

توزیع مکانی شدت خشک‌سالی هواشناسی در حوزه آبخیز کارون شمالی

زینب علیمیرزایی^۱، رفعت زارع بیدکی^{۲*}، افشین هنربخش^۳، رسول زمانی احمد محمودی^۴

تاریخ ارسال: ۱۳۹۵/۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۰۶

چکیده

بررسی علمی پدیده‌ی خشک‌سالی برای، مدیریت منابع آب و تخفیف اثرات ضروری است؛ اما اطلاعات موجود به صورت نقطه‌ای در دسترس هستند درحالی‌که این پدیده گستره‌ای از زمین را در برمی‌گیرد. هدف از این مطالعه تحلیل مکانی شدت خشک‌سالی هواشناسی در حوزه آبخیز کارون شمالی با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ است. بدین منظور با استفاده از نرم‌افزار DIC شاخص بارش استاندارد (SPI) برای ۲۴ ایستگاه باران‌سنجی منطقه محاسبه شد. سپس توزیع مکانی شاخص SPI با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ در زیر مدل‌های کروی، نمایی، خطی، خطی با آستانه و گوسی برای سه سال (ترسال، خشک و نرمال) انجام شد. نتایج حاصل از آنالیز واریوگرام‌ها و معیارهای خطا، نشان می‌دهد روش زمین‌آمار کریجینگ با مدل نمایی به دلیل پایین‌تر بودن مقادیر خطا از توانایی بالاتری در پهنه‌بندی شاخص SPI برخوردار است. در نهایت نقشه‌های حاصل از پهنه‌بندی شاخص SPI در حوزه آبخیز کارون شمالی نشان می‌دهد در خشک‌سالی سال آبی ۱۳۸۶-۸۷ شدت خشک‌سالی در بخش شرقی حوزه به‌خصوص ایستگاه بروجن بیشتر است و قسمت‌های شمالی حوزه مثل ایستگاه‌های دشتک، هیرگان و شهرکرد در ترسالی ۱۳۸۴-۸۵ بارش بیشتری نسبت به بخش‌های دیگر حوزه داشته‌اند. پراکندگی شدت‌های مشاهده‌شده می‌تواند متأثر از جهت ورود سیستم‌های باران‌زا و جهت گسترش ارتفاعات باشد.

واژه‌های کلیدی: شاخص بارندگی استاندارد، کریجینگ، DIC، GS Plus.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، مرتع و آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد، ایران، ۰۹۳۹۷۸۰۵۹۴۷، zeynab.alimirzaei70@gmail.com

^{۲*} استادیار، مرتع و آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، ۰۹۱۳۲۵۳۴۱۰۴، zare.rafat@nres.sku.ac.ir (نویسنده مسئول)

^۳ دانشیار، مرتع و آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، ۰۹۱۲۷۱۶۳۰۰۵، afshin.honarbaksh@gmail.com

^۴ استادیار، محیط‌زیست، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، ۰۹۱۳۳۸۵۲۷۸۶، rasoolzamani@yahoo.com

مقدمه

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خشک‌سالی، وسعت منطقه‌ای و توزیع مکانی این پدیده است. اصولاً اطلاعات نقطه‌ای این شاخص‌ها در ایستگاه‌ها برای پایش خشک‌سالی کفایت نمی‌کند و بسط و گسترش آن‌ها به صورت مکانی لازم است. به منظور بسط و گسترش اطلاعات نقطه‌ای با توجه به نمونه‌برداری‌های انجام‌شده و همچنین تغییرات زمانی و مکانی هر متغیر، نیاز به مدل‌هایی است که بتوان رفتار متغیر مورد بررسی را در نقاط مجهول شبیه‌سازی نمود. برخی از مدل‌های احتمالی که به آن‌ها روش‌های زمین‌آمار اطلاق می‌شود مانند کریجینگ و کو کریجینگ، به دلیل در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها، از اهمیت زیادی برخوردار هستند. در زمین‌آمار علاوه بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه، موقعیت مکانی نمونه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد (اختری و همکاران، ۱۳۸۵).

