

مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال پنجم، شماره هفتم، بهار ۱۳۹۵

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۱/۳۰

صفحات: ۱۱-۲۴

ارزیابی انواع روش های درون یابی به منظور پهنه بندی خشک سالی هواشناسی در دشت ساری - نکا

مهشید کریمی^۱، دکتر کاکا شاهی^{۲*}، خه بات خسروی^۳، تریفه ادیسی^۴

چکیده

خشک سالی یک پدیده طبیعی و قابل تکرار است که فرآیندهای مختلف زیست-محیطی را تحت تأثیر قرار داده است؛ به همین دلیل بایستی به طور گسترده مورد بررسی قرار گیرد. هدف از این تحقیق، بررسی وضعیت خشک سالی هواشناسی با به کارگیری چهار شاخص خشک سالی و همچنین انتخاب مناسب ترین روش از میان روش های مختلف درون-یابی به منظور پهنه-بندی خشک سالی در دشت ساری-نکا می-باشد. برای این منظور، از آمار ۱۰ ایستگاه هواشناسی موجود در دشت ساری-نکا و چهار شاخص خشک سالی ZSI, RAI, CZI و PNPI جهت ارزیابی و تحلیل خشک سالی استفاده شد. نتایج نشان داد که مقادیر دو شاخص ZSI و CZI در تمامی ایستگاه-ها اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند و تقریباً بر هم منطبق می-باشند و شاخص RAI تشابه بیشتری با شاخص PNI داشته است. همچنین نتایج نشان داد که در اکثر ایستگاه-ها بعد از سال ۱۳۷۷ خشک سالی هواشناسی شدت یافته است و شدیدترین خشک سالی-طبق مقادیر به دست آمده از هر یک از شاخص-های خشک سالی در سال ۱۳۸۴ رخ داده است. در نهایت به منظور ارزیابی روش-های مختلف درون-یابی جهت تهیه نقشه های پهنه-بندی خشک سالی، روش-های زمین-آمار کریجینگ ساده، معمولی، عکس فاصله با درجات ۱ تا ۵، تابع شعاعی و درون-یابی چند جمله ای کلی به کار گرفته شد. بر اساس دو معیار ارزیابی RMSE و MAE برای شاخص های SPI, ZSI و CZI روش کریجینگ ساده و برای شاخص PNPI روش تابع شعاعی به عنوان مناسب ترین روش از بین سایر روش های درون-یابی برای هر یک از شاخص های مورد بررسی انتخاب شد.

واژگان کلیدی: خشک سالی، زمین-آمار، کریجینگ، پهنه-بندی، دشت ساری -نکا

^۱ - دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

k.shahedi@sanru.ac.ir

^۲ - دانشیار گروه آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

^۳ - دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

^۴ - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سردشت، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، سردشت.

مقدمه

خشک‌سالی یک بلای طبیعی خزنده است. این پدیده موجب کمبود آب برای برخی فعالیت‌ها، گروه‌ها و محیط‌زیست می‌شود (خشوعی اصفهانی و همکاران، ۱۳۹۵). این رخداد در بین بلایای طبیعی به آهستگی آثار خود را آشکار می‌کند و اثرات آن طولانی و ماندگار می‌باشد که همین ویژگی این پدیده را از سایر پدیده‌ها مثل سیل و طوفان متمایز ساخته است (دای^۱، ۲۰۱۰). خشک‌سالی را می‌توان به چهار نوع، خشک‌سالی هواشناسی، خشک‌سالی هیدرولوژیکی، خشک‌سالی کشاورزی و خشک‌سالی اقتصادی-اجتماعی تقسیم کرد (ویلپهیت و گلانز^۲، ۱۹۸۵). در خصوص بررسی خشک‌سالی شاخص‌های زیادی ارائه شده است، از معروف‌ترین آنها می‌توان به شاخص پالمر^۳ (۱۹۶۵)، شاخص دهک (DI)^۴ (گیبیس و ماهر^۵، ۱۹۶۷) و شاخص بارش استاندارد (SPI) (مک‌کی^۶ و همکاران، ۱۹۹۳) اشاره نمود. اما هیچ‌کدام از شاخص‌های مهم به طور ذاتی برتر از بقیه شاخص‌ها نیست، بلکه هر کدام از آنها برای کاربرد خاص خود مناسب‌تر از دیگر شاخص‌هاست. هر یک از شاخص‌ها براساس به‌کارگیری پارامترهای هواشناسی و روش‌های محاسباتی متفاوتی طراحی شده‌اند. در واقع اعتبار پارامترهای هواشناسی فقط برای همان نقطه‌ای است که اندازه‌گیری می‌شوند؛ بنابراین جهت تخمین مقدار پارامترهای هواشناسی در مکان‌های دیگر و در نهایت پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی یک منطقه بایستی از روش‌های درون‌یابی استفاده نمود (حمیدیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۲؛ امیدوار و همکاران، ۱۳۹۳). پژوهش‌های گوناگونی در داخل و خارج از ایران در مورد کاربرد شاخص‌های خشک‌سالی و پهنه‌بندی شدت آن با استفاده از روش‌های گوناگون درون‌یابی انجام شده است که به برخی از آنها اشاره می‌شود. شعبانی (۱۳۸۸) کاربرد روش‌های زمین‌آمار در پهنه‌بندی شدت‌های خشک‌سالی را مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد روش کریجینگ ساده (SK)^۸، به دلیل دارا بودن کمترین جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE)، دقیق‌ترین و مناسب‌ترین روش جهت تهیه نقشه شدت خشک‌سالی در استان فارس در سال ۱۳۸۶ می‌باشد. زمانی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی به بررسی کاربرد زمین‌آمار در پهنه‌بندی شدت‌های خشک‌سالی پرداختند. نتایج نشان داد که در پهنه‌بندی خشک‌سالی بر اساس شاخص DI، روش کریجینگ معمولی (OK)^۹ و در مورد شاخص ناهنجاری بارش (RAI)^{۱۰}، روش فاصله معکوس وزن‌دار (IDW)^{۱۱} دارای نتایج بهتری نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی می‌باشند. میرموسوی و میریان (۱۳۹۰) به بررسی کاربرد روش‌های زمین‌آمار در مطالعات توزیع مکانی بارش در استان کرمان پرداختند. در این پژوهش از روش‌های کریجینگ و روش فاصله معکوس وزن‌دار استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که روش کریجینگ با سطح خطای پایین‌تر روش مناسب‌تری برای درون‌یابی بارش در این منطقه می‌باشد. حمیدیان‌پور و همکاران (۱۳۹۲) کاربرد انواع روش‌های درون‌یابی را به منظور پایش و تحلیل فضایی خشک‌سالی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بهترین روش برای درون‌یابی شدت خشک‌سالی، روش کریجینگ معمولی می‌باشد؛ چراکه در اکثر ماه‌ها دارای کمترین خطا بوده و در واقع این روش دارای کمترین انحراف می‌باشد. سیوندی و قره‌داغی (۲۰۱۴) در تحقیقی به ارزیابی عملکرد چند شاخص خشک‌سالی هواشناسی در جنوب استان خوزستان و پهنه‌بندی آن با استفاده از GIS پرداختند. برای این هدف از

¹- Dai

²-Wilhite & Glantz

³- Palmer

⁴- Deciles Index (DI)

⁵- Gibbs and Maher

⁶- Standard Precipitation Index (SPI)

⁷- McKee

⁸- Simple kriging (SK)

⁹- Ordinary kriging (OK)

