

## ارزیابی شاخص‌های درون‌یابی در پهنه‌بندی خشکسالی‌ها با استفاده از GIS (مطالعه موردی: لارستان)

مرضیه موغلی\*

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی لارستان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۲۷

### چکیده

خشکسالی یکی از وقایع محیطی و بخش جدایی ناپذیر نوسانات اقلیمی است. این پدیده شرایطی از کمبود بارندگی و افزایش دما است که در هر وضعیت اقلیمی ممکن است رخ دهد. آگاهی از وضعیت خشکسالی با پیش‌بینی و پهنه‌بندی شدت‌های خشکسالی می‌تواند خطر زیان‌های ناشی از این پدیده را تا حد قابل توجهی کاهش دهد. پژوهش حاضر، تلاشی برای ارزیابی دقت روش‌های درون‌یابی مکانی به منظور پهنه‌بندی شدت‌های خشکسالی‌های رخ داده در لارستان در سال ۱۳۹۰ با استفاده از شاخص‌های درصد نرمال بارندگی (PNPI)، بارش استاندارد (SPI)، دهک‌های بارش (DPI) و ناهنجاری‌های بارش (RAI) می‌باشد. بدین منظور از داده‌های مربوط به ۲۰ ایستگاه باران‌سنجی‌های لارستان که از پراکنش مناسبی برخوردار بودند استفاده شد و روش‌های معکوس فاصله (IDW) با توان‌های یک تا ۳، کریجینگ معمولی (OK) و کریجینگ عام (UK) مورد بررسی قرار گرفت.

واژگان کلیدی: خشکسالی، ناهنجاری، پهنه‌بندی، نرمال بارندگی، GIS.

### مقدمه

خشکسالی یک بلای طبیعی است که بصورت مکرر یا متناوب اتفاق می‌افتد و تقریباً در هر نوع آب و هوایی وقوع آن محتمل است (بداق جمالی و همکاران، ۱۳۸۵). خشکسالی را می‌توان عبارت از کمبود مستمر و غیر طبیعی رطوبت در یک دوره زمانی خاص دانست. دانشمندان علم آب و هواشناسی برای ارزیابی و پایش خشکسالی، شاخص‌های متعددی ارائه داده‌اند، که هر یک از این شاخص‌ها بر اساس بکارگیری متغیرهای هواشناسی و روش‌های محاسباتی متفاوتی طراحی شده‌اند (Richard, 2002, 1150)، بارش عمده‌ترین پارامتری است که در تعریف شاخص‌های بکار رفته است،

یعنی خشکسالی و ترسالی در مقایسه با کمتر یا بیشتر بودن ریزش‌های جوی از میانگین بارندگی یک منطقه سنجیده می‌شود (ایبانه، ۱۳۸۳، ۵). یکی از روش‌های مطالعات خشکسالی تحلیل داده‌های بارندگی است که از عمومی‌ترین روش‌ها به شمار می‌رود. علت این امر دسترسی راحت‌تر و آسان‌تر به انواع داده‌های بارندگی در بخش‌های گوناگون یک منطقه است. از این دیدگاه، شاخص‌های گوناگونی برای مطالعه خشکسالی ابداع و ارایه شده‌اند که می‌توان به برخی مانند شاخص بارش معیار (SPI)، شاخص معیار بارندگی سالانه (SIAP)، شاخص درصد بهنجار بارندگی (PNPI)، و شاخص ناهنجاری بارندگی (RAI)، اشاره کرد. پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از شاخص مناسب و تهیه نقشه‌های شدت خشکسالی با استفاده از روش‌های گوناگون، گامی مهم در مدیریت این پدیده است (شعبانی، ۱۳۸۸، ۸). روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی شدت خشکسالی یک منطقه وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به روش‌های زمین آماری<sup>۵</sup> اشاره کرد. روش‌های ژئواستاتستیک به دلیل در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها، از اهمیت زیادی برخوردار هستند. در بررسی‌های آمار کلاسیک نمونه‌هایی که از کل جامعه به منظور شناخت آن برداشت می‌شوند، فاقد بعد مکانی بوده و در نتیجه مقدار اندازه‌گیری شده یک کمیت معین در یک نمونه هیچ گونه اطلاعاتی در مورد مقدار همان کمیت در نمونه‌گیری به فاصله معین و معلوم در بر نخواهد داشت. در حالی که در زمین آمار علاوه بر مقدار کمیت معین در یک نمونه، موقعیت مکانی نمونه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. بدین لحاظ می‌توان موقعیت مکانی نمونه‌ها را همراه با مقدار کمیت مورد نظر یک جا مورد تحلیل قرار داد. به عبارت دیگر باید به توان بین مقادیر مختلف یک کمیت در جامعه نمونه‌ها و فاصله نمونه‌ها و جهت قرارگیری آن‌ها نسبت به هم ارتباط برقرار کرد. این ارتباط مکانی (فاصله و جهت) بین مقدار یک کمیت در جامعه نمونه‌های برداشت شده، ممکن است در قالب‌های ریاضی قابل بیان باشد، به این قالب‌های ریاضی ساختار مکانی گفته می‌شود. گفتنی است که روش‌های مختلف زمین آمار بسته به نوع متغیر، دقت متفاوتی را ارایه می‌کنند. متأسفانه مهندسين و کارشناسان اغلب یک روش را به صورت تصادفی انتخاب کرده و برآورد مورد نظر را انجام می‌دهند که دقت تخمین آن‌ها جای تأمل می‌باشد. البته با توجه به امکان استفاده از این روش‌ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و استفاده روزافزون از این سیستم‌ها در امور مطالعاتی و پژوهشی، اهمیت انتخاب روش مناسب توسط استفاده‌کننده دو چندان می‌شود (مه‌دوی و همکاران، ۱۳۸۳، ۱۸).

