

## ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی استان آذربایجان غربی

عارف صابری<sup>۱</sup>، سمیه سلطانی گردفرامرزی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۰۱

### چکیده

خشک‌سالی بعنوان یک حادثه پیچیده که از وقوع یک یا چند دوره خشک بوجود می‌آید، اثرات زیانبار اقتصادی، اجتماعی و محیطی زیادی را در یک بازه کوتاه مدت بجا می‌گذارد. بررسی تغییرات مکانی خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های مناسب می‌تواند به مدیریت صحیح خشک‌سالی در کشور کمک کند. در این پژوهش با استفاده از داده‌های شدت خشک‌سالی حاصل شده از شاخص‌های کوتاه مدت سه ماهه SPI، ZSI و PNI نقشه پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی با روش‌های زمین‌آمار در محیط نرم افزار GIS برای استان آذربایجان غربی بدست آمد. نتایج نشان داد که از روش‌های درون‌یابی زمین‌آماری و قطعی، روش عکس فاصله وزنی با توان دو برای شاخص ZSI و SPI دارای کمترین مقدار خطاهای RMSE، MAPE و MBE نسبت به سایر روش‌های پهنه‌بندی می‌باشد. کمترین مقدار برآورد RMSE برای هر یک از شاخص‌ها به ترتیب برابر با ۰/۲۲، ۰/۳ و ۰/۳۶ محاسبه شد. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد که در جنوب و جنوب غرب استان بدلیل متمرکز شدن جنگل‌ها و بارش مناسب در این مناطق، خشک‌سالی کمتری وجود دارد در حالیکه در مناطق شمال و شمال شرق استان مقدار خشک‌سالی بیشتر از سایر مناطق است. بر اساس شاخص SPI، ۴۸/۱۲٪ از کل استان دارای خشک‌سالی شدید و ۳۲/۲۵٪ دارای شرایط خشک‌سالی نرمال است.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، روش عکس فاصله وزن، زمین‌آمار، شاخص، خشک‌سالی.

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان، ۰۹۱۴۵۹۸۴۸۳۳، Aref.sabri.2714@gmail.com

<sup>۲</sup> استادیار دانشگاه اردکان، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، ۰۳۵-۳۲۲۰۹۱۱، [ssoltani@ardakan.ac.ir](mailto:ssoltani@ardakan.ac.ir) (مسئول

## مقدمه

خشکسالی شرایطی از کمبود بارندگی و افزایش دما است، که در هر وضعیت اقلیمی ممکن است رخ دهد. خشکسالی به عنوان یک پدیده طبیعی خزنده است که با کمبود رطوبت نسبت به شرایط نرمال به کندی آغاز شده و به آرامی گسترش می‌یابد.

با محاسبه مقادیر شاخص‌ها به صورت نقطه‌ای در ایستگاه‌های هواشناسی، می‌توان نقشه‌های خشکسالی را به صورت ناحیه‌ای ترسیم کرد. یکی از روش‌های تعمیم داده‌های نقطه‌ای به اطلاعات ناحیه‌ای استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار است. زمین‌آمار در مدل‌سازی داده‌های با همبستگی مکانی به ویژه متغیرهای خاک و متغیرهای اتمسفری کاربرد گسترده‌ای دارد. ویژگی‌های زمین‌آمار که سبب استفاده گسترده آن شده است، استوار بودن بر تغییرات محلی و در نظر گرفتن وابستگی هر نقطه در ارتباط با نقاط همسایه است (اسلامی و همکاران، ۱۳۹۳). برای این منظور از روش‌های مختلف درون‌یابی مکانی استفاده می‌شود تا از طریق روندی مشخص، مقدار در نقطه مجهول با استفاده از نقاط نمونه‌برداری شده محاسبه شود. درون‌یابی مکانی اصولاً براساس تشابه نقاط نزدیک به هم استوار است و بنابراین نقاط مجاورتاثیر بیشتری در تعیین مقدار نقطه مجهول دارد (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۳). یو و همکاران (۲۰۰۷) معتقدند نحوه استفاده از روش‌های درون‌یابی با توجه به ویژگی‌های رفتاری عناصر اقلیمی در مکان متفاوت است. این موضوع به ویژه در مورد آن گروه از عناصر اقلیمی مانند بارش که تغییرات مکانی بزرگی از خود نشان می‌دهند، از اهمیت بیشتری برخوردار است (Yue et al., 2007). وانگ و همکاران (۲۰۱۵) به ارزیابی پویایی خشکسالی و اثرات آن بر پوشش گیاهی در چین از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۱ با استفاده از شاخص SPI پرداختند. نتایج نشان داد که خشکسالی در طول فصل رشد و قبل از فصل رشد باعث ایجاد اثرات منفی زیادی بر روی پوشش گیاهی گردیده است

(Wang et al., 2015). باقری و محمدی (۱۳۹۱) در بررسی توزیع مکانی خشکسالی استان کرمان، نشان دادند که روش زمین‌آمار کریجینگ بهترین روش درون‌یابی است. خسروی و همکاران (۱۳۹۱) در ارزیابی شاخص‌های  $SPI^1$  و  $SIP^2$ ،  $RAI^3$ ،  $PNI^4$  برای پهنه‌بندی شدت خشکسالی ایران با مقایسه دو روش درون‌یابی عکس فاصله و مدل ارتفاعی رقومی مشخص کردند که شاخص‌های PNI و RAI از حساسیت بالاتری برخوردار بوده و توزیع مکانی شدت خشکسالی را با دقت بیشتری به نمایش گذاشته‌اند. بذرافشان و همکاران (۱۳۹۰) وضعیت خشکسالی استان گلستان را با شاخص بارش استاندارد بررسی کرده و با تکنیک‌های زمین‌آمار آن‌را پهنه‌بندی کردند. زمانی و همکاران (۱۳۹۱) شاخص‌های ناهنجاری بارش و دهک بارش را با روش‌های زمین‌آمار در استان فارس بررسی و نقشه خشکسالی را ترسیم کردند. نتایج نشان‌دهنده ارجحیت روش کریجینگ معمولی و روش عکس فاصله نسبت به سایر روش‌ها بود. ذبیحی و همکاران (۱۳۹۰) توزیع مکانی بارندگی سالانه در استان قم را با استفاده از دو روش کریجینگ و عکس فاصله با توان‌های (۱ تا ۲) ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که در محدوده مورد مطالعه روش کریجینگ، مناسب‌ترین روش تخمین بارندگی سالانه است. چنگ و همکاران (۲۰۰۸) به منظور تخمین میانگین منطقه ای بارش و تخمین نقطه‌ای در مناطق بدون ایستگاه، به ارزیابی شبکه باران‌سنجی با کاربرد روش‌های زمین‌آمار پرداختند. تحلیل واریوگرام نشان داد که بارش ساعتی از تغییرات مکانی بالاتری نسبت به بارش‌های سالانه برخوردار است (Cheng et al., 2008). دیاداتو و سسرالی (۲۰۰۵) با کاربرد روش‌های زمین‌آمار چند متغیره به تهیه نقشه های مکانی بارش در کوه‌های سانویو واقع در ایتالیای