¹⁰- Rain Fall Anomaly Index (RAI)

¹¹- Inverse Distance Weighted (IDW)

داده‌های بارش ۱۱ ایستگاه طی دوره آماری ۲۵ سال (۱۹۸۷-۲۰۱۱) استفاده شد؛ سپس با استفاده از شاخص‌های معیار Z (ZSI)^۱، درصد بارش نرمال (PNPI)^۲، RAI و SPI شدت و مدت خشک‌سالی مطالعه شد. برای پهنه‌بندی توزیع خشک‌سالی براساس بهترین شاخص در منطقه، روش عکس فاصله و کریجینگ ساده مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین بهترین روش درون‌یابی از RMSE و MAE استفاده شد. در نهایت روش کریجینگ به عنوان روش مناسب انتخاب شد. اختری و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی روش‌های درون‌یابی ناحیه‌ای برای تحلیل مکانی شاخص-خشک‌سالی مؤثر (EDI)^۳ و شاخص SPI پرداختند. برای این منظور آنها از داده‌های بارش ۴۳ ایستگاه طی دوره آماری ۳۱ سال (۱۹۷۰-۲۰۰۱) در استان تهران و چندین روش زمین‌آمار شامل کریجینگ، کوکریجینگ^۴ و اسپلی-لاین^۵ استفاده کردند. نتایج نشان داد روش کریجینگ مناسب‌ترین روش است. مازار و نواز^۶ (۲۰۱۴) به منظور پهنه‌بندی خشک‌سالی هواشناسی در پاکستان از داده‌های بارش ۳۴ ایستگاه طی دوره آماری (۱۹۸۰-۲۰۱۰) استفاده نمودند. سه روش درون‌یابی شامل روش فاصله معکوس وزن دار، کریجینگ و اسپلی‌لاین جهت پهنه‌بندی خشک‌سالی به کار گرفته شد. نتایج نشان داد روش اسپلی‌لاین الگوی شدت خشک‌سالی را در پاکستان بهتر نشان می‌دهد. با توجه به نقش عمده این حوضه در تأمین آب بخشی از استان و همچنین وابستگی معیشتی ساکنین حوضه (مصارف کشاورزی)، خشک‌سالی‌های به وقوع پیوسته در منطقه مشکلات عدیده‌ای را ایجاد کرده است. به‌طور کلی هدف از این تحقیق، بررسی وضعیت خشک‌سالی هواشناسی با به‌کارگیری چهار شاخص، Z چینی (CZI)^۷، RAI، معیار Z و PNPI و همچنین انتخاب مناسب‌ترین روش از میان روش‌های مختلف درون‌یابی و ارائه مدلی مناسب به منظور پهنه‌بندی خشک‌سالی در دشت ساری-نکا می‌باشد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده ساری-نکا شامل دو رودخانه اصلی تجن و نکا و رودهای کوچک بین آنها بوده که دشت ساحلی به ابعاد ۳۰*۳۰ کیلومتر در پایاب آن قرار دارد. حدود جغرافیایی این منطقه از شمال به دریای مازندران، از جنوب به رشته کوه‌های البرز، از شرق به حد شرقی حوزه آبخیز رودخانه شورش رستم‌کلا و از غرب به حد شرقی حوزه آبخیز رودخانه سیاه‌رود منتهی می‌شود. محدوده مورد مطالعه در حد فاصل ۱۴" ۳۷' ۵۲° تا ۱۵" ۰۹' ۵۴° طول شرقی و ۲۸" ۵۱' ۳۵° تا ۳۷" ۱۱' ۰۳° عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱).

¹- Z-Score Index (ZSI)

²- Percent of Normalprecipitation Index (PNPI)

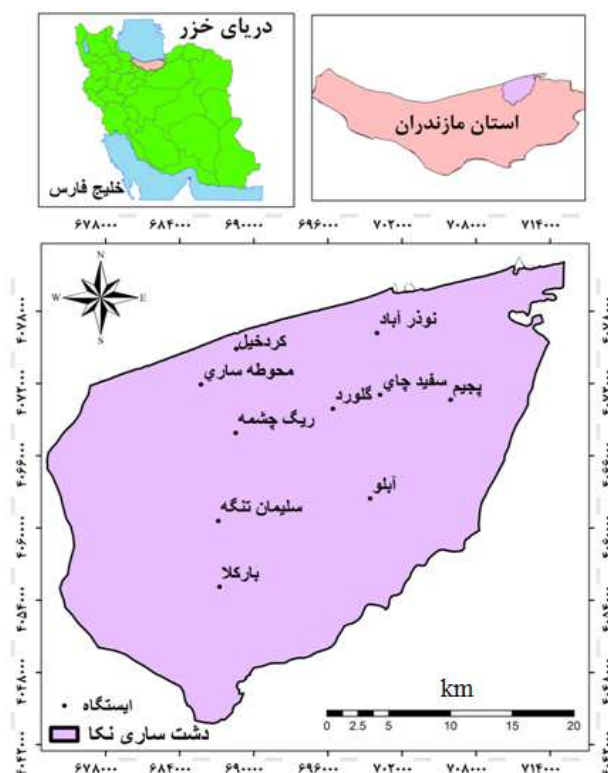
³- Effective Drought Index (EDI)

⁴- Cokriging

⁵- Spline

⁶- Mazar and Nawas

⁷- China-z Index(CZI)



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

روش‌های درون‌یابی به دو صورت قطعی و زمین‌آمار انجام می‌شود. در روش قطعی تنها از توابع ریاضی استفاده می‌شود. روش فاصله معکوس وزن‌دار، تابع شعاعی (RBF)^۱، چند جمله‌ای محلی (LPI)^۲ و چند جمله‌ای جهانی (GPI)^۳ برخی از روش‌های درون‌یابی قطعی می‌باشند. روش درون‌یابی زمین‌آمار بر پایه تئوری متغیرات ناحیه‌ای و مبتنی بر توابع ریاضی و آمار است و از مدل نیم تغییرنا (واریوگرام) برای توصیف پیوستگی فضایی داده‌های ورودی و تخمین مقدار مکان‌های اندازه‌گیری نشده استفاده می‌کنند (حمیدیان پور و همکاران ۱۳۹۲؛ امیدوار و همکاران، ۱۳۹۳). نقاط این نمودار براساس زوج نقاطی صورت می‌گیرد که به فاصله معینی از یکدیگر قرار دارند و از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2|N(h)|} \sum_{i,j \in N(h)} (z_i - z_j)^2 \quad (1)$$

$\gamma(h)$: مقدار واریوگرام در فاصله h ، فاصله بین نقاط نمونه‌برداری، n تعداد جفت نقاطی که در یک راستا به فاصله h از یکدیگر قرار دارند، z_i : مقدار متغیر در نقطه i و z_j : مقدار متغیر در نقطه j می‌باشد.