به فرایند برآورد ارزش‌های کمی، برای نقاط بدون داده، به کمک نقاط مجاور و معلوم، درون‌یابی می‌گویند. این فرایند به دلیل محدودیت داده‌های نقطه‌ای و ضرورت تدوین نقشه از کل یک پهنه، به منظور تهیه نقشه‌های هم ارزش انجام می‌گیرد. درون‌یابی‌های زمین‌آمار، مبتنی بر توابع ریاضی و آماری است و از مدل تغییر نما برای توصیف پیوستگی فضایی داده‌های ورودی و تخمین مقدار مکان‌های اندازه‌گیری نشده استفاده می‌کنند (عساکره، ۱۳۸۷). پژوهش‌های گوناگونی در داخل و خارج ایران در مورد کاربرد شاخص‌های خشک‌سالی و پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی با استفاده از روش‌های گوناگون درون‌یابی انجام‌شده است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

(امیدوار و خسروی، ۱۳۸۸) به منظور تعیین مدلی بهینه جهت پایش شاخص بارندگی استاندارد (استان یزد) به ارزیابی روش کریجینگ پرداخت و روش کریجینگ معمولی با مدل نمایی را مدلی بهینه جهت توجیه مکانی شاخص SPI معرفی نمود.

(معروفی و همکاران، ۱۳۸۸) برای بررسی توزیع مکانی بارش استان همدان از روش‌های زمین‌آماري مختلفی، استفاده کردند نتایج نشان داد که برای مقادیر میانگین بارندگی، روش کریجینگ ساده با مدل واریوگرام نمایی، در مورد مقادیر حداقل بارش سالانه، روش‌های کریجینگ معمولی و عمومی با مدل گوسین و در خصوص مقادیر حداکثر بارندگی، روش کریجینگ ساده با مدل دایره‌ای بهترین نتایج را دارند.

(رئیسی و وفاخواه، ۱۳۹۰) با استفاده از شاخص SPI، به پهنه‌بندی خشک‌سالی هواشناسی در ایستگاه‌های سه استان ساحلی دریایی خزر پرداختند، نتایج حاصل از آنالیز واریوگرام ضمن تأیید مکانی بودن شاخص بارندگی استاندارد (SPI)، نشان داد که روش کریجینگ از دقت بالاتری در پهنه‌بندی خشک‌سالی برخوردار است.

(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 ۳) ارزیابی کردند. نتایج نشان داد روش کریجینگ، مناسب‌ترین روش تخمین بارندگی سالانه است.

(باقری و همکاران، ۱۳۹۱) در بررسی توزیع مکانی خشک‌سالی استان کرمان، نشان داد که روش زمین‌آمار کریجینگ، بهترین روش درون‌یابی است. (تبوزاده و همکاران، ۱۳۹۲) به منظور مطالعه تطبیقی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه آبریز بختگان از شاخص SPI و شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه (SDI) در طی دوره آماری (۱۳۶۵-۱۳۹۰)، استفاده نمودند. نتایج بررسی این دو شاخص نشان داد که همه ایستگاه‌ها متحمل خشک‌سالی شده‌اند.

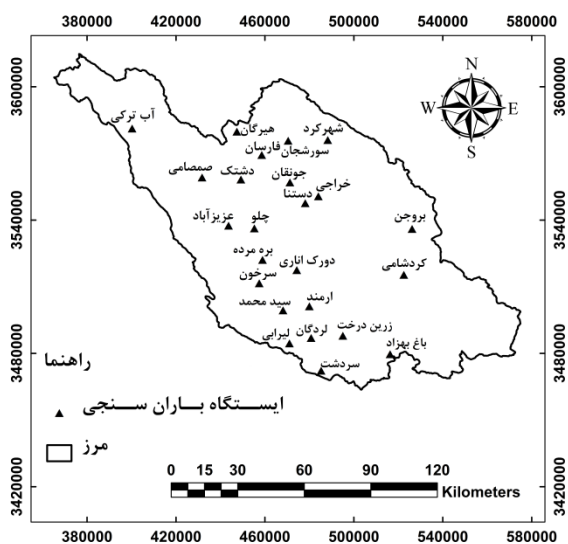
(امیدوار و همکاران، ۱۳۹۳) در مطالعه‌ای به بررسی برخی از روش‌های زمین‌آمار در پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی در منطقه شمال غرب و مرکزی ایران پرداختند که نتایج نشان می‌دهد که روش کریجینگ معمولی با مدل گوسی مناسب‌تر از روش عکس فاصله بوده و از دقت بالاتری برخوردار است.