<sup>1</sup> Standardized Precipitation Index (SPI)

<sup>2</sup> Standard Index of Annual Precipitation (SIP)

<sup>3</sup> Rainfall Anomaly Index (RAI)

<sup>4</sup> Percentage of Normal Precipitation Index (PNI)

شمال به جمهوری آذربایجان و ترکیه و از مغرب به کشورهای ترکیه و عراق، از شرق به استان آذربایجان شرقی و زنجان و از قسمت جنوبی به استان کردستان محدود می‌شود. این استان دارای مساحت ۳۷۲۱۰ کیلومتر مربع که تقریباً ۲/۲۵ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود. این استان یکی از مناطق کوهستانی کشور است و توپوگرافی متنوع و گسترده‌ای دارد. بر اساس ساختار طبیعی استان، اکوسیستم‌های ویژه‌ای از ترکیب گیاهان در سطوح مختلف پوشش گیاهی در سطوح مختلف توپوگرافی به وجود آمده‌است که اهم آن‌ها به شکل جنگل‌ها و مراتع خودنمایی می‌کنند. در این پژوهش برای بررسی شدت و فراوانی خشک‌سالی در استان آذربایجان غربی از داده‌های بارش با دوره آماری مشترک ۱۱ ساله از سال ۱۳۸۳ تا سال ۱۳۹۳ به صورت سالانه از ۱۳ ایستگاه سینوپتیک در سطح استان استفاده شده است. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) و شکل (۱) نشان داده شده است.

### تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری

از روش‌های درون‌یابی مکانی استفاده می‌شود تا از طریق روندی مشخص، مقدار در نقطه مجهول با استفاده از نقاط نمونه‌برداری شده محاسبه شود. این روش‌ها اصولاً بر اساس تشابه نقاط نزدیک به هم استوار است و بنابراین نقاط مجاور تاثیر بیشتری در تعیین مقدار نقطه مجهول دارند (وصالی و همکاران، ۱۳۹۴). روش‌های درون‌یابی بر اساس دو روش، درون‌یابی قطعی و درون‌یابی زمین آماری می‌توان تقسیم‌بندی کرد که روش‌های درون‌یابی قطعی شامل فاصله‌وزنی معکوس، توابع پایه‌ای شعاعی، روش چند جمله‌ای جهانی و روش چند جمله‌ای محلی می‌باشد. همچنین روش‌های رایج در درون‌یابی زمین آماری شامل کریجینگ و کوکریجینگ می‌باشد. در ادامه در مورد این روش‌ها توضیحات مختصری ارائه می‌شود.

شمالی پرداختند. به این منظور، افزون بر رابطه ساده رگرسیون خطی بین ارتفاع و بارش، روش وزن دهی عکس‌فاصله و کریجینگ معمولی نیز بکار رفت. ارزیابی‌ها نشان داد که روش وزن‌دهی عکس‌فاصله خطایی بیشتر از رگرسیون خطی و کریجینگ معمولی در برداشت (Diodato and Ceccarelli, 2005). مائو و همکاران (۲۰۱۷) تغییرات مکانی و زمانی خشک‌سالی را بر اساس شاخص رطوبت خاک بررسی کردند (Mao et al., 2017). برای پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی در یک منطقه، روش‌های گوناگونی وجود دارد که می‌توان از بین آن‌ها به روش کریجینگ ساده<sup>۱</sup>، کریجینگ معمولی<sup>۲</sup>، کوکریجینگ<sup>۳</sup> که دارای مدل‌های متفاوتی از جمله (کره‌ای، دایره‌ای، نمایی و گوسی) هستند و روش‌های معین مانند روش عکس‌فاصله<sup>۴</sup>، تابع پایه شعاعی<sup>۵</sup>، درون‌یابی موضعی<sup>۶</sup> و درون‌یابی عام<sup>۷</sup> اشاره نمود. در این پژوهش برای تعیین مناسب‌ترین روش برای پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی از روش‌های قطعی و زمین-آماري استفاده شده است. با بکارگیری هریک از روش‌های مذکور سعی بر آن شده است تا بهترین روش پهنه‌بندی برای بررسی شدت خشک‌سالی استان آذربایجان غربی برای مهم‌ترین شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی شامل SPI، ZSI کوتاه مدت سه ماه و همچنین شاخص PNI مشخص شود. این شاخص‌ها ساده‌ترین شاخص‌ها برای بررسی خشک‌سالی یا ترسالی در یک مکان یا فصل معین می‌باشند.

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت منطقه

استان آذربایجان غربی یکی از استان‌های شمال غرب کشور با طول جغرافیایی ۳۱° ۴۴' و ۲۹' ۴۷° شرقی و عرض ۳۹' ۴۷° و ۳۵' ۵۶° شمالی که از

<sup>1</sup> Simple Kriging (SK)

<sup>2</sup> Ordinary Kriging (OK)

<sup>3</sup> Co-Kriging (CK)

<sup>4</sup> Inverse Distance Square Weighted (IDW)

<sup>5</sup> Radial Basis Function (RBF)

<sup>6</sup> Local Polynomial Interpolation (LPI)