### پیشینه پژوهش

مرید و همکاران در سال ۲۰۰۶ میلادی کارایی هفت شاخص خشکسالی را در استان تهران با استفاده از ۳۲ سال آمار آن شهر مقایسه کردند. نتایج این پژوهش نشان دادند که شاخص‌های مورد مطالعه عملکرد یکسانی در تشخیص خشکسالی داشته و شاخص دهک‌های بارش دارای حساسیت زیادی نسبت به رخداد‌های بارش در یک سال بوده است. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص‌های SPI و بارش موثر توانایی تشخیص شروع و تغییرات پیوسته‌ی زمانی و مکانی خشکسالی را داشته و بنابراین دو شاخص یاد شده برای بررسی خشکسالی در استان تهران پیشنهاد شده‌اند.

(Morid, et. al. 2006, 116). لوکاس و همکاران در سال ۲۰۰۳ میلادی با استفاده از داده‌های ۲۸ ایستگاه با طول آماری ۴۰ سال (۲۰۰۰-۱۹۶۰) اقدام به محاسبه و مقایسه سه شاخص خشکسالی کردند. بررسی در این پژوهش شامل SPI، ناهنجاری بارش و شاخص Z بارندگی می‌باشد. در ابتدا آن‌ها مقادیر شاخص‌های یاد شده را برای مقیاس زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ ماهه محاسبه، سپس اقدام به مقایسه سه شاخص بالا کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که هر سه شاخص مورد استفاده کارایی یکسان را در تعیین شدت و تداوم خشکسالی دارند (Loukas, et. al. 2003, 119). یزدانی و همکاران در سال ۱۳۸۶ با استفاده از شاخص‌های درصد از بارش میانگین، شاخص پراکندگی بارش و شاخص بارش معیار شده، خشکسالی‌های محدوده‌ی حوضه آبخیز زاینده رود و نواحی مجاور آن را در یک دوره ۳۲ ساله و آمار بارش ۸۵ ایستگاه باران‌سنجی بررسی کردند. آنها ابتدا با استفاده از سه شاخص یاد شده مقادیر خشکسالی را تعیین، سپس طبقه‌بندی خشکسالی را از لحاظ درصد منطقه‌ای تحت تأثیر انجام دادند. جهت درون‌یابی از روش‌های زمین آمار استفاده شد. با استفاده از تحلیل واریوگرامی که بهترین آن‌ها شبه واریوگرام کروی بود، در مرحله بعد، با استفاده از نرم افزار یلوپس و روش کریجینگ درون‌یابی صورت گرفت و نقشه‌های هم‌گسترده‌ی خشکسالی در هر سال تعیین گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص بارش معیار شده، کارایی بهتری در حوضه آبخیز زاینده رود دارد (یزدانی و همکاران، ۱۳۸۵).

هدف از انجام این پژوهش: تعیین بهترین روش درون‌یابی برای پهنه‌بندی شدت‌های خشکسالی بر اساس هر یک از شاخص‌های SPI، PNPI، RAI و DPI و تعیین بهترین شاخص و روش درون‌یابی برای پهنه‌بندی شدت‌های خشکسالی لارستان می‌باشد.

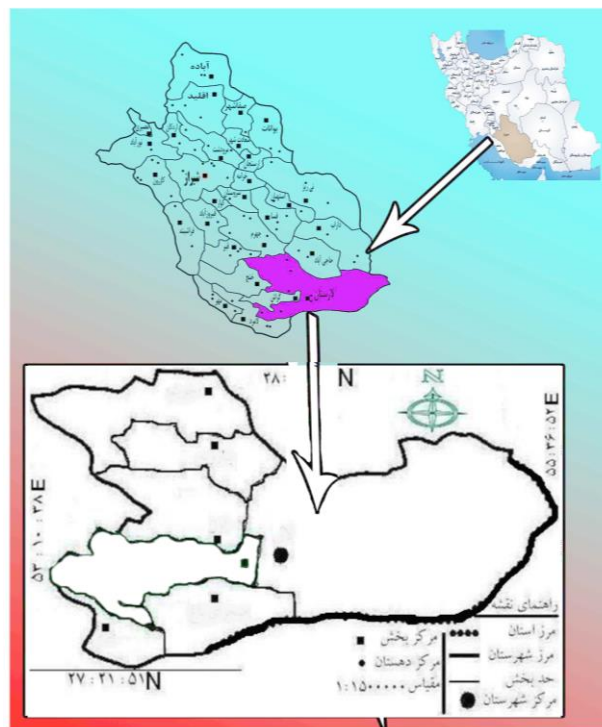
## داده‌ها و روش‌ها

### موقعیت جغرافیایی شهرستان لارستان

منطقه مورد مطالعه در عرض جغرافیایی ۲۸ درجه ۱۴ دقیقه ۲۷ ثانیه الی ۲۸ درجه ۲۵ دقیقه ۴۳ ثانیه شمالی، ۵۲ درجه ۲۳ دقیقه و پنجاه ثانیه الی ۵۵ درجه و ۴۳ دقیقه و ۴۳ ثانیه شرقی در جنوب و جنوب‌شرقی استان فارس واقع شده است و به دلیل قرارگیری و نزدیکی به مدار رأس السرطان و استقرار پرفشار جنب حاره آب و هوای آن خشک است.