سال هشتم • شماره بیست و نهم • پاییز ۱۳۹۶

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه بخشی از حوزه آبخیز کارون بزرگ است و در محدوده جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. مساحت حوزه آبخیز کارون شمالی ۱۴۴۷۶ کیلومتر مربع بوده که در حدود ۲۳ درصد از کل مساحت حوزه آبخیز رودخانه کارون بزرگ را شامل می‌شود. در این پژوهش، از داده‌های بارش ۲۴ ایستگاه باران‌سنجی به صورت سالانه، استفاده شد موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۱) آورده شده است.



شکل (۱): موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی واقع در حوزه آبخیز کارون شمالی

روش کار

در این پژوهش شاخص SPI با استفاده از آمار ۱۲ ساله ایستگاه‌های موجود در حوزه آبخیز کارون شمالی از شروع سال آبی ۸۲-۱۳۸۱ (مهر ماه) تا پایان سال آبی ۹۳-۱۳۹۲ (شهریور ماه) با استفاده از نرم‌افزار DIC در مقیاس زمانی سالانه محاسبه شد.

شاخص بارندگی استاندارد (SPI: Standardized Precipitation Index): توسط مککی و همکارانش

(بهشتی راد، ۱۳۹۴) به بررسی تغییرات مکانی خشک‌سالی با استفاده از سه روش کریجینگ، کو کریجینگ و معکوس فاصله‌ها با کمک شاخص توزیع استاندارد بارش در کرمان پرداخت. نتایج حاکی از بهتر بودن روش کریجینگ نسبت به سایر روش‌های زمین‌آمار بود.

(کریمی و همکاران، ۱۳۹۵) در حوزه آبخیز قره‌سو از چهار شاخص RAI، SIAP، SDI و SWI برای تحلیل خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در دوره‌ی زمانی ۹۱-۱۳۷۰ استفاده نمودند، نتایج نشان داد که شدیدترین خشک‌سالی در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ و طولانی‌ترین خشک‌سالی در سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۱ رخ داده است.

(تیرانداز و اسلامی، ۲۰۱۲) به پهنه‌بندی شاخص خشک‌سالی SPI در استان گیلان پرداختند و نشان دادند که شدیدترین خشک‌سالی بین سال‌های ۲۰۰۹ - ۲۰۰۸ رخ داده است.

(کاظم‌زاده و ملکیان، ۲۰۱۵) به بررسی ویژگی زمانی و مکانی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در شمال غرب ایران با استفاده از دو شاخص SPI و SDI در دوره زمانی ۲۰۱۱-۱۹۸۱ پرداختند. بر اساس نتایج سال ۲۰۰۷-۲۰۰۸ شدیدترین خشک‌سالی هواشناسی و سال ۲۰۱۱-۲۰۱۰ شدیدترین خشک‌سالی هیدرولوژیکی را تجربه کرده‌اند.

با توجه به وقوع خشک‌سالی‌های اخیر، افزایش جمعیت و همچنین موقعیت استراتژیک حوزه آبخیز کارون شمالی در تأمین منابع آب مورد نیاز برای کشاورزی و جمعیت پایین دست حوزه، مطالعه جامع خشک‌سالی هواشناسی در این حوزه اهمیت بسیاری دارد. لذا در این پژوهش سعی بر آن است تا ضمن برآورد وضعیت خشک‌سالی هواشناسی با تهیه نقشه-های پهنه‌بندی وضعیت مکانی خشک‌سالی در حوزه آبخیز کارون شمالی بررسی شود.

کریجینگ معمولی در زیر مدل نمایی (Exponential)، کروی (Spherical)، خطی (Liner)، خطی با آستانه (Liner to sill) و گوسی (Gaussian) ترسیم شد.

روش کریجینگ (Kriging): یکی از روش‌های بسیار مناسب برای تحلیل فضایی و توزیع منطقه‌ای داده‌های مکانی، روش کریجینگ است. در این روش میانگین وزنی برای توزیع متغیرها استفاده می‌شود، به این صورت که هر چه متغیر به مبدأ نزدیک‌تر باشد، وزن آن بیشتر است. مطلق بودن تخمین در درون‌یابی از ویژگی‌های روش کریجینگ است. در این روش مقدار یک متغیر در یک نقطه به‌عنوان تابعی از یک‌روند مشخص، قابل پیش‌بینی است. روش کریجینگ می‌تواند این روند را به‌عنوان یک جمله با ضریب ثابت (مثل کریجینگ ساده) و یا به‌عنوان چندجمله‌ای (مثل کریجینگ جهانی) در نظر گیرد. کریجینگ یک روش درون‌یابی پیشرفته است که یک سطح را از روی دسته‌ای از نقاط برآورد می‌کند. این نقاط دارای فاکتور Z می‌باشند. برخلاف دیگر روش‌های درون‌یابی که از تحلیل‌های متنی استفاده می‌کنند روش کریجینگ قبل از این که ما بخواهیم بهترین روش برآورد برای تولید سطح خروجی را تعیین کنیم خود با بررسی اوضاع مکانی پدیده‌هایی که دارای فاکتور Z می‌باشند به تولید خروجی می‌پردازند. (محبوبتی و همکاران، ۱۳۸۸).