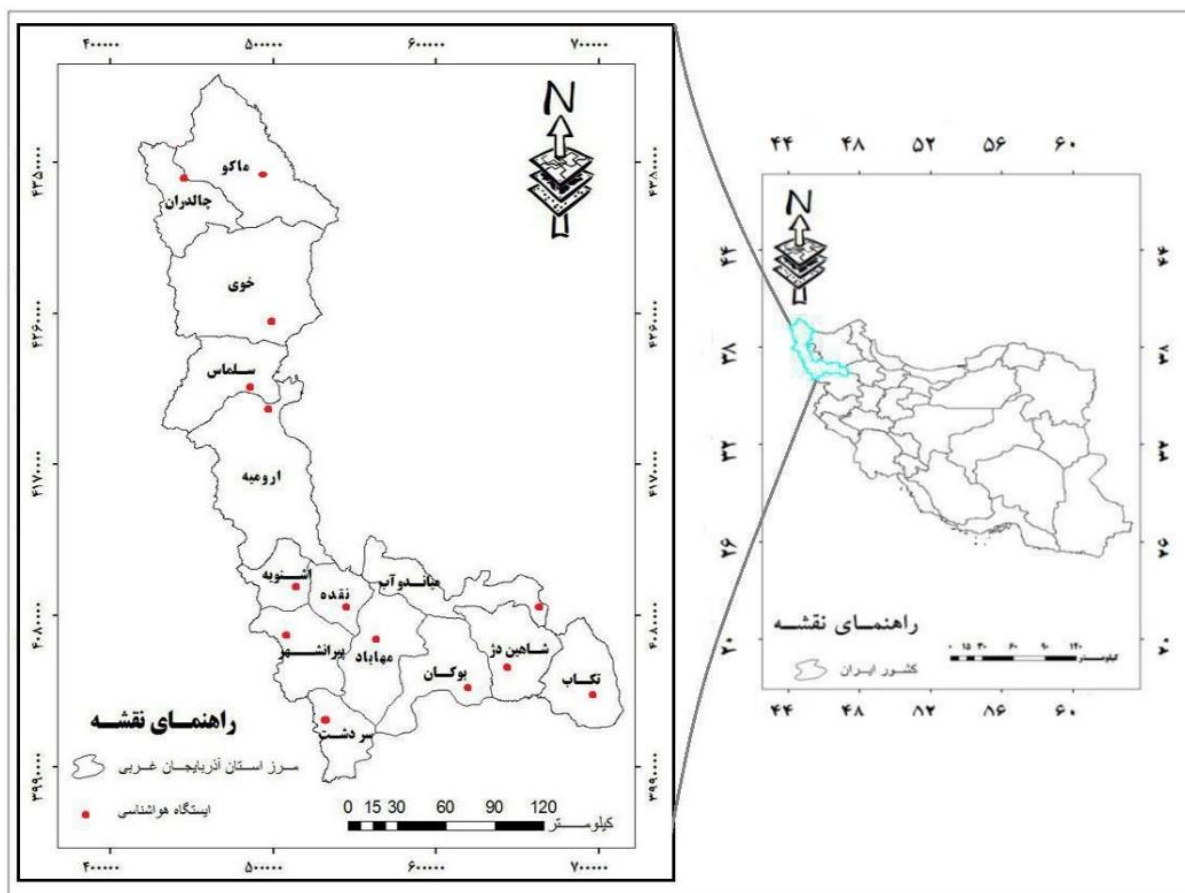
<sup>7</sup> Global Polynomial Interpolation (GPI)

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{D_i^q} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{D_i^q}} \quad (1)$$

در این رابطه،  $Z$  مقدار درون‌یابی شده برای نقطه مورد نظر،  $Z_i$  مقدار اندازه‌گیری شده یا ارزش نمونه در نقطه  $D_i$ ، ( $i=1, \dots, n$ )، فاصله بین نقطه مورد نظر و نقطه اندازه‌گیری شده اطراف آن و  $q$  ثابت مناسب است.

### روش عکس فاصله وزنی

در این روش معیار استفاده از نقاط مجاور برای تعیین مقدار متغیر مورد نظر در نقطه مجهول، میزان فاصله است (رابطه ۱). بر این اساس نقاط نزدیک‌تر وزن و در نتیجه اثر بیشتری بر مقدار آن متغیر دارند (Yue et al., 2007).



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول (۱): آمار و موقعیت ایستگاه‌ها سینوپتیک منطقه

شهرستان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
ماکو	۴۴/۲۳	۳۹/۲۳	۱۴۱۱/۲
چالدران	۴۴	۳۹/۰۴	۱۸۸۵/۵
خوی	۴۵	۳۸/۳۳	۱۱۰۳/۴
سلماس	۴۴/۵۱	۳۸/۱۳	۱۳۳۹/۳
ارومیه	۴۵/۰۳	۳۷/۰۴	۱۳۲۸
اشنویه	۴۵/۰۸	۳۷/۰۳	۱۴۱۶
نقده	۴۵/۲۵	۳۶/۵۷	۱۳۰۷
پیرانشهر	۴۵/۰۹	۳۶/۴۲	۱۴۴۴
سردشت	۴۵/۲۹	۳۶/۰۹	۱۵۵۷
مهاباد	۴۵/۴۳	۳۶/۴۵	۱۳۵۱/۸
بوکان	۴۵/۱۴	۳۶/۳۲	۱۳۸۶/۱
میاندوآب	۴۶/۰۹	۳۶/۵۷	۱۳۷۱
شاهین دژ	۴۶/۳۱	۳۶/۳۷	۱۳۹۰
تکاب	۴۵/۰۳	۳۶/۲۴	۱۸۱۷/۲

به فرد این روش می‌توان قسمت‌هایی را که در آنجا خطا زیاد بوده و برای کاهش آن به داده‌های بیشتری نیاز است مشخص نمود (نبی‌پور و وفاخواه، ۱۳۹۵).

### مدل کریجینگ معمولی

یکی از روش‌های استفاده شده کریجینگ معمولی است که بهترین تخمینگر خطی ناریب نام گرفته است. روش فوق یک روش تخمین زمین‌آماری است که با استفاده از مقادیر معلوم و یک نیم تغییرنما، مقادیر مجهول را برآورد می‌کند. نیم تغییرنما واریانس وابسته به فاصله است که بانماد  $\gamma$  نشان داده می‌شود. اگر واریانس بین نقاطی به فاصله  $h$  کوچک باشد نشانه وابستگی بیشتر بین نقاط است. نیم تغییرنما با نماد  $\gamma$  نشان داده می‌شود و به شرح زیر محاسبه می‌گردد.

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

در صورتی که  $q$  برابر با عدد ۱ یا ۲ فرض شود، روش بکار رفته به ترتیب روش درون‌یابی معکوس فاصله یا درون‌یابی مجذور معکوس فاصله خوانده می‌شود. در این تحقیق برای توان وزن دهی از ۱ تا ۵ استفاده شده است.

### روش کریجینگ

این روش متکی بر میانگین متحرک وزنی است که علاوه بر مقادیر برآورد شده، میزان خطای تخمین در هر نقطه را نیز مشخص می‌نماید. در چند دهه گذشته روش کریجینگ، ابزاری بنیادین و کارآمد در بین روش‌های زمین‌آمار بوده است. این روش نیز با وزن‌دهی به داده‌های اطراف نقطه مورد برآورد، کمیت مجهول را به دست می‌آورد. با این تفاوت که در روش‌های دیگر، وزن‌دهی بر اساس یک الگوریتم ساده بوده در حالیکه در این روش وزن‌ها از روش پیچیده و خبره‌تری به دست می‌آیند. استفاده از ویژگی منحصر

نکرده است. کوکریجینگ نیز مانند کریجینگ به دو صورت نقطه‌ای و بلوکی انجام می‌شود، در واقع می‌توان گفت همانطور که در آمار کلاسیک روش‌های چند متغیره وجود دارد در زمین‌آمار نیز می‌توان به روش کوکریجینگ، همبستگی بین متغیرهای مختلف را تخمین زد، البته شرط استفاده از این روش این است که همبستگی بین دو متغیر بیش از ۶۰ درصد است (Nalder and Wein, 1998).