این شهرستان در جنوب استان فارس قرار گرفته از شمال به شهرستان‌های، داراب و جهرم و شهرستان زرین دشت و از غرب به شهرستان خنج از جنوب به شهرستان بستک از جنوب‌غرب به شهرستان لامرد و از جنوب و جنوب‌شرقی به استان هرمزگان ختم می‌شود. این شهرستان بخش‌هایی از حوضه آبریز رودخانه مند و آبریز رودخانه کل را تشکیل می‌دهد و شامل دشت‌های درز، سایبان، کرمستج، لار و کاسه دار، گراش اوز، دهکویه، جویم، بنارویه، بیدشهر، هرم کاریان، صحرای باغ و بخشی از مزایجان و کهورستان می‌باشد. ارتفاع از سطح دریا حدود ۹۰۰ تا ۸۰۰ متر است، ایستگاه

سینپوتیک در ۷۹۰ متری از سطح دریا واقع شده است. وسعت شهرستان ۲۷۰۰۰ کیلومتر مربع که بیش از ۲۰ درصد مساحت استان فارس در بر می‌گیرد و وسیع‌ترین شهرستان می‌باشد.



شکل ۱: نقشه موقعیت شهرستان لارستان در استان فارس

## روش پژوهش

در این پژوهش از آمار ۲۰ ایستگاه باران‌سنجی‌ها در کل لارستان با پراکنش مناسب استفاده شد و پس از حذف داده‌های پرت و بازسازی داده‌ها، یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۹۰-۱۳۶۰) به عنوان دوره آماری مشترک برای تمامی ایستگاه‌ها در نظر گرفته شد. سپس به کمک شاخص‌های SPI، PNPI، RAI و DPI و بر اساس مقیاس یک ساله شدت خشکسالی سال ۱۳۸۷ برای ایستگاه‌های مورد مطالعه مشخص و همزمان مختصات جغرافیایی هر ایستگاه باران‌سنجی در سامانه لامبرت نیز یادداشت شد. پس از نرمال سازی داده‌ها، جهت پهنه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس هر یک از شاخص‌ها، از روش زمین آماری کریجینگ معمولی و عام و روش عکس فاصله با توان‌های یک تا ۳ استفاده گردید. به منظور ارزیابی روش‌های درون‌یابی از آزمون ارزیابی متقابل استفاده شد و در نهایت بر اساس بهترین روش میان‌یابی و به کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) اقدام به تهیه نقشه‌های مورد نظر شد.

### – شاخص نمایه بارش استاندارد (SPI)

شاخص استاندارد بارش در سال ۱۹۹۵ توسط مک کی و همکارانش ارائه شد که بر اساس احتمال بارندگی در مقیاس های زمانی هفته، ماه و سال بنا نهاده شده است و در برنامه ریزی های خشکسالی کاربرد دارد. شاخص SPI به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه و قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی نتایج، به عنوان یکی از مناسب ترین شاخص برای تحلیل خشکسالی شناخته می شود. نتایج پژوهش های بسیاری از دانشمندان نشان می دهد که مناسب ترین تابع احتمال برای برازش داده های بارندگی تابع توزیع گاما می باشد. از این رو، نخستین مرحله محاسبه شاخص SPI محاسبه پارامترهای مربوط به این تابع توزیع برای هر مقیاس زمانی دلخواه برآورد می گردد. در نهایت تابع توزیع تجمعی مربوطه محاسبه و به یک تابع توزیع تجمعی نرمال جهت محاسبه SPI تبدیل می شود (۵). به منظور محاسبه پارامترهای توزیع گامای داده های بارندگی سالانه در این پژوهش، از نرم افزار HYFA استفاده شد.

تابع توزیع گامای دو پارامتری به صورت رابطه (۱) تعریف می شود:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1)$$

که در آن  $\alpha$  پارامتر شکل،  $\beta$  پارامتر مقیاس،  $x$  مقدار بارش در مقیاس زمانی مشخص و  $\Gamma(\alpha)$  تابع گاما می باشد. تابع گاما به صورت رابطه (۲) تعریف می شود:

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

تابع توزیع گاما دارای چولگی به راست بوده و حد پایینی آن صفر می باشد. این توزیع بسیار شبیه به توزیع فراوانی بارش می باشد. پس از برازش تابع گاما بر داده های ایستگاه مورد مطالعه، احتمال تجمعی برای هر رویداد بارش در مقیاس های زمانی مختلف به صورت رابطه (۳) محاسبه می شود:

$$F(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (3)$$

از آنجائی که تابع توزیع گاما در نقطه صفر تعریف نشده و مقادیر بارش ممکن است شامل داده صفر نیز باشد، بنابراین در این حالت، احتمال تجمعی از رابطه (۴) محاسبه می گردد:

$$H(x) = q + (1-q)F(x) \quad (4)$$

که در آن  $q$  احتمال بارش ماهانه صفر است.

در مرحله بعد احتمال تجمعی  $H(x)$  به متغیر نرمال استاندارد  $Z$  با میانگین صفر و واریانس یک تبدیل می شود که برابر با شاخص SPI می باشد. برای تبدیل احتمال تجمعی گاما به متغیر نرمال استاندارد، روش های متعددی پیشنهاد شده است که از جمله می توان به روش گرافیکی ارائه شده توسط پانوفسکی و برابیر اشاره کرد (Panofsky, et. al. 1968). با توجه به این که استفاده از روش گرافیکی دشوار بوده و مقادیر بدست آمده از آن با تقریب همراه می باشد، در

این مطالعه برای تبدیل احتمال تجمعی به متغیر نرمال استاندارد از روش پیشنهادی آبراموویتز و استگان استفاده گردید. در این روش مقادیر متغیر نرمال استاندارد (Z) از رابطه (۵) و (۶) محاسبه می‌شود:

(۵)

$$Z = SPI = - \left( t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right)$$

$$0 < H(x) \leq 0.5$$

(۶)

$$Z = SPI = + \left( t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right)$$

$$0.5 < H(x) \leq 1$$

که در آن t از رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

(۷)

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

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

در روابط فوق  $C_0, C_1, C_2, d_1, d_2, d_3$  به ترتیب برابر  $۱/۴۳۲۷۸۸, ۰/۰۱۰۳۲۸, ۰/۸۰۲۸۵۳, ۲/۵۱۵۵۱۷, ۰/۰۰۱۳۰۸, ۰/۱۱۹۲۶۹$  می‌باشند (۱۱).