$$Z = \sum_{i=1}^n W_i z(X_i) \quad (2)$$

که در آن: Z = مقدار متغیر مکانی برآورد شده.

$Z(X_i)$ = مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه.

$W_i(X_i)$ = وزن آماری که به نمونه X_i داده شود.

هدف اصلی از محاسبه‌ی واریوگرام این است که بتوان تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله‌ی مکانی یا زمانی شناخت. تخمین زمین‌آماري شامل دو مرحله است: در مرحله اول شناخت و مدل‌سازی ساختار فضایی متغیر که به‌وسیله آنالیز تغییرنا قابل‌بررسی

با هدف بررسی اثرات متفاوت کمبود بارش بر آب‌های زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک، پوشش برفی و جریان آبراهه، ارائه شده است. شاخص SPI شاخصی است که می‌تواند هشدار اولیه‌ای جهت خشک‌سالی و کمک به ارزیابی شدت آن باشد. (نوریان و همکاران، ۱۳۸۱). این شاخص نسبتاً ساده و عملاً قابل‌استفاده برای تمام شرایط منابع آبی است (Dalezios et al., 2008). همچنین قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی نتایج به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص برای بررسی خشک‌سالی می‌باشد (Hayes et al., 1999). این شاخص برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگی‌های طولانی مدت محاسبه می‌شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب، بر آمار بلند مدت بارندگی‌ها برآورد می‌شود سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌گردد، به طوریکه استاندارد شده و متوسط آن برای هر منطقه و دوره صفر شود (Edwards and Mckee, 1997).

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{\sigma} \quad (1)$$

در رابطه فوق P_i مقدار بارش در دوره i مد نظر، \bar{P} میانگین دراز مدت بارش برای دوره مد نظر و σ انحراف معیار مقادیر بارش است. طبقات مختلف SPI در جدول شماره (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): طبقه‌بندی شده روش شاخص SPI (McKee et al., 1995)

محدوده	وضعیت خشک‌سالی
$SPI \leq +2$	ترسالی بسیار شدید
$1/5 \leq SPI < 2$	ترسالی شدید
$1 \leq SPI < 1/5$	ترسالی متوسط
$-1 \leq SPI < +1$	نرمال
$-1/5 \leq SPI < -1$	خشک‌سالی متوسط
$-2 \leq SPI < -1/5$	خشک‌سالی شدید
$SPI < -2$	خشک‌سالی بسیار شدید

سپس به‌منظور تشریح پیوستگی مکانی متغیرها، واریوگرام داده‌ها در محیط نرم‌افزاری GS Plus با استفاده از روش زمین‌آمار

سال هشتم • شماره بیست ونهم • پاییز ۱۳۹۶

(MAE) ۶ طبق روابط (۳، ۴ و ۵) استفاده شد. معمولاً هر چه مقدار این سه شاخص کمتر باشد دقت روش بیشتر است.

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n [Z(X_i) - Z^*(X_i)]^2} \quad (3)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Z(X_i) - Z^*(X_i)]^2 \quad (4)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z(X_i) - Z^*(X_i)| \quad (5)$$

در معادلات ذکر شده Z^* مقدار برآورد شده در نقطه‌ی X_i مقدار مشاهده شده در نقطه‌ی X_i و N تعداد نقاط است (ثقفیان و رحیمی بندر آبادی، ۱۳۸۴).