### تابع پایه شعاعی

شبکه‌های توابع پایه شعاعی دارای پایه ریاضیاتی بسیار قوی بر مبنای فرضیه منظم‌سازی برای حل مسائل مشکل هستند. این شبکه‌ها، تقریباً به طور کلی، از سه لایه، شامل لایه‌های ورودی، مخفی و خروجی تشکیل شده‌اند. توابع پایه شعاعی منظم به عنوان تابع تحریک نرون‌های لایه مخفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شبکه به گونه‌ای سازمان یافته‌اند که تبدیلات در واحدهای مخفی در حکم مجموعه‌هایی از توابع به منظور نگاشت الگوهای ورودی به الگوهای خروجی انجام می‌گیرند (Aguilar et al., 2005).

### روش چند جمله‌ای جهانی

درونیایی چند جمله‌ای برآزش دهنده یک سطح هموار توسط توابع ریاضی روی نقاط ورودی است. تغییرات سطح در چند جمله‌ای جهانی تدریجی است. این روش اثرات تغییرات ناگهانی در داده‌ها را کاهش می‌دهد در درونیایی جهانی فقط یک چند جمله‌ای بر تمامی داده‌ها برآزش می‌شود (Apaydin et al., 2004).

### روش چند جمله‌ای محلی

این روش نیز همانند روش چند جمله‌ای جهانی از تابع چند جمله‌ای برای درونیایی استفاده می‌کند. تنها تفاوت این دو روش در آن است که در این روش، تعداد زیادی چندجمله‌ای بر داده‌های

که در آن  $\gamma(h)$  مقدار نیم تغییرنا در فاصله  $Z(h, xi)$  مقدار مشاهده شده متغیر مورد نظر که به فاصله  $h$  از  $Z(xi)$  قرار دارد،  $Z(xi)$  مقدار مشاهده شده متغیر مورد نظر،  $N(h)$  تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته در محاسبه که در فاصله  $h$  از یکدیگر قرار دارند می‌باشد. معمولاً هرچه  $h$  افزایش یابد تعداد جفت‌ها کم می‌شود. با افزایش  $h$ ، مقدار نیم تغییرنا تا فاصله معینی اضافه می‌شود و پس از آن به حد ثابتی می‌رسد که حد آستانه نامیده می‌شود (وصالی و همکاران، ۱۳۹۴). تیودوسیو و لاتینوپولوس (۲۰۰۶) معتقدند مدل کریجینگ وزنی، نه تنها تابع فاصله بین نقاط مشاهده شده و پیش بینی شده است بلکه به ساختار فضایی نقاط نیز وابسته است. به همین دلیل کریجینگ از مدل‌های درونیایی زمین‌آمار است. این روش دارای الگوریتم‌های مختلفی است که رابطه کلی آن بصورت زیر است.

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(S_i) \quad (3)$$

در این رابطه  $Z(S_i)$  مقدار اندازه گیری شده در موقعیت  $i_{th}$  است و  $\lambda_i$  وزن مقدار اندازه گیری شده در موقعیت  $i_{th}$  است؛ همچنین  $S_0$  واقعیت پیش‌بینی و  $N$  تعداد نقاط اندازه گیری شده یا معلوم است. در این روش ابتدا واریوگرام مناسب به ساختار فضایی داده‌ها بر اساس کمترین میزان RMSE برآزش داده شده و بعد درونیایی انجام می‌شود (Theodossiou and Latinopoulos, 2006).

### کوکریجینگ

در برخی موارد ممکن است از یک متغیر به اندازه کافی نمونه‌برداری نشده باشد و بر اساس آنها نمی‌توان تخمین را با دقت مورد نظر انجام داد؛ در چنین مواردی می‌توان به کمک متغیرهای ثانوی و با استفاده از همبستگی متقابل بین متغیرهای اصلی و ثانوی، تخمین را اصلاح کرد. البته بدلیل مشکلاتی که در مدل‌سازی واریوگرامی متقابل متغیرها وجود دارد، روش کوکریجینگ به لحاظ کاربردی اعتبار کافی پیدا

محدوده‌های یک همسایگی معین، برازش داده می‌شود (Nalder and Wein, 1998).

### تخمین عام

این روش مدلی را بر نقاط نمونه برداری برازش می‌کند که می‌تواند یک سطح چند ضلعی با توان ۱ تا ۴ باشد. بهترین کاربرد این روش در سطوح با تغییرات ملایم و تدریجی است. روش‌های مختلف میان‌یابی بر اساس روش ارزیابی متقابل مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. در این روش یک نقطه به صورت موقت حذف شده و با اعمال میان‌یابی مورد نظر برای آن نقطه، مقداری برآورد می‌گردد. سپس مقدار حذف شده به جای خود برگردانده شده و برای بقیه نقاط به صورت مجزا این برآورد صورت می‌گیرد به طوری که در پایان جدولی با دو ستون که نشان دهنده مقادیر واقعی و برآورد شده می‌باشد، حاصل می‌گردد (وصالی و همکاران، ۱۳۹۴).

معیارهای ارزیابی استفاده شده در این مطالعه بر اساس پارامترهایی از قبیل میانگین خطای اریب یا انحراف (MBE)، جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPE) اشاره کرد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Z_i^* - Z_i)^2}{n}} \quad (۴)$$

$Z^*(X_i)$ : مقدار تخمین زده شده و  $Z(X_i)$ : مقدار مشاهده شده در نقطه  $i$  ام و  $n$  تعداد مشاهدات می‌باشد. اصولاً مناسب ترین روش درونیابی، روشی است که مقادیر RMSE حداقل مقدار را داشته باشند.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (E_s - E_o)}{N} \quad (۵)$$

$$MAPE = \frac{100}{N} \times \sum_{i=1}^N \left| \frac{E_s - E_o}{E_s} \right| \quad (۶)$$

$E_s$ ، مقادیر تخمینی،  $E_o$  مقادیر مشاهده،  $N$  تعداد داده است.

آزمون شاپیرو-ویلک، اصل فرض صفر را به کار می‌گیرد تا بررسی کند که آیا یک نمونه  $x_1, \dots, x_n$  از یک جامعه دارای توزیع طبیعی ناشی می‌شود یا نه.