خشکسالی زمانی به وقوع می‌پیوندد که شاخص SPI به طور مداوم منفی باشد و شدت آن به ارقام منفی یک یا کمتر برسد. این رویداد زمانی که SPI به مقادیر مثبت برگردد تمام می‌شود. بنابراین هر رویداد خشکسالی دارای یک دوره زمانی می‌باشد که به وسیله شروع و خاتمه آن تعریف می‌شود. آستانه‌های تفکیک نمایه SPI مطابق جدول (۱) می‌باشد. (۵).

### – شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI)

شاخص درصد نرمال بارش (PNPI) یکی از ساده‌ترین شاخص‌های خشکسالی است. این امر سبب شده است تا محققین زیادی از آن استفاده نمایند. این نمایه از رابطه (۸) بدست می‌آید:

$$PNPI = \frac{P_i}{\bar{P}} \times 100 \quad (۸)$$

در این رابطه  $P_i$  بارندگی ماه  $\bar{P}$  میانگین دراز مدت بارندگی همان ماه است. این نمایه همواره مثبت بوده و از قسمت‌های پایین محدود به صفر و از قسمت بالا محدودیتی ندارد (۷). طبقات مختلف این نمایه در جدول (۱) آمده است.

### – شاخص RAI (شاخص ناهنجاری بارش)

نمایه ناهنجاری‌های بارش (RAI) توسط وان و روی ارایه شده است (۱۸). این شاخص بارندگی ماه یا سال معین را بر روی مقیاس خطی که از روی سری داده‌ها حاصل می‌شود ارزیابی می‌کند. مراحل محاسبه این نمایه به صورت زیر است:

۱- محاسبه میانگین دراز مدت بارندگی ماهانه ( $\bar{P}$ ) در ایستگاه مورد نظر، ۲- استخراج میانگین ۱۰ مورد از بزرگترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی ( $\bar{m}$ )، ۳- استخراج میانگین ۱۰ مورد از کوچکترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی ( $\bar{P}$ )، ۴- مقایسه داده‌های بارندگی ماهانه ( $\bar{P}$ ) با میانگین دراز مدت. بطوری که چنانچه  $P > \bar{P}$  باشد آنگاه RAI از رابطه (۹) زیر بدست می‌آید:

$$RAI = 3\left[\frac{P - \bar{P}}{m - \bar{P}}\right] \quad (9)$$

و اگر  $P < \bar{P}$  باشد آنگاه RAI از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود:

$$RAI = -3\left[\frac{P - \bar{P}}{x - \bar{P}}\right] \quad (10)$$

در حالت اول ناهنجاری‌ها مثبت و در حالت دوم منفی است. طبقات مختلف این نمایه در جدول (۱) آمده است (۷).

### – شاخص DPI (دهک‌های بارش)

شاخص دهک‌های بارش (DPI) مشخص می‌کند که بارش یک ماه معین در چه بازه‌ای از دهک‌های متوالی سری بارندگی ماهانه یا سالانه قرار گرفته است. به منظور محاسبه دهک‌ها، ابتدا داده‌های بارش سالانه به صورت نزولی یا صعودی مرتب می‌شوند. سپس احتمال وقوع بارش یک سال معین از رابطه (۱۱) بدست می‌آید:

$$Pi = \frac{i}{N+1} \times 100 \quad (11)$$

در این رابطه:  $Pi$  احتمال وقوع بارندگی در شماره ردیف  $i$ ام و  $n$  تعداد داده‌های بارندگی می‌باشد (۷). در اینصورت بر حسب این که یک مقدار در چه فاصله دهکی قرار گرفته مطابق جدول (۱) یکی از درجات خشکسالی به آن نسبت داده می‌شود.

### روش‌های تخمین

#### کریجینگ معمولی (OK)

این روش در شرایطی مورد استفاده قرار می‌گیرد که میانگین مجهول می‌باشد. چون در اکثر موارد، تعداد و پراکندگی داده‌ها به حدی نیست که میانگین‌گیری ساده از آن‌ها میانگین واقعی متغیر در منطقه را نشان دهد، مقدار پارامتر مورد نظر از طریق رابطه (۱۲) تخمین زده می‌شود:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (12)$$

که در آن  $Z^*(x_0)$  مقدار تخمین زده شده در نقطه مجهول  $x_0$ ،  $\lambda_i$  وزن مقدار مربوطه به نقطه  $x_i$ ، مقدار  $Z(x_i)$  مقدار معلوم مربوط به نقطه  $x_i$  و  $n$  تعداد داده‌های معلوم می باشد (۲).

### کریجینگ عام (UK)

این مدل زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در منطقه روند وجود داشته باشد. در این روش مدل‌سازی و غربال نمودن روند از مقادیر متغیر مورد مطالعه، هم زمان با پردازش باقیمانده‌ها صورت می‌گیرد. در صورتی که مدل مناسبی برای روند انتخاب شده باشد، باقیمانده‌ها روندی را نشان نمی‌دهند. مقدار پارامتر مورد نظر از طریق رابطه (۱۳) برآورد می‌شود:

$$Z_{ox}^*(x) = \sum_{j=0}^k \sum_{i=1}^n a_j \lambda_i f_j(x_i) \quad (13)$$

که در آن  $f_i(x)$  تابع بنیادی می‌نامند که بر حسب ماهیت روند تعیین می‌شود (۲).