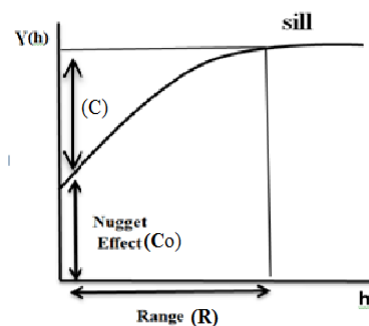
روش‌های مختلف درون‌یابی بر اساس روش ارزیابی متقابل V مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. به منظور ارزیابی نتایج حاصل از تخمین از روش اعتبار سنجی متقاطع جک‌نایف (Jackknife Cross validation Procedure) استفاده شد. این شیوه، بر حذف موقت یک نمونه و تخمین آن و سپس برگرداندن نمونه‌ی مورد نظر به مجموعه داده‌ها و تکرار این عمل برای تمام نمونه‌های موجود، استوار است. نتیجه‌ی نهایی ارزیابی جک‌نایف، دو مجموعه داده، شامل مقادیر تخمینی و مقادیر مشاهده شده‌ی اولیه است که می‌توان از طریق محاسبه‌ی شاخص‌های مختلف آماری، اقدام به ارزیابی نتایج حاصل از تخمین و بهینه‌سازی ویژگی‌های مختلف تخمین گر مورد نظر کرد (محمدی، ۱۳۸۵).

در نهایت به کمک نرم‌افزار *ARC GIS* نقشه‌های پهنه‌بندی خشک‌سالی هواشناسی در سال‌های نمونه ترسیم شد.

نتایج و بحث

هدف از مطالعه حاضر تعیین تغییرات مکانی شدت خشک‌سالی هواشناسی در گستره حوزه آبخیز کارون شمالی است که در مدیریت منابع طبیعی حائز

است و مرحله دوم تخمین که به روش‌های مختلف مانند کریجینگ صورت می‌گیرد. تغییرنا اساسی‌ترین ابزار در زمین‌آمار است که برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر به کار می‌رود یا به عبارتی کمیته است برداری که درجه همبستگی مکانی بین نقاط را برحسب مربع تفاضل مقدار دونقطه و با توجه به جهت و فاصله آن‌ها نشان می‌دهد. ویژگی‌های تغییرناها به وسیله سه پارامتر. دامنه تأثیر (R)^۱، آستانه ($C_0 + C$)^۲، اثر قطعه‌ای یا تصادفی (C_0)^۳ (شکل ۲) تعریف می‌شود (محمدی، ۱۳۸۵).



شکل (۲): واریوگرام ایده آل به همراه پارامترهای آن

- ۱- دامنه تأثیر: فاصله‌ای که در آن واریوگرام به حد ثابتی رسیده و مدل برازشی به حالت خط افقی نزدیک می‌شود.
- ۲- سقف یا آستانه‌ی واریوگرام: به مقدار ثابتی که واریوگرام در دامنه‌ی تأثیر به آن می‌رسد، آستانه گفته می‌شود.
- ۳- اثر قطعه‌ای یا تصادفی: مقدار عددی واریوگرام در مبدأ مختصات، یعنی به ازای $h=0$ را، اثر قطعه‌ای (C_0) می‌نامند.

در تحقیق حاضر برای ارزیابی دقت مدل‌های تدوین شده، از معیارهای آماری ضریب تبیین (R^2)^۴، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)^۴ میانگین مربعات خطا (MSE)^۵ و میانگین خطای تخمین

¹ Range

² Sill

³ Nugget Effect

⁴ Root Mean Squared Error

⁵ Mean Squared Error

⁶ Mean Absolute Error

⁷ Cross validation

۰/۴۴۰	۰/۵۹۲	۰/۳۵۱	Linear
۱/۴۰۲	۳/۰۰۳	۹/۰۱۹۶	Liner to sill
۱/۳۵۸	۰/۶۰۲	۰/۳۶۲	Gaussian

جدول شماره (۴): مشخصات مربوط به واریوگرام و مدل برازش یافته بر آن، حالت نرمال (۹۱-۹۲)

ویژگی				مدل
R ²	Poroprption C/(Co+ C)	Sill Co+C	Nugget Co	
۰/۸۴۸	۰/۹۱۴	۰/۱۸۳	۰/۰۱۵	Spherical
۰/۸۳۴	۰/۹۹۵	۰/۳۰۳	۰/۰۱۳	Exponential
۰/۸۵۹	۰/۸۵۱	۰/۱۰۸	۰/۰۱۶	Linear
۰/۸۵۹	۰/۹۲۲	۰/۲۰۸	۰/۰۱۶	Liner to sill
۰/۹۲۱	۰/۹۹۴	۰/۵۸۸	۰/۰۳۳	Gaussian