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_{(i)} - \bar{x})^2} \quad (۷)$$

$i$  آمار ترتیبی،  $\bar{x}$  میانگین نمونه می‌باشد

در این تحقیق از آمار مشترک ۱۱ ساله از سال ۱۳۸۳ تا سال ۱۳۹۳ به عنوان دوره مشترک آماری انتخاب گردید سپس به کمک سه شاخص، شدت خشکسالی برای ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه مشخص شد و درگام نخست نرمال بودن داده‌های شدت خشکسالی بررسی شدند. سپس برای پهنه بندی شدت خشکسالی از نرم افزار ARC GIS 9.3 و برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون آماری کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد.

### بحث و نتایج

مطالعه اثر خشکسالی و اثرات مخربی زیست محیطی که بجا می‌گذارد می‌تواند یک هشدار جدی برای مدیران و برنامه ریزان کشور باشد. یکی از راهکارهای مطالعه این پدیده مخرب پایش و پهنه بندی شدت و فراوانی‌های مختلف خشکسالی با استفاده از شاخص‌های مناسب در زمینه خشکسالی و روش درونیابی با استفاده از تکنیک‌های زمین آماری در GIS می‌باشد. در این پژوهش با بررسی روش‌های موجود در پهنه‌بندی به صورت قطعی و زمین آماری و همچنین شاخص‌های رایج در بررسی خشکسالی مثل شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص ZSI و شاخص PNI شدت خشکسالی در سطح استان پهنه‌بندی شده است. برای این کار ابتدا با استفاده از آزمون آمون کلموگروف-اسمیرنوف به بررسی نرمال بودن داده‌های شدت خشکسالی پرداخته شد و نتایج در جدول (۲) نشان داده شده است. با توجه با مقدار Sig که بیشتر از ۰/۰۵ می باشد. داده‌های حاصل

سال هفتم • شماره بیست و هفتم • بهار ۱۳۹۶

تعداد کم ایستگاه‌های سینوپتیک استان برای انتخاب بهترین روش پهنه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس مقدار کم خطای RMSE مناسب‌ترین روش برای پهنه‌بندی شدت خشکسالی را روش عکس‌فاصله وزنی می‌توان معرفی کرد.

جدول (۲): آزمون نرمال بوده داده‌های شدت خشک-سالی

شاخص خشک‌سالی	کلموگروف-اسمیرنوف	N	Siq
SPI	۱۳	۰/۱۹۴	
ZSI	۱۳	۰/۰۹۰	
PNI	۱۳	۰/۲۰۵	

شدت خشک‌سالی استان در سطح اطمینان ۰/۹۹ نرمال هستند.

### نتایج ارزیابی روش‌های مختلف درون یابی

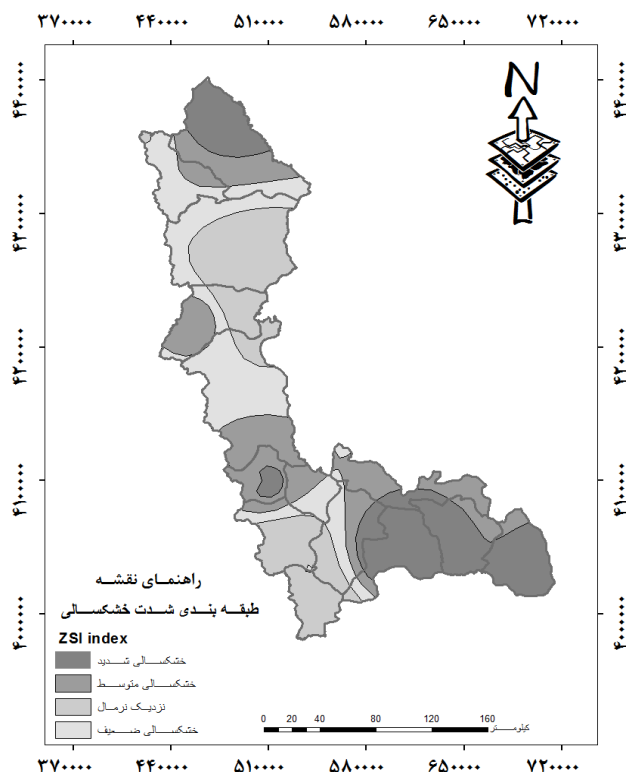
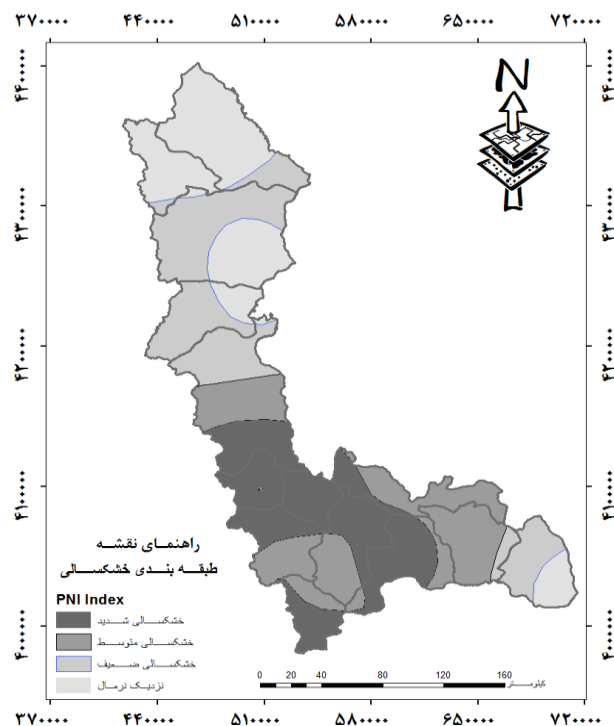
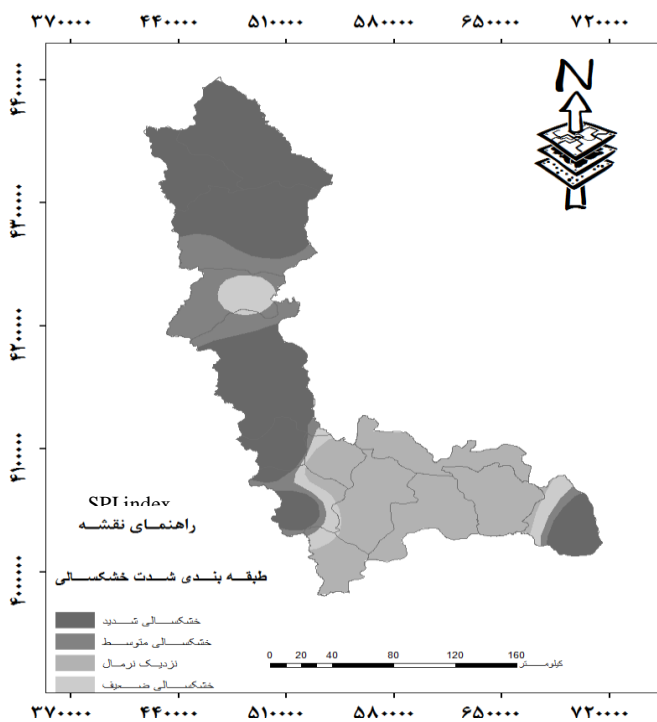
پس از انجام محاسبات نتایج روش‌های مختلف درون یابی قطعی عکس فاصله، درون یابی موضعی و عام با توان وزن دهی یک تا پنج همچنین روش تابع شعاعی با مدل‌های موجود، توابع نواری کاملاً منظم، چند ربعی معکوس، چند ربعی، نواری با کشش و نواری با ضخامت کم مورد ارزیابی قرار گرفت که در بین روش‌های مذکور برای درون‌یابی قطعی روش عکس فاصله دارای کمترین مقدار خطای RMSE، MAPE و MBE نسبت به بقیه روش‌ها می‌باشد. در جدول (۳) مقادیر خطاهای موجود برای روش عکس فاصله وزنی با توان‌های یک تا پنج نشان داده شده است. با توجه به جدول (۳) حاصل از محاسبات درون‌یابی قطعی به روش عکس فاصله مشخص شد که برای شاخص‌های SPI-3 و ZSI-3 ماهه روش عکس فاصله وزنی با توان ۲ مناسب‌ترین روش با توجه به مقدار کم خطاها می‌باشد. در شکل (۳) نقشه پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی برای شاخص‌های مذکور با استفاده از توان‌های ذکر شده برای انتخاب روش‌ها نشان داده شده است.