### روش وزنی معکوس فاصله (IDW)

در روش IDW برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری وزنی بر اساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می‌گیرد. سپس این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود، به طوری که توان‌های بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچکتر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط هم جوار توزیع می‌کنند. البته باید توجه داشت که این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آن‌ها را در نظر می‌گیرد، یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه برآورد هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند. مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه (۱۴) زیر محاسبه می‌گردد:

$$\lambda_i = \frac{D_i - \alpha}{\sum_{i=1}^n D_i - \alpha} \quad (14)$$

که در آن  $\lambda_i$  = وزن ایستگاه  $i$ ،  $D_i$  = فاصله ایستگاه  $i$  ام تا نقطه مجهول،  $\alpha$  = توان وزن‌دهی می‌باشند (۹).

### آنالیز واریوگرام

برای مقایسه دو کمیت در دو نقطه به مختصات مختلف، بررسی اختلاف آن‌ها طبیعی‌ترین روش مقایسه است. بر این اساس برای تمام موقعیت‌ها می‌توان، توان دوم این اختلاف را تحت عنوان نیم تغییر نما به صورت معادله (۱۵) محاسبه کرد:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i+h) - z(x_i)]^2 \quad (15)$$



که در آن  $N(h)$  تعداد جفت‌های جدا شده در فاصله گام  $(h)$ ،  $Z(x_i)$  مقدار متغییر اندازه‌گیری شده در موقعیت مکانی  $X_{i+h}$  است. یک تغییر نمای ایده‌آل دارای سه پارامتر شامل اثر قطعه‌ای، حد آستانه و دامنه مؤثر می‌باشد. اثر قطعه‌ای بیان‌کننده مؤلفه غیر ساختاری (تصادفی) واریانس می‌باشد. حد آستانه تقریبی از واریانس کل را ارایه نموده و مقدار دامنه بیان‌گر فاصله‌ای است که در ماورای آن نمونه‌ها را می‌توان مستقل از یکدیگر به حساب آورد (۶). شکل (۲) نمایی از یک نیم تغییرنما را نشان می‌دهد. شدت و درجه‌ی وابستگی مکانی یک متغییر ناحیه‌ای را می‌توان از تقسیم واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس کل (حد آستانه) به دست آورد. گاهی اوقات این نسبت در عدد ۱۰۰ ضرب و به صورت درصد بیان می‌شود. اگر نسبت مزبور کمتر از ۲۵٪ باشد، متغییر دارای کلاس وابستگی مکانی قوی و اگر نسبت بین ۲۵ تا ۷۵٪ باشد، آنگاه متغییر مورد نظر دارای کلاس وابستگی مکانی متوسط می‌باشد. اگر نسبت بیش از ۷۵٪ باشد، متغییر دارای کلاس وابستگی مکانی ضعیفی خواهد بود (۱۲).

### تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی

پس از رسم واریوگرام‌ها و برازش مدل مناسب بر روی آن‌ها، عملیات درون‌یابی بوسیله روش کریجینگ معمولی، کریجینگ عام و تابع معکوس فاصله با توان‌های یک تا ۳ بررسی شد. برای این منظور می‌توان از شیوه‌های مختلفی استفاده کرد که یکی از مناسب‌ترین آن‌ها استفاده از نتایج ارزیابی متقابل می‌باشد (۱۳). به این ترتیب که ابتدا یکی از نقاط اندازه‌گیری را حذف کرده و سپس با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش درون‌یابی مورد نظر برای نقطه حذف شده، برآورد آماری صورت می‌گیرد، در مرحله بعد این نقطه به محل خود برگردانده شده و نقطه بعدی حذف می‌شود و به همین ترتیب برای تمام نقاط مشاهده‌ای یک برآورد نیز صورت می‌گیرد و نتایج در قالب دو ستون مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی ارایه می‌گردد. در این پژوهش برای مشخص کردن بهترین روش درون‌یابی از شاخص خطا (ریشه‌ی دوم میانگین مربع خطا، RMSE) و شاخص دقت (ضریب همبستگی،  $R^2$ ) استفاده شد که به ترتیب از طریق معادله‌های (۱۶) و (۱۷) محاسبه می‌شوند:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (o_i - t_i)^2}{\sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o}_i)^2} \quad (16)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (o_i - t_i)^2}{N}} \quad (17)$$

و  $t_i$  و  $o_i$  به ترتیب مقدار مشاهداتی و مقدار برآورد شده می‌باشند.