جدول (۵): مناسب ترین مدل میانبایی بر مبنای معیارهای خطا، حالت نرمال (۹۱-۹۲)

خطا			مدل
MAE	RMSE	MSE	
۰/۲۷۹	۰/۳۶۳	۰/۱۳۲	Spherical
۰/۲۸۰	۰/۳۴۹	۰/۱۳۲	Exponential
۷/۸۰۵	۲۷/۷۰۳	۷۶۷/۴۶۴	Linear
۴/۱۵۸	۷/۴۸۰	۵۵/۹۶۳	Liner to sill
۰/۲۷۴	۰/۳۶۰	۰/۱۳۰	Gaussian

جدول (۶): مشخصات مربوط به ویژگی واریوگرام و مدل برازش یافته بر آن، ترسالی متوسط

ویژگی				مدل
R ²	Poroprption C/(Co+ C)	Sill Co+C	Nugget Co	
۰/۷۱۸	۰/۹۵۴	۰/۷۲۸	۰/۰۰۳۶	Spherical
۰/۶۶۳	۰/۹۹۹	۰/۰۷۹	۰/۰۰۰۱	Exponential
۰/۲۷۲	۰/۴۳۷	۰/۰۸۷	۰/۰۴۹۳	Linear
۰/۲۷۲	۰/۶۱۱	۰/۱۲۷	۰/۰۴۹۵	Liner to sill
۰/۱۷۳	۰/۵۰۰	۰/۱۱۱	۰/۰۵۵۹	Gaussian

اهمیت است. در این پژوهش برای محاسبه شاخص بارش استاندارد از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی موجود در حوزه آبخیز کارون شمالی در محدوده زمانی سال آبی ۸۲-۱۳۸۱ تا پایان سال آبی ۹۳-۱۳۹۲ استفاده شد. نتایج شاخص SPI سالانه نشان‌دهنده ترسالی متوسط در سال آبی ۸۵-۱۳۸۴، خشک‌سالی بسیار شدید در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ و وضعیت نرمال در سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ است. کریمی و همکاران (۱۳۹۵) در حوزه آبخیز قره‌سو، تیرانداز و اسلامی (۲۰۱۲) در شمال ایران و کاظم‌زاده و ملکیان (۲۰۱۵) در شمال غرب ایران نیز رخداد بی‌سابقه خشک‌سالی طی سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ را گزارش کرده‌اند.

نتایج مربوط به واریوگرام‌ها و مدل‌های برازش یافته در جداول ۲، ۴ و ۶ به ترتیب برای سه سال مذکور درج شده است. همچنین معیارهای ارزیابی خطا شامل RMSE، MSE و MAE برای مشاهده در جداول ۳، ۵ و ۷ آمده است. نتایج مربوط به مناسب‌ترین مدل برازش داده به خشک‌سالی حاد، نرمال و ترسالی در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول (۲): مشخصات مربوط به واریوگرام و مدل برازش یافته بر آن، خشک‌سالی حاد

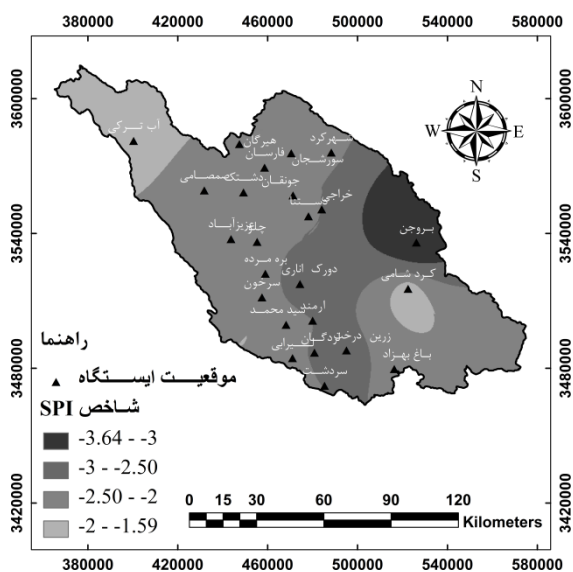
ویژگی				مدل
R ²	Poroprption C/(Co+ C)	Sill Co+C	Nugget Co	
۰/۸۵۴	۰/۹۹۸	۰/۰۴۳	۰/۰۰۰۱	Spherical
۰/۸۲۸	۰/۹۹۹	۰/۱۶۴	۰/۰۰۰۱	Exponential
۰/۸۱۵	۰/۹۹۵	۰/۰۴۶	۰/۰۰۰۲	Linear
۰/۸۱۵	۰/۹۹۸	۰/۱۳۹	۰/۰۰۰۳	Liner to sill
۰/۸۶۳	۰/۹۵۳	۰/۰۴۳	۰/۰۰۰۲	Gaussian