مقادیر عددی بدست آمده برای شدت خشک‌سالی در سطح استان آذربایجان غربی نشان می‌دهند که پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی در قسمت جنوب و جنوب غرب استان به دلیل بارندگی مناسب و وجود پوشش جنگلی دارای کمترین مقدار می‌باشد. اما در قسمت‌های شمالی و شرق استان شدت خشک‌سالی رو به افزایش است. اما برای شاخص PNI چون میانگین بارش با میانه یکی نیستند، بارش در مقیاس‌های ماهانه و سالانه توزیع نرمالی ندارد. پس این روش به دلیل نرمال نبودن داده‌های بارش، یکی از روش‌هایی است که بعد از شاخص‌های SPI و ZSI برای پهنه‌بندی قرار می‌گیرد. با توجه به روش‌های مذکور در پهنه‌بندی و داده موجود در جدول (۲) و



جدول (۳): مقادیر آماره‌های ارزیابی در روش عکس فاصله (IDW)

شخص	توان	RMSE	MAPE	MBE
PNI	۱	۰/۳۵	۰/۲۳	۰/۲
	۲	۰/۳۶	۰/۳	۰/۲۲
	۳	۰/۳۶	۰/۳	۰/۳
	۴	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۳
	۵	۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۳
SPI	۱	۰/۳۱	۰/۲۴	۰/۰۴۲
	۲	۰/۳۰	۰/۲۲	۰/۰۴۳
	۳	۰/۳۵	۰/۲۲	۰/۰۴۴
	۴	۰/۴	۰/۴۱	۰/۰۹۰
	۵	۰/۴	۰/۶۰	۰/۱۳۴
ZSI	۱	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۰۱۴
	۲	۰/۲۲	۰/۰۷	۰/۰۱۹
	۳	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۰۴۸
	۴	۰/۲۴	۰/۳۴	۰/۰۷۲
	۵	۰/۲۴	۰/۴۲	۰/۰۹۱



شکل (۳): نقشه پهنه بندی شدت خشک سالی استان آذربایجان غربی بر اساس روش IDW بر اساس هر سه شاخص

جدول (۴): مقادیر برآورد شده میانگین خطای استاندارد برای شاخص های خشک سالی کوتاه مدت

PNI		ZSI-3		SPI-3	
RMSE	مدل	RMSE	مدل	RMSE	مدل
۰/۳۵	عکس فاصله وزنی (توان ۱)	۰/۲۲	عکس فاصله وزنی (توان ۲)	۰/۳۰	عکس فاصله وزنی (توان ۲)
۱/۱۹۳	کریجینگ معمولی (دایره ای)	۱/۰۸۳	کریجینگ معمولی (دایره ای)	۰/۸۶۴۴	کریجینگ معمولی (دایره ای)
۱/۱۴۲	کریجینگ معمولی (کروی)	۱/۰۷۶	کریجینگ معمولی (کروی)	۰/۸۵۵	کریجینگ معمولی (کروی)
۲/۴۴۸	کریجینگ معمولی (گوسی)	۱/۰۸۸	کریجینگ معمولی (گوسی)	۰/۸۶۵۳	کریجینگ معمولی (گوسی)
۰/۹۸۵۷	کریجینگ ساده (دایره ای)	۱/۰۵۷	کریجینگ ساده (دایره ای)	۰/۹۵۸۴	کریجینگ ساده (دایره ای)
۰/۹۶۵۱	کریجینگ ساده (کروی)	۱/۰۵۷	کریجینگ ساده (کروی)	۰/۹۶۸۵	کریجینگ ساده (کروی)
۰/۹۷۴۸	کریجینگ ساده (گوسی)	۱/۰۴۷	کریجینگ ساده (گوسی)	۰/۹۴۶	کریجینگ ساده (گوسی)
۱/۱۹۵	کوکر جینگ (دایره ای)	۰/۹۹۴۸	کوکر جینگ (دایره ای)	۰/۹۱۳۸	کوکر جینگ (دایره ای)
۱/۱۴۵	کوکر جینگ (کروی)	۰/۹۹۰۴	کوکر جینگ (کروی)	۰/۹۱۱۸	کوکر جینگ (کروی)
۲/۴۶۹	کوکر جینگ (گوسی)	۰/۹۹۰۵	کوکر جینگ (گوسی)	۰/۹۲۶۸	کوکر جینگ (گوسی)

خشک سالی کوتاه مدت در سطح استان با توجه به روش های غیر از روش عکس فاصله وزنی معکوس در جدول (۵) نشان داده شده است. همچنین مساحت هریک از شاخص های خشک سالی در جدول (۶) بر حسب درصد نسبت به مساحت کل استان مشخص شدند. بر اساس نتایج حاصل از طبقه بندی شدت خشک سالی در استان ۴۸، ۲۵ و ۲۶ درصد استان بر اساس شاخص های SPI، ZSI و PNI دارای خشک سالی شدید در طی دوره آماری می باشد. بطور کلی تغییر کاربری اراضی در سال های اخیر و کاهش پوشش گیاهی توانسته است باعث تشدید خشک سالی در این منطقه شود.