### نتایج

نتایج آزمون کلموگراف-اسمیرنوف نشان داد که داده‌های شاخص‌های مورد مطالعه در ۲۰ ایستگاه باران‌سنجی به غیر از شاخص درصد نرمال و ناهنجاری‌های بارش، نرمال بوده و استفاده از ریشه دوم داده‌های این شاخص‌ها را تا حد زیادی

نرمال ساخت. شکل (۲)، واریوگرام تجربی داده‌های شاخص‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. جدول (۲)، مقادیر فرانسج‌های واریوگرام‌ها و شبه برازش یافته بر آن، جدول (۳) و (۴) به ترتیب مقادیر RMSE و مقادیر ضریب همبستگی مربوط به داده‌های شاخص‌های مورد مطالعه برای هر یک از روش‌های میان‌یابی را نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۳)، برای شاخص درصد نرمال بارندگی، نمایه بارش استاندارد و دهک‌های بارش روش کریجینگ معمولی و برای شاخص ناهنجاری‌های بارش، روش عکس فاصله با توان ۲ به دلیل داشتن RMSE کمتر و ضریب همبستگی بیشتر به عنوان روش مناسب جهت تهیه نقشه شدت خشکسالی در لارستان برگزیده شدند. شکل (۴)، نقشه پهنه‌بندی شدت خشکسالی در لارستان و بر اساس شاخص‌های مورد مطالعه و روش درون‌یابی مناسب آن‌ها را نشان می‌دهد. جدول (۴)، نیز مساحت طبقه‌های شدت خشکسالی‌های رخ داده‌ی لارستان را در سال ۱۳۸۸ ارائه می‌دهد.

جدول ۱: طبقه‌های مختلف نمایه‌های خشکسالی مورد بررسی

طبقات مختلف خشکسالی	PNPI	DPI	RAI	SPI
نرمال	۸۰ تا ۱۲۰٪	۴۰ تا ۶۰٪	-۰/۳ تا +۰/۳	-۱ تا +۱
خشکسالی ضعیف	۷۰ تا ۸۰٪	۳۰ تا ۴۰٪	-۱/۲ تا -۰/۳	-
خشکسالی متوسط	۵۵ تا ۷۰٪	۲۰ تا ۳۰٪	-۲/۱ تا -۱/۲	-۱ تا -۱/۵
خشکسالی شدید	۴۰ تا ۵۵٪	۱۰ تا ۲۰٪	-۳ تا -۲/۱	-۲ تا -۱/۵
خ بسیار شدید	کمتر از ۴۰٪	کمتر از ۱۰٪	کمتر از ۳-	کمتر از ۲-

جدول ۲: فرانسج‌های مربوط به واریوگرام‌ها و ویژگی‌های شبه برازش یافته بر آن.

متغیر	طول گام (متر)	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	دامنه تاثیر (متر)	ساختار مکانی	شبه
PNPI	۲۸۴۷۹	۰/۱۹۲	۱/۰۹۸	۲۲۱۹۷۵	قوی	گوسین
SPI	۲۸۴۷۹	۰/۰۶۶	۱/۱۷۰	۱۲۲۹۳۶۱	قوی	کروی
DPI	۲۸۴۷۹	۰/۰۱۱	۰/۰۹۵	۳۳۷۵۶۹	قوی	نمایی
RAI	۲۸۴۷۹	۰/۲۴۸	۴/۱۰۳	۲۳۰۰۲۷	قوی	کروی

جدول ۳: مقادیر RMSE برای هر یک از روش‌های درون‌یابی.

شاخص‌های خشکسالی	کریجینگ عام (UK)	کریجینگ معمولی (OK)	عکس فاصله (IDW)	توان ۱	توان ۲	توان ۳
PNPI	۹/۷۸۵	۷/۱۸۳		۱۱/۱۹۱	۱۱/۰۵۲	۰/۶۲۸
DPI	۱۲/۷۸۵	۱۱/۱۰۷		۱۳/۱۹۱	۱۲/۵۸۹	۱۳/۲۸۳
RAI	۱۰/۲۵۷	۱۱/۸۸۱		۱۰/۵۱۱	۹/۰۰۸	۹/۸۸۰
SPI	۸/۱۵۰	۶/۵۸۱		۸/۳۳۱	۹/۱۲۶	۱۲/۸۴۹

جدول ۴: مقادیر  $R^2$  برای هر یک از روش های درون یابی.

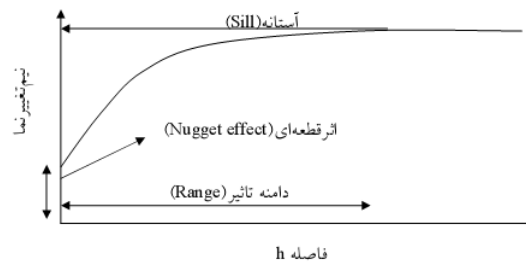
شاخص های خشکسالی	کریجینگ عام		کریجینگ معمولی		عکس فاصله (IDW)		
	(UK)	(OK)	توان ۱	توان ۲	توان ۳	توان ۲	توان ۳
PNPI	۰/۳۱۹	۰/۷۲۳	۰/۵۸۹	۰/۶۲۸	۰/۳۲۹	۰/۶۲۸	۰/۳۲۹
DPI	۰/۳۱۹	۰/۷۱۹	۰/۵۸۹	۰/۶۲۸	۰/۳۲۹	۰/۶۲۸	۰/۳۲۹
RAI	۰/۳۱۹	۰/۴۱۲	۰/۶۰۵	۰/۷۰۳	۰/۶۸۲	۰/۷۰۳	۰/۶۸۲
SPI	۰/۳۱۹	۰/۸۱۲	۰/۱۰۵	۰/۱۷۵	۰/۲۱۱	۰/۱۷۵	۰/۲۱۱

جدول ۵: درصد مساحت طبقه بندی های شدت خشکسالی رخ داده ی لارستان بر اساس هر کدام از شاخص ها در سال ۱۳۸۷.