برای استفاده از واریوگرام لازم است داده‌ها را با مدل تئوریک برازش دهیم. مدل‌های تئوری واریوگرام به دو گروه فاقد آستانه و دارای آستانه تقسیم می‌شوند. در گروه اول مقدار واریوگرام با افزایش فاصله افزایش می‌یابد به طوری که به حد ثابتی نمی‌رسد و واریوگرام سقفی نخواهد داشت. از این گروه می‌توان به مدل‌های خطی، سهمی و دویسین

^۱- Radial Basis Functions (RBF)

^۲- Local Polynomial Interpolation (LPI)

^۳- Global Polynomial Interpolation (GPI)

اشاره کرد. در گروه دوم برخلاف گروه اول مقدار واریوگرام پس از طی فاصله معینی به حد ثابتی که همان سقف می باشد نزدیک می شود. مدل کروی، گوسین و نمایی نمونه‌ای از این گروه مدل‌ها می باشد (کاردان مقدم و خاشعی سیوکی، ۱۳۹۱). در این تحقیق از آمار ۱۰ ایستگاه باران سنجی استان مازندران استفاده شد و پس از حذف داده‌های پرتوکنترل کیفی و اصلاح و بازسازی داده ها با انجام آزمون‌های آماری (همگنی من- ویتنی، ران تست و رگرسیون دوره آماری ۲۷ سال (۱۳۹۰-۱۳۶۳) به عنوان دوره آماری مشترک برای تمامی ایستگاه‌ها در نظر گرفته شد. سپس به کمک شاخص‌های RAI، ZSI، CZI و PNPI دوره‌های خشک سالی طی دوره آماری مورد نظر محاسبه گردید. در ادامه به معرفی چهار شاخص مورد مطالعه پرداخته شده است. سپس شدیدترین سال خشک بر اساس شاخص‌های مذکور به منظور مقایسه روش‌های درون‌یابی تعیین شد. در این تحقیق به منظور پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی در محیط نرم افزار ArcGIS روش‌های درون‌یابی، از جمله: کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، عکس فاصله با درجات ۱ تا ۵، تابع شعاعی و درون‌یابی چند جمله‌ای کلی محاسبه و با یکدیگر مقایسه گردیدند. برای توصیف پیوستگی مکانی متغیر شدت خشک‌سالی، واریوگرام‌های آنها در محیط نرم‌افزار GS⁺ ترسیم گردید و سپس برای هر شاخص بهترین مدلی که با داده‌ها برازش داشت براساس بالا بودن مقدار R² و کم بودن خطای RSS مشخص گردید. بعد از محاسبه سایر روش‌های درون‌یابی به منظور بررسی کارایی روش‌های درون‌یابی به کار گرفته شده از دو معیار ارزیابی، RMSE و MAE (حمیدیان پور و همکاران، ۱۳۹۲؛ سیوندی و قره داغی، ۲۰۱۴) استفاده شد. در نهایت براساس کمترین RMSE و MAE مناسب‌ترین روش درون‌یابی جهت پهنه‌بندی خشک‌سالی در دشت ساری-نکا انتخاب شد. معادلات این روش‌ها به شرح زیر است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z(x_i) - Z(x_i))^2}{n}} \quad ۲:$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z(x_i) - Z(x_i)| \quad ۳:$$

در روابط فوق، $Z(x_i)$ مقدار برآورد شده x_i ، مقدار مشاهده شده x_i و n تعداد داده‌ها می باشند. هر اندازه MAE به صفر نزدیک‌تر و مقدار RMSE کمتر باشد، نشان‌دهنده اختلاف کمتر مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر مشاهده‌ای است.

شاخص‌های مورد مطالعه

شاخص RAI

شاخص ناهنجاری بارش، بارندگی ماه یا سال معین را روی مقیاس خطی که از روی سری داده‌ها حاصل می شود ارزیابی می کند و اساس آن انحراف مقادیر بارندگی از نرمال می باشد (شایق و سلطانی، ۱۳۸۹؛ واندرس^۱ و همکاران، ۲۰۱۰)، مراحل محاسبه این شاخص به صورت زیر است:

۱- چنانچه $p \geq 0$ یا ناهنجاری مثبت باشد این شاخص از رابطه ۴ محاسبه می شود:

$$RAI = 3 \left[\left(\frac{p-3}{p-7} \right) \right] \quad ۴:$$

۲- چنانچه $p \leq 0$ یا ناهنجاری منفی باشد این شاخص از رابطه ۵ محاسبه می شود:

$$RAI = -3 \left[\left(\frac{p-3}{p-7} \right) \right] \quad ۵:$$

میانگین درازمدت بارندگی (\bar{p})، استخراج میانگین ۱۰ مورد از بزرگ‌ترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره‌های مطالعاتی (\bar{m})، استخراج میانگین ۱۰ مورد از کمترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره‌های مطالعاتی (\bar{x})

^۱ Wanders

شاخص معیار ZSI

ابتدا سری زمانی داده‌های بارندگی به صورت صعودی مرتب می‌شوند سپس میانگین و انحراف معیار سری زمانی داده‌ها تعیین می‌شود (جاین^۱ و همکاران، ۲۰۱۵) و شاخص Z از رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$ZSI = \frac{(P_i - \bar{P})}{SD} \quad (6)$$

P_i : بارندگی سال هیدرولوژی i ام، \bar{P} : میانگین بارندگی در طول آماری، SD: انحراف معیار سری بارندگی است.

شاخص PNPI

این شاخص یکی از ساده‌ترین سنجه‌های خشک‌سالی در یک مکان است. تجزیه و تحلیل‌های درصد از نرمال بارندگی به هنگام استفاده از آنها برای بررسی خشک سالی یا ترسالی در یک مکان یا فصل معین بسیار مؤثر است. این شاخص از تقسیم بارندگی واقعی بر بارندگی نرمال و ضربان در عدد ۱۰۰ به دست می‌آید (رحیمی و همکاران، ۱۳۸۸).

$$\% PNPI = \frac{P_i}{\bar{P}} \times 100 \quad (7)$$

P_i : بارندگی سال هیدرولوژی i ام، \bar{P} : میانگین بارندگی در طول آماری این شاخص در صورتی کاربرد دارد که میانگین بارندگی بر میانه منطبق بوده یا توزیع بارندگی نرمال باشد. استفاده از این شاخص ساده بوده و قابلیت انعطاف‌پذیری زیادی جهت سایر محاسبات دارد و نیز نتایج حاصل از این شاخص، انحراف نسبت به میانگین را به خوبی و به سادگی نشان می‌دهند که این موارد از مزایای شاخص درصد نرمال هستند (شایق و سلطانی، ۱۳۸۹).

شاخص Z چینی

با این فرض اینکه داده‌های بارندگی از توزیع پیرسون تیپ سه تبعیت می‌کنند، میانگین، انحراف استاندارد و ضریب چولگی داده‌ها محاسبه می‌شود. داده‌های بارندگی با استفاده از رابطه $ZSI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD}$ استاندارد می‌شود و در نهایت شاخص Z چینی از رابطه ۸ محاسبه می‌شود (سبزی‌پور و همکاران، ۱۳۸۹؛ کندال و استوارت^۲، ۱۹۷۷).

$$CZI = \frac{Z}{\sigma} \left[\left(\frac{Z}{\sigma} + 1 \right)^2 \right]^{\frac{1}{3}} - \frac{Z}{\sigma} + \frac{CZ}{\sigma} \quad (8)$$

CZ ضریب چولگی است. جدول ۱ طبقه‌بندی وضعیت خشک‌سالی را براساس شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی نشان می‌دهد.

