موران و آماره‌ی عمومی  $G$  روی آن انجام پذیرد. نتایج حاصل از کاربرد شاخص موران در مورد شناسایی الگوی توزیع فضایی خشک‌سالی، این ضریب مثبت و برابر  $Moran's I = 0.994307$  است که نشان‌دهنده‌ی خوشه‌ای بودن توزیع فضایی خشک‌سالی است زیرا هرچه ضریب به سمت عدد ۱ تمایل داشته باشد نشان از تمرکز بالاتر دارد. با توجه به این که مقدار  $ZScore = 641.9462$  محاسبه شده در سطح اطمینان  $sig.L = 0.01$  بزرگ‌تر از مقدار مورد انتظار ( $EI = 2.58$ ) است در نتیجه خوشه‌ای بودن توزیع فضایی خشک‌سالی و ضریب موران مورد تأیید واقع می‌گردد. همچنین نتایج تحلیل آماره‌ی عمومی  $G$  نشان می‌دهد مناطق با خشک‌سالی بیش‌تر در کنار هم‌دیگر قرار گرفته و دارای روند خوشه‌ای با تمرکز بالای خشک‌سالی است و قسمت‌های از غرب و سواحل غربی و قسمت‌های از مرکز استان دارای مناطقی با الگوی توزیع فضایی خشک‌سالی با روند خوشه‌ای با تمرکز نقاط بارشی بالا (داغ) است که نمره  $Z$  آن  $612.518083$  است که در سطح اطمینان  $0.01$  معنادار است. در نهایت تحلیل حاصل نشان‌دهنده این مطلب است که این پدیده در استان مازندران به صورت

مکرر اتفاق می‌افتد و حاکمیت این حالت شرایط دشواری را بر اکوسیستم و منابع طبیعی آن وارد می‌کند. البته باید گفت در بعضی دوره‌ها تغییرات تناوبی دوره خشک و تر از شدت شرایط خشک‌سالی می‌کاهد. مهم‌ترین مسئله در بررسی خشک‌سالی به روش SPI عدم در نظر گرفتن مقیاس زمانی روزانه جهت کاهش تغییرات زمانی بارش در ماه مورد نظر و شدت آن است.

خشک‌سالی‌های استان را از لحاظ زمانی می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. فصول سرد سال، روند خشک‌سالی از خشک‌سالی خیلی کم به طرف خشک‌سالی شدید سوق پیدا کرده است که این روند در غرب مازندران نسبت به شرق محسوس‌تر است. در فصول اکتبر و نوامبر این روند به بالای ۴۰ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه رسیده است. در فصول گرم سال روند خشک‌سالی مانند دوره سرد سال است. در چند سال اخیر این روند به طور بی‌سابقه‌ای در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه در سراسر استان گسترش پیدا کرده است و در فصول ژوئن، جولای و اگوست به اوج خود رسیده است. این روند به طور اضطراری به بالای ۶۰ درصد برای تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه رسیده است که نشان از روند فوق خشک در سراسر استان مازندران است.

### منابع

- ۱- بذرافشان، ام‌البین، محسن محسنی‌ساروی، آرش ملکیان و ابوالفضل معینی. ۱۳۹۰. بررسی وضعیت خشک‌سالی استان گلستان با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI)، فصل‌نامه علمی- پژوهشی مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۸، شماره ۳، صص ۴۰۷-۴۹۵.
- ۲- خسروی، محمود و محمد اکبری. ۱۳۸۸. بررسی ویژگی خشک‌سالی‌های استان خراسان جنوبی، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۴، تابستان، صص ۵۱-۵۲.
- ۳- غیور، حسنعلی و ابوالفضل مسعودیان. ۱۳۷۶. بزرگی گستره و فراوانی خشک‌سالی در ایران، فصل‌نامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره پیاپی ۴۵.
- ۴- لثقی زنده، مهران. ۱۳۸۳. بررسی اقلیمی خشک‌سالی‌های ایران و راه‌کارهای مقابله با آن، رساله‌ی دکتری، اساتید راهنما: محمدرضا کاویانی، حسنعلی غیور، عبدالرسول تلوری، جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم انسانی.
- ۵- حکیم‌دوست، سیدیا سر، رستگار، محسن، محمدپورزیدی، علی، حاتمی، حسین. ۱۳۹۳. تحلیل فضایی خشک‌سالی اقلیمی و اثرات آن بر الگوی فضایی مکان‌گزینی سکونت‌های روستایی مطالعه موردی روستاهای استان مازندران، جغرافیا مخاطرات محیطی، شماره یازدهم، پاییز، صص ۷۵-۶۱.
- 6- Bonaccorso, B., Cancelliere, A., and Rossi, G. 2003. Network design for drought monitoring by geostatistical techniques. *J. European Water*, 3: 9-15.
- 7- Bordi, I., and Sutera, A. 2004. Drought variability and its climatic implications, *Global and Planetary Change*, 40(1, 2): 115-127.

- 8- Clark, W.A.V., and Hosking, P.L. 1986. Statistical Methods for geographers, John Wiley and sons, New York, p379.
- 9- Edwards D.C. and McKee, TB. 1997. "Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple timescales", Colorado State University: Fort Collins. Climatology Report No. pp. 97-2.
- 10-Hayes, M. 2000. Revisiting the SPI: Clarifying the Process, Drought Network News, 12(1).
- 11-Lee, Jay, Wong, David, W.S. 2001. Statistical analysis with arc view GIS, John Wiley and sons, New York, 135-137.
- 12-Livada, I., and Assimakopoulos, V.D. 2007. Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI), Theoretical and Applied Climatology, 89.
- 13-Machlica, A., and Stojkovova, M. 2008. Groundwater drought in different geological conditions. XXIVth Conference of the Danubian Countries, 1-9.
- 14-McKee, T. B., Does ken N. J. and Kleist, J. 1993, the relationship of drought Frequency and duration to time scales, 8th conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, pp. 176-184.
- 15-Michael McKernan, 2003. Drought conference paper, New South Wales. Sydney, pp. 292.
- 16-Ole, E.T., and Wolfgang, S., (ZAMG). 2002. Applications of spatial interpolation of climatological and Meteorological elements by the use of geographical information, COST, 719: 1-45.
- 17-Ronald, P.B., and Jay, M.V.H 2009. Blackbox Kriging: Spatial Prediction without Specifying Variogram Models, Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics, 1(2).
- 18-Thomas, R.W, Hug get, R.J. 1980. Modeling in Geography, a mathematical approach, Harper and Row, Publisher, London.
- 19-Tsakiris, G., and Vangelis, H. 2004. Toward a drought watch system based on spatial SPI. Journal of Water Resources Management 18: 1-12.
- 20-Webster, R., and Oliver, M.A. 2000. Geostatistics for environmental scientists, Wiley press, 271p.