جدول (۳): مناسب ترین مدل میانبایی بر مبنای معیارهای خطا، خشک‌سالی حاد (۸۵-۸۶)

خطا			مدل
MAE	RMSE	MSE	
۰/۳۱۶	۰/۵۶	۰/۳۱۹	Spherical
۰/۳۱۰	۰/۵۵۱	۰/۳۰۴	Exponential

سال هشتم • شماره بیست ونهم • پاییز ۱۳۹۶

که بیانگر وجود ساختار مکانی بسیار قوی برای هر سه حالت است که این امر دلیلی بر همبستگی مکانی خشکسالی در منطقه است. به این ترتیب نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی منطقه با استفاده از روش کریجینگ با زیر مدل نمایی در محیط نرم‌افزار ARC GIS برای سال‌های نمونه ترسیم شد (اشکال ۳، ۴، ۵).



شکل (۳): توزیع شاخص SPI در سال خشکسالی شدید و بسیار شدید با استفاده از مدل نمایی کریجینگ، (۸۷-)

(۱۳۸۶)

نقشه‌ی پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی در حوزه آبخیز کارون شمالی در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ نشان‌دهنده وجود خشکسالی شدید با شدت بیشتری در قسمت شرق حوزه به‌خصوص ایستگاه بروجن است. جنوب حوزه آبخیز کارون شمالی نیز خشکسالی نسبتاً شدید و نوار غربی خشکسالی ملایم‌تری را تجربه کرده‌اند.

جدول (۷): مناسب‌ترین مدل میانمایی بر مبنای معیارهای خطا ترسالی متوسط (۸۵-۸۴)

مدل	خطا		
	MAE	RMSE	MSE
Spherical	۰/۱۸۳	۰/۲۴۹	۰/۰۶۲
Exponential	۰/۱۸۳	۰/۲۴۱	۰/۰۵۸
Linear	۱/۱۸۸	۱/۷۱۴	۲/۹۳۸
Liner to sill	۰/۲۵۵	۰/۳۳۹	۰/۱۱۵
Gaussian	۰/۲۰۰	۰/۲۷۰	۰/۰۷۳

جدول (۸): مناسب‌ترین مدل میانمایی شده برای منطقه با استفاده از روش کریجینگ

طبقه بارش	مدل	Poroprption C/(Co+ C)	MSE	RMSE
خشکسالی حاد	نمایی	۰/۹۹۹	۰/۳۰	۰/۵۵
نرمال	نمایی	۰/۹۹۵	۰/۱۳	۰/۳۴
ترسالی متوسط	نمایی	۰/۹۹۹	۰/۰۵	۰/۲۴

مطالعات گذشته نشان می‌دهد روش کریجینگ نسبت به روش‌های دیگر زمین‌آمار از جمله کوکریجینگ و معکوس فاصله در پهنه‌بندی خشکسالی نتایج بهتری دارد (بهشتی راد، ۱۳۹۴، باقری و همکاران، ۱۳۹۱ و ذبیحی و همکاران، ۱۳۹۰). لذا مدل‌های مختلف روش کریجینگ در مطالعه حاضر مقایسه شدند و با توجه به نتایج حاصل از جداول فوق روش زمین‌آمار کریجینگ در مدل نمایی برای خشکسالی حاد، نرمال و ترسالی متوسط با داشتن کمترین مقادیر خطا به‌عنوان بهترین مدل برای تحلیل مکانی منطقه در سال‌های موردنظر شناخته شد. در مطالعه‌ای که امیدوار و خسروی (۱۳۸۸) در استان یزد انجام داده‌اند مدل نمایی را به‌عنوان مدل بهتر معرفی کرده‌اند در حالی که امیدوار و همکاران (۱۳۹۳) در شمال غرب ایران کریجینگ معمولی با مدل گوسی را مناسب‌تر دانسته‌اند. همچنین بررسی وابستگی بین نمونه‌ها بر اساس نسبت واریانس فضایی برای خشکسالی حاد، نرمال و ترسالی متوسط بر اساس مدل نمایی بالای ۰/۹۹ به دست آمد

و جنوب شرق به سمت شمال و شمال غرب حوزه دیده می‌شود.