جدول ۱: طبقه‌بندی وضعیت خشک‌سالی براساس شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی

شاخص PNPI (درصد)	شاخص ZSI, CZI	شاخص RAI	وضعیت خشک‌سالی
$PNPI > 80$	$ZSI, CZI < -0.25$	$RAI < -0.3$	بدون خشک‌سالی
$70 < PNPI < 80$	$-0.25 < ZSI, CZI < -0.52$	$-0.3 < RAI < -1.2$	خشک‌سالی ملایم
$55 \leq PNPI < 70$	$-0.52 < ZSI, CZI < -0.84$	$-1.2 < RAI < -0.5$	خشک‌سالی متوسط
$40 \leq PNPI < 55$	$-0.84 < ZSI, CZI < -1.28$	$-2.1 < RAI < -3$	خشک‌سالی شدید
$PNPI < 40$	$-1.28 < ZSI, CZI$	$RAI < -3$	خشک‌سالی خیلی شدید

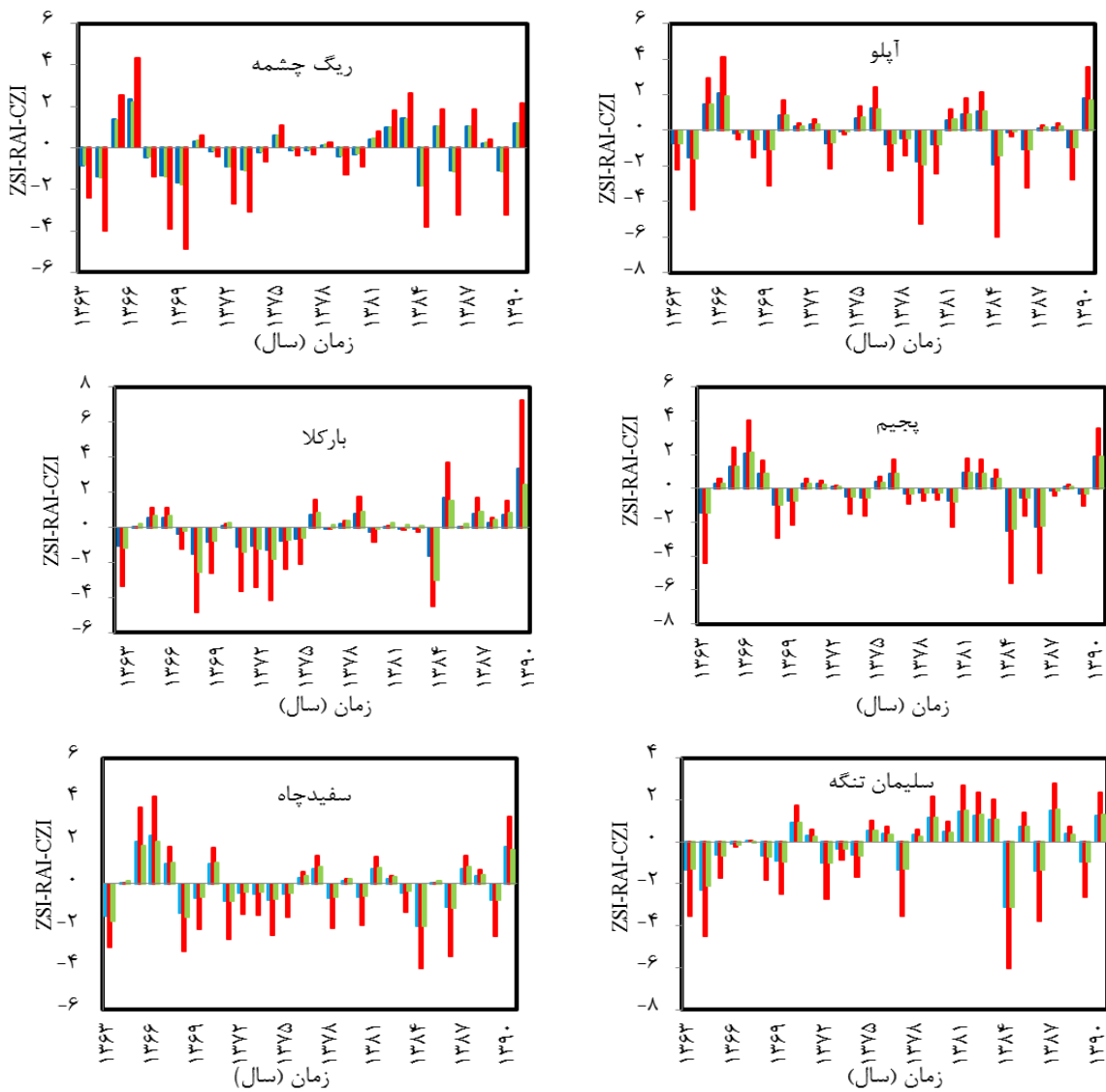
² Jain

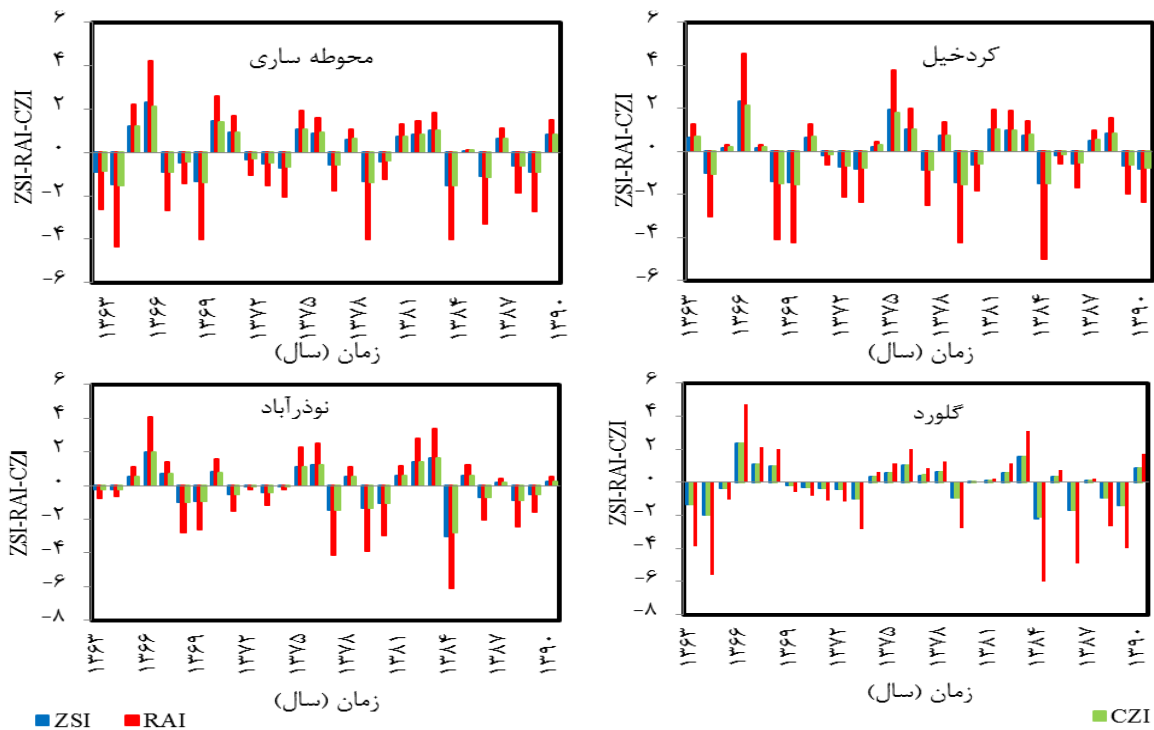
¹ Kendall and Stuart

نتایج

استخراج دوره های خشک سالی هواشناسی

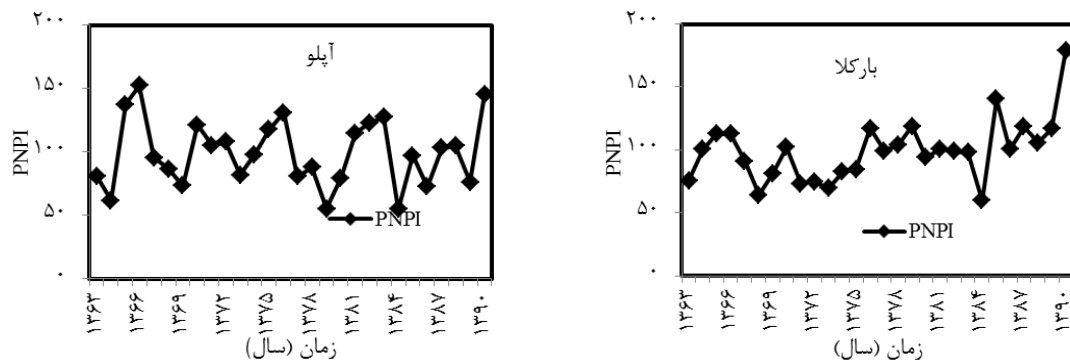
در تحقیق حاضر وضعیت خشک سالی بر اساس مقادیر به دست آمده از شاخص های مذکور و جدول طبقه بندی شاخص های خشک سالی هواشناسی تعیین شد. نتایج نشان داد که مقادیر دو شاخص ZSI و CZI در تمامی ایستگاه ها اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند و تقریباً بر هم منطبق می