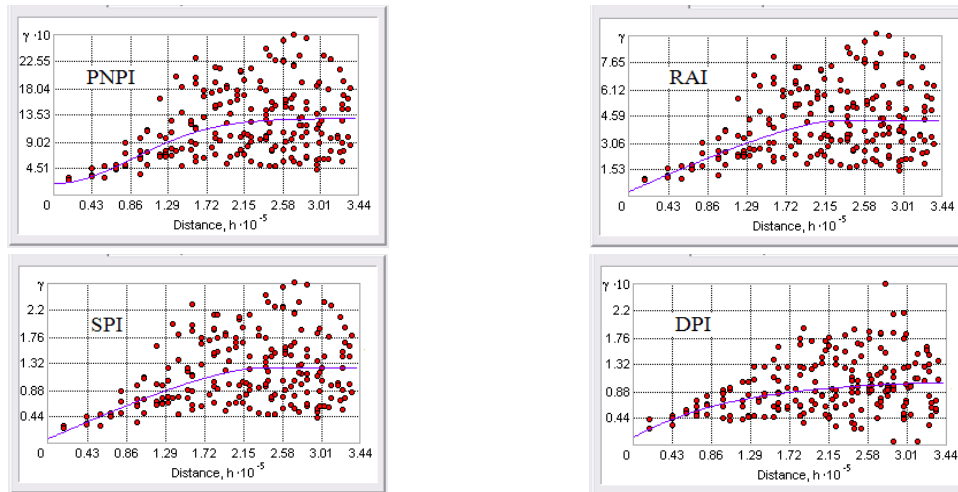
شدت خشکسالی	RAI	PNPI	SPI	DPI
خشکسالی بسیار شدید	۱/۶۹۷	۰/۰۱۵	۰	۰/۰۱۲
خشکسالی شدید	۱۲/۳۷۰	۱/۷۴۰	۰	۹/۷۷۹
خشکسالی متوسط	۱۰/۹۰۶	۹/۹۸۵	۱۷/۴۵۴	۱۶/۰۳۱
خشکسالی ضعیف	۳۲/۵۱۰	۱۰/۵۲۹	۴۷/۵۹۸	۲۳/۱۴۱
عدم خشکسالی	۴۲/۶۱۸	۷۷/۷۳۱	۳۴/۹۴۸	۵۱/۰۳۵



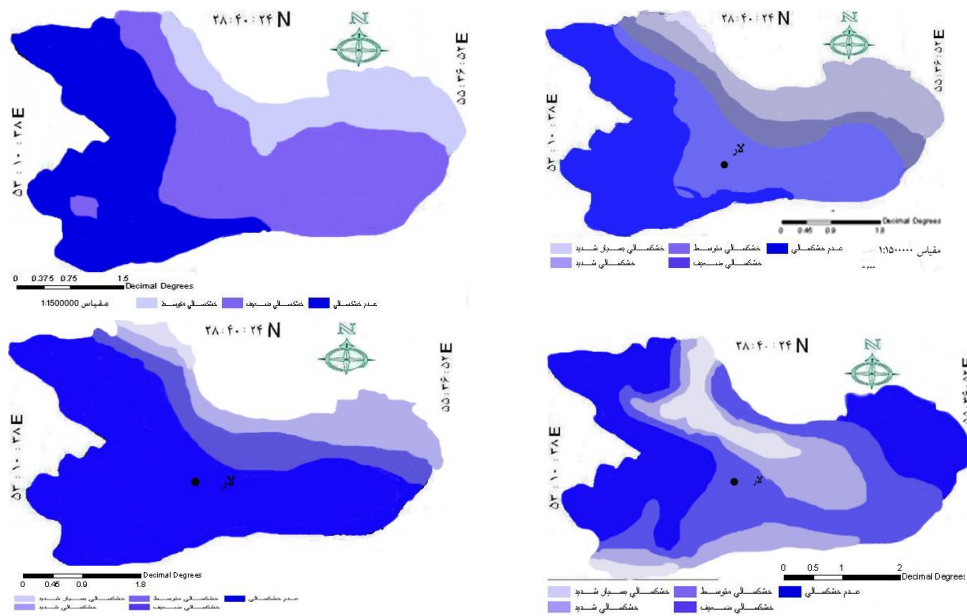
شکل ۲: نقشه منطقه مورد مطالعه.



شکل ۳: نمونه ای از یک نیم تغییرنما.



شکل ۴: واریوگرام‌های تجربی شاخص‌های مورد مطالعه



شکل ۵: نقشه پهنه‌بندی شدت خشکسالی لارستان در سال ۱۳۸۷ بر اساس شاخص‌های SPI، PNPI، RAI و DPI