با توجه به نتایج جدول (۴) کمترین مقدار خطا مربوط به روش عکس فاصله وزنی در مقایسه با سایر روش های درون یابی می باشد. از بین دو روش کریجینگ (ساده و معمولی) و با سه حالت (دایره ای، کروی و گوسی) برای هر سه شاخص SPI، ZSI و PNI کمترین مقدار خطا در روش کریجینگ معمولی با حالت کروی می باشد و در روش کریجینگ ساده برای دو شاخص SPI و ZSI کمترین مقدار مربوط به روش کریجینگ ساده با حالت گوسی و برای شاخص PNI کریجینگ ساده کروی روش مناسب پهنه بندی است. برای روش کوکر جینگ حالت کروی برای هر سه شاخص مناسب می باشد. مقادیر برآورد شده میانگین خطای استاندارد برای شاخص های

جدول (۵): خطای برآوردی روش‌های پهنه‌بندی

## برای شاخص‌های خشک‌سالی

شاخص SPI						
توان	GPI			LPI		
	RMSE	MBE	MAPE	RMSE	MBE	MAPE
۱	۰/۴۸۷	۰/۴۶	۳۱/۵۴	۰/۵	۰/۴۵	۱۵/۳۱
۲	۰/۷	۰/۱۱	۲۰/۹۲	۰/۴۴	۱/۰۳	۲۱/۵
۳	۱۳/۰۹	۰/۲۷	۵۳/۸۵	۱۱/۶	۰/۴	۳۵/۳
شاخص ZSI						
توان	GPI			LPI		
	RMSE	MBE	MAPE	RMSE	MBE	MAPE
۱	۰/۴۶	۰/۶۸	۱۰/۸	۰/۴۵	۰/۶۵	۱۰/۰
۲	۰/۵۱	۰/۴۵	۹/۰	۰/۴۳	۰/۴۱	۷/۱
۳	۳/۶۷	۰/۷۳	۱۲/۵	۱/۸۷	۰/۴۳	۸/۹
شاخص PNI						
توان	GPI			LPI		
	RMSE	MBE	MAPE	RMSE	MBE	MAPE
۱	۰/۴۶	۰/۴۱	۵/۵۴	۰/۵	۰/۳۶	۴/۲۶
۲	۰/۵۵	۰/۴	۳/۴۸	۰/۹۵	۰/۴۵	۵/۱
۳	۱/۶۸	۴/۹	۶/۱	۰/۸	۰/۴۵	۵/۹

جدول (۶): درصد مساحت طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی برای شاخص‌های مورد مطالعه

شاخص PNI	شاخص ZSI	شاخص SPI	طبقه خشک‌سالی
۲۶/۲۴	۲۵/۵۷	۴۸/۱۲	خشک‌سالی شدید
۲۳/۴۱	۲۴/۷۹	۶/۴۱	خشک‌سالی ضعیف
۲۵/۸	۲۵/۳۸	۱۳/۲۱	خشک‌سالی متوسط
۲۴/۵۱	۲۴/۲۶	۳۲/۲۵	حالت نرمال

## نتیجه گیری

محاسبه شدت و فراوانی خشک‌سالی را می‌توان با استفاده از شاخص‌های هواشناسی محاسبه کرد و از آنجاییکه این شاخص‌ها نیاز به متغیرهای اقلیمی و ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی دارند، قابلیت محاسبه و ثبت آن‌ها در تمامی نقاط به صورت پیوسته وجود ندارد. برای رفع نقص و کمبودهای موجود در عرصه‌های پارامترهای اقلیمی می‌توان از روش‌های درون‌یابی فضایی استفاده کرد. اما هرکدام از روش‌های فضایی برای درون‌یابی از روابط خاص مربوط به خود استفاده می‌کند؛ که نتیجه حاصله به حالت‌های مختلف نمایش داده می‌شود. پس در گام اول باید با استفاده از شاخص خشک‌سالی شدت خشک‌سالی را حساب سپس برای مقایسه روش‌های درون‌یابی از

روش‌های زمین‌آماري و درون‌یابی قطعی که هرکدام دارای حالات مختلفی می‌باشند استفاده کرد. در این مطالعه پس از انجام محاسبات و بررسی شدت خشک‌سالی و درون‌یابی با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آماري و قطعی مشخص شد که روش عکس فاصله در شاخص SPI دارای کمترین مقدار RMSE با توان دو که برابر ۰/۲۲ و در شاخص ZSI با توان دو برابر ۰/۳ و در نهایت در شاخص PNI با توان یک دارای ۰/۳۶ می‌باشد که نسبت به روش‌های دیگر در برآورد شدت خشک‌سالی دارای کمترین مقدار RMSE بوده است. پس در پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی در استان آذربایجان غربی روش عکس فاصله وزنی روش مناسبی برای نمایش شدت خشک‌سالی می‌باشد. طبق نتایج به دست آمده در این

مقایسه کردند. با توجه به تعداد زیاد ایستگاه‌ها روش کریجینگ از دقت بالاتری برخوردار بود. خسروی و همکاران (۱۳۹۱) در ارزیابی شاخص‌های خشک‌سالی برای پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی روش عکس فاصله را روشی مناسب برای معرفی شدت خشک‌سالی معرفی کردند. نبی‌پور و وفاخواه (۱۳۹۵) برای پهنه بندی حداکثر بارش ۲۴ ساعته روش عکس فاصله را بهترین روش ارزیابی کردند. بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده روش کریجینگ و عکس فاصله دارای نتایج بهتری نسبت به سایر روش‌های زمین آمار در پهنه بندی متغیرهای اقلیمی از جمله خشک‌سالی هستند.