باشند ولی شاخص ناهنجاری بارش این گونه نیست. براساس سه شاخص مذکور، خشک سالی در بیشتر ایستگاه ها در سال های ۱۳۶۳، ۱۳۶۴، ۱۳۶۶، ۱۳۶۸، ۱۳۶۹، ۱۳۷۱، ۱۳۷۲، ۱۳۷۳، ۱۳۷۷، ۱۳۷۹، ۱۳۸۴، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۹ رخ داده است. شکل ۲ وضعیت خشک سالی را براساس شاخص های ZSI، RAI، CZI و در ایستگاه های مورد مطالعه نشان می دهد.

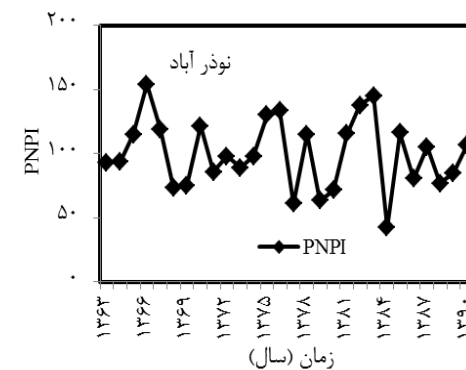
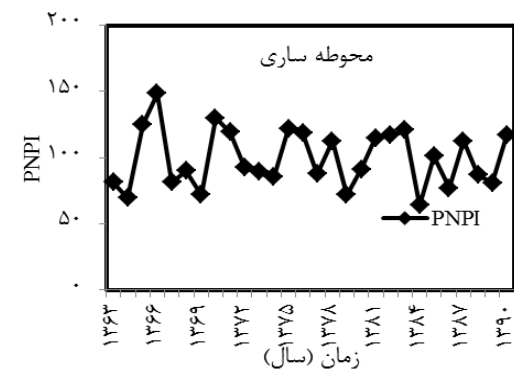
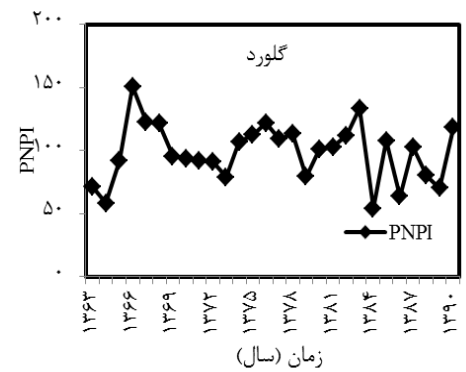
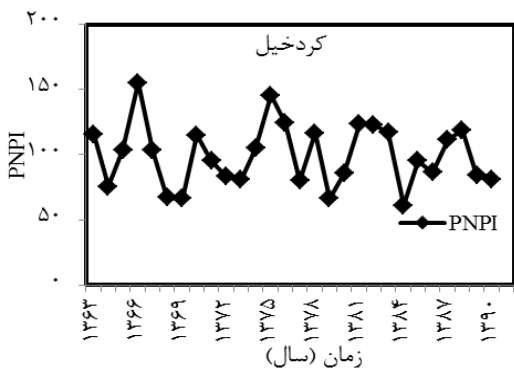
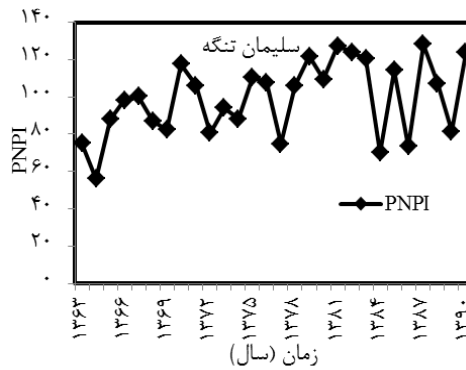
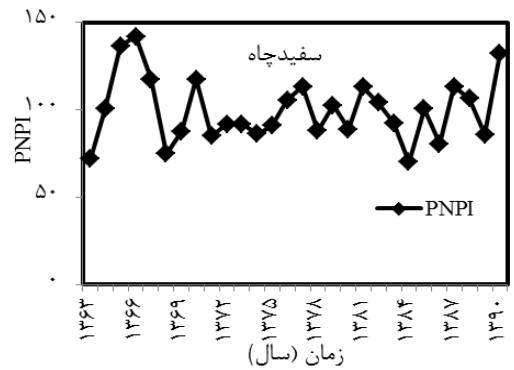
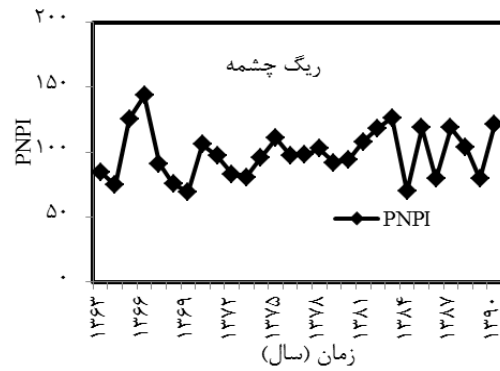
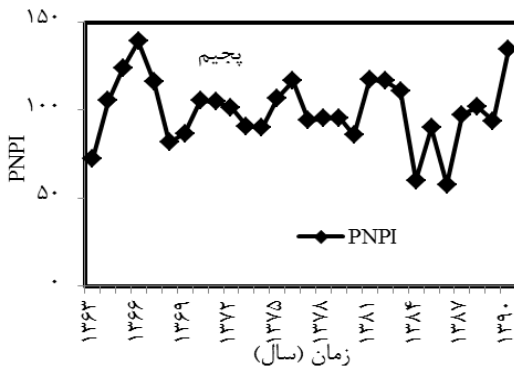




شکل ۲: وضعیت خشک‌سالی براساس شاخص‌های ZSI، RAI، CZI در ایستگاه‌های مورد مطالعه

همچنین نتایج نشان داد براساس شاخص درصد نرمال خشک‌سالی در سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۶۴، ۱۳۶۸، ۱۳۶۹، ۱۳۷۷، ۱۳۷۹، ۱۳۸۰، ۱۳۸۴، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۹ رخ داده است (شکل ۳).