## بحث و نتیجه گیری

پس از ترسیم واریوگرام‌ها و برازش مدل مناسب بر روی آن‌ها، عامل‌های مربوطه استخراج شد. استحکام ساختار فضایی در تمامی شاخص‌های مورد مطالعه بسیار قوی بوده که نشان دهنده پیوستگی مکانی و دقت بالای مدل‌های برازش داده شده می‌باشد، که خود نقش به‌سزایی در بالا بردن دقت برآورد دارد. نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های مختلف نشان داد که برای داده‌های شاخص درصد نرمال بارندگی روش کریجینگ معمولی، نمایه بارش استاندارد روش کریجینگ معمولی، دهک‌های بارش روش روش کریجینگ معمولی و ناهنجاری‌های بارش روش عکس فاصله با توان ۲ به دلیل داشتن RMSE کمتر و ضریب همبستگی بیشتر به عنوان روش مناسب جهت تهیه نقشه شدت خشکسالی در لارستان برگزیده شدند. همچنین از بین نمایه‌های مورد بررسی و روش‌های درون‌یابی در این پژوهش به ترتیب شاخص بارش استاندارد و روش کریجینگ معمولی از دقت بهتری برخوردار بودند و در نتیجه به عنوان شاخص و روش درون‌یابی برتر در تعیین خشکسالی و پهنه بندی آن در لارستان پیشنهاد می‌شود. همچنین نتایج بدست آمده از شکل (۴) و جدول (۵)، نشان می‌دهند که بر اساس شاخص درصد نرمال بارندگی، ۰/۰۱۵ از کل لارستان در وضعیت خشکسالی بسیار شدید، ۱/۷۴۰٪ خشکسالی شدید، ۹/۹۸۵٪ خشکسالی متوسط، ۱۰/۵۲۹٪ خشکسالی ضعیف و ۷۷/۷۳۱٪ در وضعیت عدم خشکسالی است و بر اساس شاخص بارش استاندارد، ۱۷/۵۴۴٪ در وضعیت خشکسالی متوسط، ۴۷/۵۹۸٪ خشکسالی ضعیف و ۳۴/۹۴۸٪ در وضعیت عدم خشکسالی است و بر اساس شاخص دهک‌های بارش، ۰/۰۱۳ از کل لارستان در وضعیت خشکسالی بسیار شدید، ۹/۷۷۹٪ خشکسالی شدید، ۱۶/۰۳۱٪ خشکسالی متوسط، ۲۳/۱۴۱٪ خشکسالی ضعیف و ۵۱/۰۳۵٪ در وضعیت عدم خشکسالی است. و بر اساس شاخص ناهنجاری‌های بارش، ۱/۶۹۷٪ از کل لارستان در وضعیت خشکسالی بسیار شدید، ۱۲/۲۷۰٪ خشکسالی شدید، ۱۰/۹۰۶٪ خشکسالی متوسط، ۳۲/۵۱۰٪ خشکسالی ضعیف و ۴۲/۶۱۸٪ در وضعیت عدم خشکسالی است.

## منابع

- ۱- بذاق جمالی ج، آسیایی م، صمدی نقاب س و جوانمرد س، (۱۳۸۵): مدیریت خشکسالی. انتشارات سخن گسترچاپ اول.
- ۲- دیداری ش، زند پارسا ش و کامگار حقیقی ع. (۱۳۸۹): تهیه اطلس سرمازدگی گیاهان زراعی و درختان در لارستان. دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب. ۹ و ۱۰ بهمن ماه کرمان. دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- ۳- زارع ایبانه، ح. و محبوبی، ع. (۱۳۸۳): " بررسی وضعیت خشکسالی و روند آن در منطقه همدان بر اساس شاخص‌های آماری خشکسالی " مجله علمی- پژوهشی و سازندگی، شماره ۶۴، صص ۷-۲.
- ۴- شعبانی م. (۱۳۸۸): ارزیابی کاربرد روش‌های زمین آمار در پهنه‌بندی شدت‌های خشکسالی لارستان. مجله مهندسی آب، سال دوم، بهار ۱۳۸۸. صص ۳۶-۳۱.

- ۵- عامری ع، کامران خ، عبدالهی س و رضائیان ش. (۱۳۸۹): مقایسه‌ی روش‌های درون‌یابی در پهنه‌بندی خشکسالی استان کرمان با استفاده از GIS. دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب. ۹ و ۱۰ بهمن ماه کرمان. دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- ۶- محمدی ج. (۱۳۸۵): پدومتری. جلد دوم آمار مکانی. نشر پلک، چاپ اول.
- ۷- محمدی مطلق ر. (۱۳۸۹): کارایی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی در مدیریت خطر خشکسالی‌های سه دهه اخیر شیراز. دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب. ۹ و ۱۰ بهمن ماه کرمان. دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- ۸- مهدوی م، حسینی چگینی ا، مهدیان م و بندرآبادی، ر. (۱۳۸۳): مقایسه روش‌های زمین آمار در برآورد توزیع مکانی بارش سالانه در مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرقی ایران. مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، شماره ۲، صص ۱ تا ۱۷.
- ۹- مهدیان م. (۱۳۸۵): کاربرد زمین آمار در خاکشناسی، کارگاه آموزشی کاربرد زمین آمار در خاکشناسی اولین همایش خاک، توسعه پایدار و محیط زیست ۱۷-۱۸ آبان ماه ۱۳۸۵، دانشگاه تهران.
- ۱۰- یزدانی م، چاوشی س، شیروانی ک و خدافلای م. (۱۳۸۵): بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی در زیر حوضه‌های آبخیز زاینده رود. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده رود. شهرکرد.

- 11- Abramowitz, M. and Stegun, I. A. (1965): "Handbook of Mathematical Functiond", Dover, New York.
- 12- Amini M., Afyuni M., Khademi H., Abbaspour K.C., and Schulin R. (2005): Mapping risk of Cadmium and Lead Contamination to Human Health in Soi ls of Central Iran. Science of the Total Environment. 347: 64-77.
- 13- Davis, B.M. (1987): Use and Abuses of Cross-Validation in Geostatistics. Math. Geol. 19, 241-248.
- 14- Loukas A., Vasiliades L.N.R: Dalezios N.R. (2003): Intercomparison of Meteorological Drought Indices for Drought Assessment and Monitoring in Greece. Proceeding of The 8 International on Environmental Science and Technology. Lemons Island and Greece, 8-10 September 2003.
- 15- Morid S., Smakhtin, V., Moghaddasi, M. (2006): Comparison of Seven Meteorological Indices for Drought Monitoring in Iran. International Journal of Climatology 26: 971-985.
- 16- Panofsky, H.A. and Brier, G.W. (1968): "Some Applications of Statistics to Meteorology", University Park, Pennsylvania State University, 224 p.
- 17- Richard, R. H. (2002): A Review of Twentich Century Drought Indices Used in The United States, American Meteorological Society, Agu 2002, 1149-1156
- 18- Rooy, M.P. and Van, A. (1965): "Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space" Notos, 14(43).