مطالعه و مطالعات دروگو و همکاران (۲۰۰۲)، دیاداتو و سسرالی (۲۰۰۵) و چنگ و همکاران (۲۰۰۸) در مناطق مختلف و در مورد پارامترهای مختلف، نمی‌توان روش واحدی به‌راستی مناسب‌ترین روش انتخاب کرد و انتخاب مناسب‌ترین روش درون‌یابی پارامترهای هواشناسی به خصوصیات منطقه‌ای نیز بستگی دارد و استفاده از این روش‌ها منوط به استفاده از ایستگاه‌های کافی و با فاصله کم است تا پهنه‌بندی از دقت و اعتبار لازم برخوردار باشد. امیدوار و همکاران (۱۳۹۳) برای پهنه بندی خشک‌سالی دو روش کریجینگ معمولی و روش عکس فاصله را

### منابع

- اسلامی، ح.، ع.، سلاجقه، ش.، خلیقی سیگارودی، ح. احمدی، و ش. ایوبی. ۱۳۹۳. بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های فرساینده‌گی باران با استفاده از زمین‌آمار در استان خوزستان، مرتع و آبخیزداری، ۶۷(۳): ۳۹۳-۴۰۶.
- امیدوار، ک.، ر. ابراهیمی، و ف. راستی. ۱۳۹۳. ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در پهنه بندی شدت خشک‌سالی (مطالعه موردی مناطق شمالغرب و مرکزی ایران). فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۵(۱۷): ۳۰-۴۳.
- باقری، ر.، و ص. محمدی. ۱۳۹۱. بررسی تغییرات مکانی خشک‌سالی با استفاده از زمین‌آمار در استان کرمان در یک دوره آماری سی ساله. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۸(۳): ۳۸۹-۳۹۲.
- بذرافشان، ا.، م.، محسنی ساروی، آ. ملکیان، و ا. معینی. ۱۳۹۰. بررسی وضعیت خشک‌سالی استان گلستان با استفاده از شاخص بارش استاندارد. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۸(۳): ۴۰۷-۳۹۵.
- خسروی، م.، ع. موقری، و م. منصوره دانشور، ۱۳۹۱. ارزیابی شاخص‌های SPI و RAI، PNI برای پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی ایران با مقایسه دو روش درون‌یابی IDW و مدل ارتفاعی رقومی DEM، جغرافیا و پایداری محیط. ۵: ۳۰-۵۲.
- زمانی، ر.، ع. م.، آخوندعلی، ک.، سلیمانی، ف. انصاری، و پ. اله بخشیان. ۱۳۹۱. کاربرد زمین‌آمار در پهنه بندی شدت‌های خشک‌سالی (مطالعه موردی: استان فارس). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۳(۶): ۲۹-۱۵.
- ذبیحی، ع.، ک. سلیمانی، م. شعبانی، و ص. ابروش. ۱۳۹۰. بررسی توزیع مکانی بارش سالانه با استفاده از روش‌های زمین‌آمار مطالعه موردی: استان قم. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۹(۱): ۱۳۱-۱۱۳.
- نبی‌پور، ی.، م. وفاخواه. ۱۳۹۵. مقایسه روش‌های مختلف زمین‌آمار برای برآورد بارندگی در حوزه آبخیز حاجی قوشان. مرتع و آبخیزداری، ۶۹(۲): ۵۰۲-۴۸۷.
- وصالی، ع.، ر. قضاوی، م. ح.، رستم، حیدری، ا.، علمدارلو، ر. باقری فهرجی. ۱۳۹۴. انتخاب بهترین روش میان‌یابی برای پهنه‌بندی بارش سالانه در ایران. فصلنامه بین‌المللی پژوهشی تحلیلی منابع آب و توسعه. ۳(۲): ۱۶۹-۱۸۸.
- Aguilar, F. J., F. Agüera, M. A. Aguilar and F. Carvajal. 2005. Effects of Terrain Morphology, Sampling Density, and Interpolation Methods on Grid DEM Accuracy. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 71(7): 805-816.
- Apaydin, H., K., Sonmez, and E. Yildirim. 2004. Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey. Journal of Climate Research, 28: 31-40.

- Cheng, K. S., Lin, Y. C., and Liou, J. J. 2008. Rain-gauge network evaluation and augmentation using geostatistics. *Hydrological Process*, 22(14): 2554-2564.
- Diodato, N., and M. Ceccarelli. 2005. Interpolation processes using multivariate geostatistics for mapping of climatological precipitation mean in the Sannio Mountains (southern Italy). *Earth Surface Processes and Landforms*, 30(3): 259-268.
- Drogue, G., J., Humbert, J., Deraysme, N., Mahr, and N. Freslon. 2002. A statistical topographic model using an omnidirectional parameterization of the relief for mapping orographic rainfall. *International Journal of Climatology*, 22(5): 599-613.
- Mao, Y., Zh., Wu, H., He, G., Lu, H., Xu, Q. Lin. 2017. Spatio-temporal analysis of drought in a typical plain region based on the soil moisture anomaly percentage index. *Science of The Total Environment*, 756: 752-765.
- Nalder, I. A., and R. W. Wein. 1998. Spatial interpolation of climatic norms: Test of a new method in the Canadian boreal forest. *Agricultural and Forest Meteorology*. 92(4): 211-225.
- Theodossiou, N., P. Latinopoulos, 2006. Evaluation and optimization of groundwater observation networks using the Kriging methodology. *Environmental Modelling and Software*, 21(7): 991-1000.
- Yue, T. X., Z. P., Du, D. J., Song, and Y. Gong, 2007. A new method of surface modeling and its application to DEM construction. *Geomorphology*, 91(1-2): 161-172.
- Wang, H. A. Chen, Q. Wang, and B. He. 2015. Drought dynamics and impacts on vegetation in China from 1982 to 2011. *Ecological Engineering* 75: 303-307.

## Evaluation of geostatistical methods in mapping the severity of the drought in West Azerbaijan province

Aref Saberi<sup>1</sup>, Somayeh Soltani-Gerdefaramarzi<sup>2</sup> \*

### Abstract

Drought as a complex event that caused by the occurrence of one or more of the dry period, has the adverse effects of economic, social and environmental in a short period of time. Investigation of the drought spatial variability using appropriate indicators can help to the correct management of drought. In this study, using data obtained from the drought indicators of short-term (3-months) SPI, ZSI and PNI, drought severity zoning map was obtained using the geostatistical methods in GIS software for West Azerbaijan Province. The results showed that among the geostatistical interpolation and definitive methods, the method of inverse distance weighting (IDW) with 2 power for ZSI and SPI index has the lowest error of RMSE, MAPE and MBE compared to other interpolation methods. The least estimated amount of RMSE for each indicator was calculated respectively 0.22, 0.3 and 0.36. The zoning maps showed that the south and southwest of West Azerbaijan Province have less drought due to the focus of forests and the good rainfall in these areas whereas was observed more drought in the north and northeast of province than other regions in West Azerbaijan Province. According to SPI index, 48.12 % of the province consist of the severe drought and 32.25 % has normal drought conditions.

**Keywords:** Zoning, IDW, Geostatistical, Drought, Indicator, GIS.

---

<sup>1</sup> Master science student, Department of Watershed Management, Collage of agriculture and natural resource, Ardakan University, Aref.sabri.2714@gmail.com

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Watershed Management, Collage of agriculture and natural resource, Ardakan University, [ssoltani@ardakan.ac.ir](mailto:ssoltani@ardakan.ac.ir) (Corresponding author)