شکل ۳: وضعیت خشک سالی براساس شاخص PNPI در ایستگاه های مورد مطالعه

تحلیل همبستگی آماری شاخص‌های خشک‌سالی

نتایج به دست آمده نشان داد که در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، شاخص‌های خشک‌سالی ضریب همبستگی بسیار بالایی با یکدیگر دارند. جدول ۲ نتایج ضرایب تعیین همبستگی (R^2) برای شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی را به عنوان نمونه در ایستگاه آبلو نشان می‌دهد.

جدول ۲: نتایج ضرایب تعیین همبستگی (R^2) برای شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی در ایستگاه آبلو

شاخص	RAI	ZSI	CZI	PNPI
RAI	۱	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۹۹
ZSI	۰/۸۸	۱	۰/۹۹	۰/۸۹
CZI	۰/۸۷	۰/۹۹	۱	۰/۸۶
PNPI	۰/۹۹	۰/۸۹	۰/۸۶	۱

بعد از محاسبه شدت خشک‌سالی با شاخص‌های ناهنجاری بارش، ZSI، CZI و PNPI، همان‌طور که در قسمت روش تحقیق بیان شد به منظور پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی روش‌های درون‌یابی، از جمله: کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، عکس فاصله با درجات ۱ تا ۵، تابع شعاعی و درون‌یابی چند جمله‌ای کلی محاسبه گردیدند. در روش کریجینگ و کوکریجینگ، نرمال‌سازی داده‌ها بایستی انجام پذیرد؛ البته این امر در محاسبه مقادیر شدت خشک‌سالی انجام می‌پذیرد و دیگر نیاز به نرمال‌سازی داده‌ها نمی‌باشد (حمیدیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۲). برای توصیف پیوستگی مکانی متغیر شدت خشک‌سالی، واریوگرام‌ها ترسیم گردید و بهترین مدلی که با داده‌های سالانه شدت خشک‌سالی برازش داده شد بر اساس بالا بودن مقدار R^2 و کم بودن خطای RSS مشخص گردید. نتایج نشان داد برای شاخص‌های ناهنجاری بارش، ZSI، CZI، مدل کروی و برای شاخص PNPI مدل نمایی بهترین مدل می‌باشد. جدول (۳) مشخصات مدل‌های واریوگرام شدت خشک‌سالی و شکل (۴) بهترین مدل واریوگرام را برای هر یک از شاخص‌های خشک‌سالی را نشان می‌دهد.

جدول ۳: مشخصات مدل‌های واریوگرام شدت خشک‌سالی

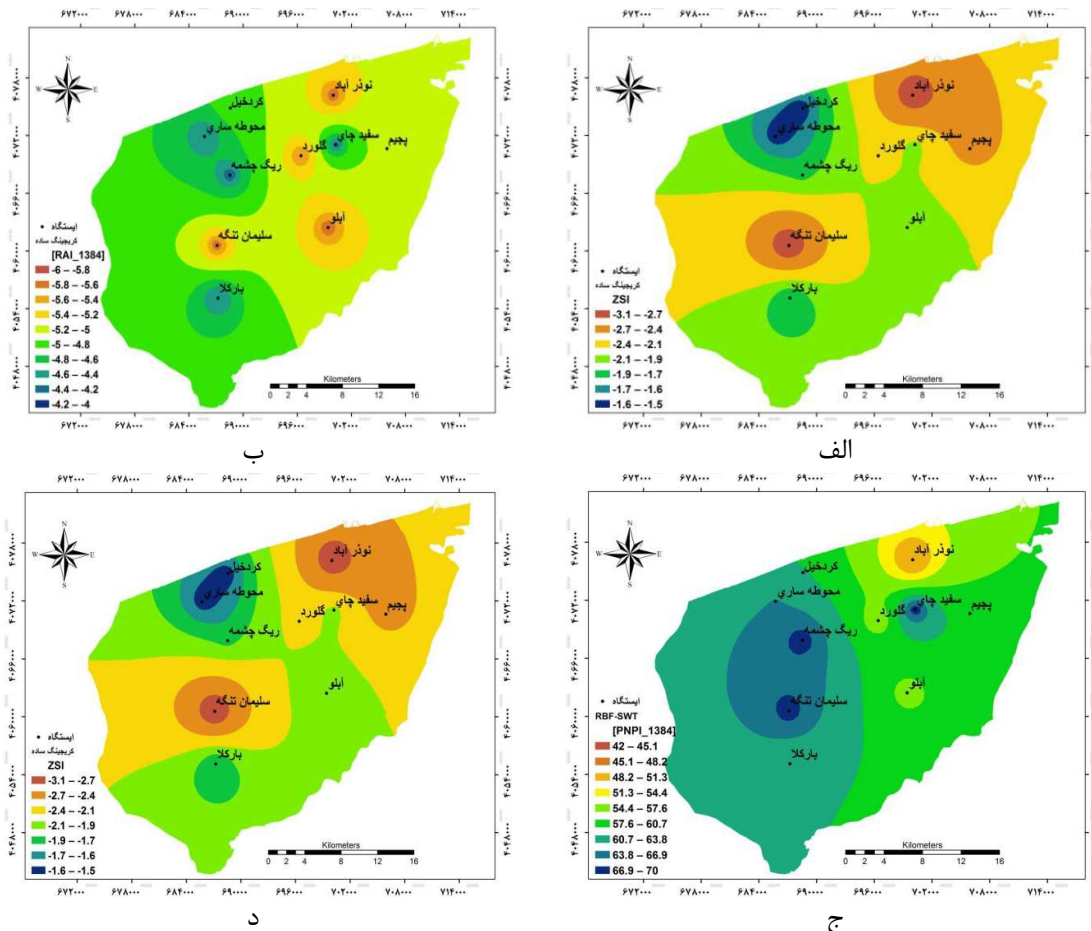
خطی	گوسین				نمایی				کروی				مدل شاخص			
	C_0	C_0+C	RSS	R^2	C_0	C_0+C	RSS	R^2	C_0	C_0+C	RSS	R^2				
۰/۶	۱	۱/۲	۰/۱	۰/۷	۱/۴	۰/۸	۰/۰۶	۰	۱	۰/۵	۰/۴	۰	۱	۰/۴	۰/۵	RAI
۰/۲	۰/۴	۰/۱	۰/۱	۰	۰/۳	۰/۰۵	۰/۴	۰	۰/۴	۰/۰۷	۰/۴	۰	۰/۳	۰/۰۶	۰/۵	ZSI
۰/۲	۰/۴	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۳	۰/۰۴	۰/۶	۰	۰/۳	۰/۰۵	۰/۴	۰	۰/۳	۰/۰۵	۰/۶	CZI
۳۰	۱۲۲	۰/۲	۰/۳	۵۳	۱۳۱	۰/۹	۰/۲	۰/۱	۱۲۳	۰/۷	۰/۴	۲۸	۱۷۴	۰/۸	۰/۳	PNPI

در ادامه بعد از محاسبه سایر روش‌های درون‌یابی بر اساس معیارهای ارزیابی کارایی آنها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد برای شاخص‌های RAI، ZSI و CZI روش کریجینگ ساده و برای شاخص PNPI روش تابع شعاعی مناسب‌ترین روش‌ها از بین سایر روش‌های درون‌یابی برای هر یک از شاخص‌های مورد استفاده می‌باشد. جدول ۴ مقادیر RMSE و MAE برای هر یک از روش‌های درون‌یابی نشان می‌دهد.

جدول ۴: مقادیر RMSE و MAE برای هر یک از روش های درون یابی

PNPI		CZI		ZSI		RAI		شاخص خشک سالی روش درون یابی
MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	
۶/۴۲۵	۸/۳۱۰	۰/۴۹۶	۰/۵۶۲	۰/۴۷۲	۰/۵۵۶	۲/۲۵۹	۲/۵۸۸	کریجینگ ساده (SK)
۵/۷۷۰	۷/۶۳۱	۰/۵۸۸	۰/۶۶۵	۰/۵۸۳	۰/۶۸۲	۲/۴۷۹	۲/۸۰۷	کریجینگ معمولی (OK)
۵/۴۳۳	۷/۲۸۱	۰/۵۸۱	۰/۶۷۷	۰/۵۷۱	۰/۶۸۶	۲/۷۲۹	۳/۲۱۰	تابع شعاعی (RBF-CRS)
۵/۳۳۳	۷/۲۴۳	۰/۵۸۲	۰/۶۷۳	۰/۵۶۵	۰/۶۷۹	۲/۶۵۲	۳/۱۰۰	تابع شعاعی (RBF-SWT)
۶/۷۵۸	۸/۵۴۷	۰/۵۷۲	۰/۶۵۴	۰/۵۴۹	۰/۶۵۴	۲/۵۳۲	۲/۹۳۶	عکس فاصله (IDW ^۱)
۶/۱۴۷	۷/۸۵۱	۰/۵۹۳	۰/۶۸۹	۰/۵۸۸	۰/۶۹۸	۲/۷۴۱	۳/۲۷۷	عکس فاصله (IDW ^۲)
۵/۶۳۵	۷/۵۶۳	۰/۶۳۶	۰/۷۲۵	۰/۶۲۹	۰/۷۴۳	۲/۹۸۶	۳/۶۲۶	عکس فاصله (IDW ^۳)
۵/۴۳۵	۷/۵۸۷	۰/۶۶۵	۰/۷۵۵	۰/۶۵۸	۰/۷۷۹	۳/۱۴۲	۳/۸۴۲	عکس فاصله (IDW ^۴)
۵/۴۲۸	۷/۷۳۴	۰/۶۸۳	۰/۷۷۷	۰/۶۷۵	۰/۸۰۶	۳/۲۲۰	۳/۹۵۴	عکس فاصله (IDW ^۵)
۷/۶۵۴	۹/۳۰۲	۰/۷۶۰	۰/۹۱۶	۰/۷۳۸	۰/۹۲۷	۲/۷۳۸	۳/۲۹۹	چند جمله ای کلی (GPI ^۱)
۱۱/۸۸۰	۱۹/۷۶۳	۰/۶۱۵	۰/۸۰۷	۰/۵۵۸	۰/۷۶۳	۶/۸۶۷	۹/۹۳۲	چند جمله ای کلی (GPI ^۲)

با توجه به اینکه شدیدترین خشک سالی طبق مقادیر به دست آمده از شاخص های خشک سالی در سال ۱۳۸۴ رخ داده است، نقشه پهنه بندی خشک سالی هواشناسی در سال ۱۳۸۴ با توجه به مناسب ترین روش درون یابی برای هر یک از شاخص های خشک سالی ترسیم شد. براساس شاخص های RAI، ZSI و CZI خشک سالی خیلی شدید در تمام قسمت های حوضه رخ داده است و براساس شاخص PNPI در اکثر مناطق حوضه به جز بخش هایی از شمال حوضه که تحت تأثیر خشک سالی متوسط قرار گرفته است، خشک سالی ملایم رخ داده است (شکل ۴).



شکل ۴: نقشه‌های پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی بر اساس شاخص خشک‌سالی و روش‌های درون‌یابی در سال ۱۳۸۴ (الف): شاخص RAI و روش SK، ب: شاخص ZSI و روش SK، ج: شاخص CZI و روش SK، د: شاخص RBF-SWT و روش PNPI

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور برآورد شدت خشک‌سالی در استان مازندران از چهار شاخص خشک‌سالی RAI، ZSI، CZI و PNPI استفاده شد. سپس درون‌یابی با روش‌های کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، عکس فاصله با درجات ۱ تا ۵، تابع شعاعی و درون‌یابی چند جمله‌ای جهانی انجام شد. در نهایت براساس RMSE و MAE مناسب‌ترین روش درون‌یابی جهت پهنه‌بندی خشک‌سالی در دشت ساری-نکا انتخاب شد. همچنین نتایج نشان داد شاخص RAI شباهت بیشتری با شاخص PNPI داشته است که با نتایج شایق و سلطانی (۱۳۸۹) هم‌خوانی دارد. نتایج نشان داد براساس معیارهای ارزیابی، روش کریجینگ ساده برای هر یک از شاخص‌های RAI، ZSI و CZI و روش تابع شعاعی برای شاخص PNPI با دارا بودن کمترین RMSE و MAE به عنوان مناسب‌ترین روش از بین سایر روش‌های درون‌یابی انتخاب شدند، این نشان می‌دهد در واقع برای هر شاخص یک روش مناسب جهت پهنه‌بندی خشک‌سالی وجود دارد و نمی‌توان صرفاً از یک روش میان‌یابی برای همه‌ی شاخص‌ها استفاده کرد، که با نتایج زمانی و همکاران (۱۳۹۱) هم‌خوانی دارد. به طور کلی نتایج حاصل از شاخص‌ها نشان داد که در اکثر ایستگاه‌ها بعد از سال ۱۳۷۷ خشک‌سالی هواشناسی شدت یافته است که علت آن می‌تواند تغییر شرایط اقلیمی در سال‌های اخیر باشد. در این مطالعه با

بررسی معیارهای خطاگیری مشخص شد روش کریجینگ دارای انحراف کمتری نسبت به سایر روش های درون یابی می باشد و روش چند جمله ای جهانی بیشترین خطا را نشان داد زیرا انتخاب روش مناسب برای درون یابی به عوامل مختلفی از جمله، نوع متغیر و شرایط منطقه ای و دیگر پارامترهای مؤثر بر آن ارتباط دارد به همین دلیل روش مناسب در یک منطقه را نمی توان برای مناطق دیگر در نظر گرفت. با توجه به اهمیت موضوع خشک سالی به ویژه در سال های اخیر در کشور، انتخاب شاخص خشک سالی مناسب با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و همچنین انتخاب دقیق ترین روش پهنه بندی از میان روش های موجود می تواند تا حدی راه کاری عملی در بحث مدیریت منابع آب و مبارزه با خشک سالی باشد.

منابع

- ۱) امیدوار، کمال؛ ابراهیمی، رضا و راستی، فاطمه (۱۳۹۳). ارزیابی برخی روش های زمین آمار در پهنه بندی شدت خشک سالی (مطالعه موردی مناطق شمال غرب و مرکزی ایران)، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال پنجم، شماره ۱۷، صص. ۳۰-۴۳.
- ۲) حمیدیان پور، محسن؛ سلیقه، محمد؛ فلاح قاله‌ری، غلام عباس (۱۳۹۲). کاربرد انواع روش های درون یابی به منظور پایش و تحلیل فضایی خشک سالی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)، جغرافیا و توسعه، سال یازدهم، شماره ۳۰، صص. ۵۷-۷۰.
- ۳) خشوعی اصفهانی، مهرداد؛ صفوی، حمیدرضا؛ زمانی، احمد رضا (۱۳۹۵). طراحی سیستم پایش خشک سالی بر اساس شاخص یکپارچه در حوضه آبریز زاینده رود، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، شماره ۷۵، صص. ۲۷-۴۳.
- ۴) رحیمی، داریوش؛ موحدی، سعید؛ برقی، حمید (۱۳۸۸). بررسی شدت خشک سالی با شاخص نرمال بارش (مطالعه موردی استان سیستان و بلوچستان)، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال بیستم، شماره ۴، صص. ۴۳-۵۶.
- ۵) زمانی، رضا؛ آخوندعلی، علی محمد؛ سلیمانی، کریم؛ انصاری، فریده؛ الهیخشیان، پژمان (۱۳۹۱). کاربرد زمین آمار در پهنه بندی شدت های خشک سالی (مطالعه موردی: استان فارس)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال سوم، شماره ۶، صص. ۱۵-۲۹.
- ۶) سبزی پرور، علی اکبر؛ کاظمی، آزاده؛ معروفی، صفر؛ بذرافشان؛ غفوری، جواد (۱۳۸۹). ارزیابی تطبیقی هفت نمایه خشک سالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه ای، علوم و تکنولوژی محیط زیست، سال دوازدهم، شماره ۱، صص. ۹۶-۱۱۱.
- ۷) شایق، الهام؛ سلطانی، سعید (۱۳۸۹). مقایسه شاخص های هواشناسی در استان یزد، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال پانزدهم، شماره ۵۷، صص. ۲۳۱-۲۴۹.
- ۸) شعبانی، محمد (۱۳۸۸). ارزیابی کاربرد روش های زمین آمار در پهنه بندی شدت های خشک سالی استان فارس، مجله مهندسی آب، سال دوم، شماره ۳، صص. ۳۱-۳۶.
- ۹) قاسمی، محسن؛ اسلامیان، سید سعید؛ سلطانی، سمیه (۱۳۸۷). ناحیه بندی و پایش خشک سالی هواشناسی در حوضه آبخیز کرخه با استفاده از شاخص های بارش استاندارد و دهک های بارندگی، پژوهش کشاورزی - دانشگاه های منطقه غرب، سال هشتم، شماره ۳، صص. ۲۳-۳۷.
- ۱۰) کاردان مقدم، حمید؛ خاشعی سیوکی، عباس (۱۳۹۱). پهنه بندی در علوم آب با استفاده از زمین آمار، چاپ اول، انتشارات قدس رضوی، مشهد.

- (۱۱) کریمی، ولی‌الله؛ حبیب‌نژاد، محمود؛ آبکار، علی‌جان (۱۳۹۰). بررسی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک مازندران، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال دوم، شماره ۵، صص. ۱۵-۲۵.
- (۱۲) کریمی‌نظر، مریم؛ مقدم‌نیا، علیرضا؛ مساعدی، ابوالفضل (۱۳۸۹). بررسی عوامل اقلیمی مؤثر بر وقوع خشک‌سالی (مطالعه موردی: منطقه زابل)، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، سال هفدهم، شماره ۱، صص. ۱۴۵-۱۵۸.
- (۱۳) مفیدی‌پور، نازنین؛ بردی‌شیخ، واحد؛ اوتق، مجید؛ سعدالدین، امیر (۱۳۹۱). بررسی رابطه خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبخیز اترک، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، سال سوم، شماره ۵، صص. ۱۶-۲۶.
- (۱۴) میرموسوی، سید حسین؛ میریان، مینا (۱۳۹۰). کاربرد روش‌های زمین‌آمار در مطالعات توزیع مکانی بارش (مطالعه موردی: استان کرمان)، نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشگاه تبریز)، سال شانزدهم، شماره ۳۸، صص. ۱۵۳-۱۷۸.
- 15) Akhtari, R., Morid, S., Mahdian, M.H. and Smakhtin, V (2014) . Assessment of areal interpolation methods for spatial analysis of SPI and EDI drought indices, International journal of climatology, Vol. 29, No.1, pp.135-125.
- 16) Dai, A (2010). Drought under globalwarming: a review. John Wiley & Sons, Ltd, WIREs Clime Change, DOI: 10.1002/wcc. pp. 81.
- 17) Gibbs, W. J. and Maher, J. V (1967). Rainfall Decilesas Drought Indicators, Bureau of MeteorologyBulletin, Commonwealth of Australia: Melbourne, Vol. 33, No. 48, pp. 84.
- 18) Jain, V. K., Pandey, R. P., Jain, M. K. and Byun, H. R (2015). Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River Basin, Weather and Climate Extremes, 8: pp.1-11.
- 19) Kendall, M.G. and Stuart, A (1977). The Advanced Theory of Statistics. Charles Griffin & Company, London, High Wycombe, pp. 400-401.
- 20) Mazar, N. and Nawas, M (2014). Precipitation data interpolation for meteorological drought mapping in Pakistan, Pakistan Journal of Science, Vol 66, No. 4, pp. 356-361.
- 21) McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J (1993). Therelationship of drought frequency and durationto time scales, In Proceeding of the 8thConference on Applied Climatology, 17-22January Anaheim: California.
- 22) Palmer, W. C (1965). Meteorological drought,Research Paper, U.S. Department ofCommerce Weather Bureau: Washington, DC, Vol 45, pp. 58.
- 23) Sivandi, A. and Gharehdaghi, H (2014). Performance evaluation of some meteorological drought indices in south of Khuzestan province and zoning IT using geographic information system (GIS), Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences, Vol 4 (S3), pp. 730-738.
- 24) Thomas, B., McKee, T. B., Doesken, N.J. and Kleist, J (1993). The relationship of drought frequency and durationto time scales, In Proceeding of the 8th Conference on Applied Climatology, 17-22January 1993, Anaheim: California.
- 25) Wanders, N., van Lanen, H.A.J. and van Loon, A.F (2010). Indicators for drought characterization on a global scale. Technical Report No.
- 26) Wilhite, D.A, and Glantz, M.H (1985). Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. Water International Vol 10, No. 3, pp. 111-120.
- 27) Yang, W (2010). Drought analysis under climate change by application of drought indices and copulas. MSc Thesis, Civil and Environmental Engineering, Portland State University. pp.1-84.

Evaluation of interpolation methods to zoning drought in the plains Sari-Neka

Mahshid Karimi

Ph.D. Student of Watershed Management, Department of Watershed Management, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

Dr Kaka Shahedi*

Associate Prof., Department of Watershed Management, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
Email: k.shahedi@sanru.ac.ir

Khabat Khosravi

Ph.D. Student of Watershed Management, Department of Watershed Management, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

Terifeh Edrisi

Young researchers and elite club, Sardasht branch, Islamic Azad University, Sardasht, Iran

Abstract

Drought is known as one of the environmental phenomena, and in fact an integral part of climate change that can occur in any geographic area (Mofidipoor et al., 2012). This phenomenon reveals its effects slowly and gradually, and its effects remain for long time and this is the feature that distinct it from other phenomena such as floods (Dai, 2010). Many indices have been offered to study drought such as Palmer index (Palmer, 1965), deciles method (Gibbs and Maher, 1967) and Standardized Precipitation Index (McKee et al., 1993). In general, the main objective of this study was to investigate the drought status in Sari-Neka plain using four indices including Rainfall Anomaly Index (RAI), Z-Score (Z), China Z-Index (CZI) and Percent of Normal precipitation Index (PNPI), as well as choosing the most suitable method among different interpolation methods and providing an appropriate model for drought zoning in the study area.

Keywords: Drought, Geostatistics, Kriging, Zoning, Sari-Neka Plain