نتیجه‌گیری

شاخص‌های متعددی برای محاسبه شدت خشک‌سالی وجود دارد که از داده‌ها نقطه‌ای بارندگی استفاده می‌کنند و برای نشان دادن شدت خشک‌سالی در گستره حوزه آبخیز از روش‌های درون‌یابی فضایی بهره می‌گیرند. در این پژوهش به منظور تحلیل مکانی شدت وقوع خشک‌سالی هواشناسی در حوزه آبخیز کارون شمالی بر اساس شاخص خشک‌سالی SPI روش کریجینگ در زیر مدل نمای مدلی بهینه شناخته شد. به‌طور کلی نتایج حاصل از مطالعه حاضر را می‌توان چنین بیان کرد:

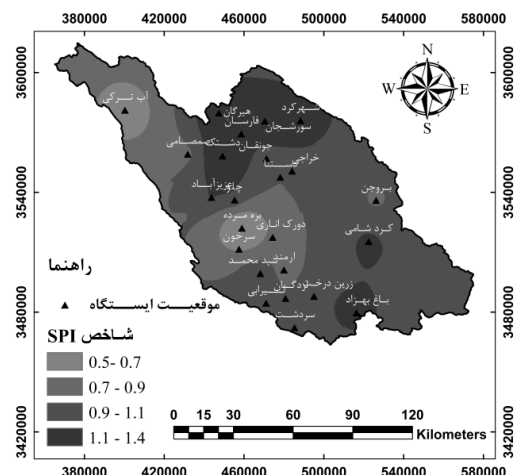
۱- در دوره مورد مطالعه، خشک‌سالی هواشناسی یک‌ساله بسیار شدید در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ در کل حوزه آبخیز کارون شمالی رخ داده است که شدت آن در پهنه شرقی حوزه بیشتر است.

۲- ترسالی متوسط در سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ با شدت بیشتر در پهنه‌های شمالی و شمال شرقی نسبت به کل رخ داده است.

۳- سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ نیز به‌عنوان سالی نرمال در طی دوره مورد مطالعه طبقه‌بندی شد و پهنه‌بندی شاخص بارش برای آن سال نشان می‌دهد قسمت‌های شرقی و جنوب حوزه مورد مطالعه سال پربارش تری را داشته‌اند.

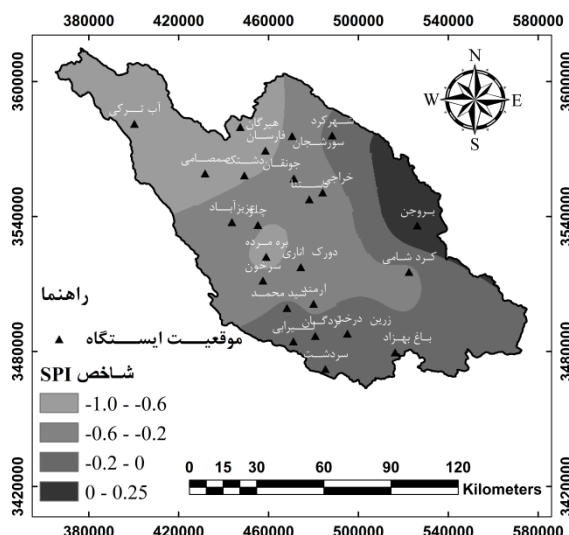
۴- به‌طور کلی مناطق شمال غربی حوزه ضریب تغییرات بارندگی کمتری را تجربه می‌کند. این منطقه علیرغم اینکه ترسالی را تجربه نکرده است خشک‌سالی حادی را نیز نشان نداده است.

نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات امیدوار و خسروی (۱۳۸۸)، معروفی و همکاران (۱۳۸۸)، رئیسی و وفاخواه (۱۳۹۰)، باقری و محمدی (۱۳۹۱)، ذبیحی و همکاران (۱۳۹۰) و بهشتی راد (۱۳۹۴) که در تحقیقاتشان روش کریجینگ معمولی (مدل نمای) را به‌عنوان مناسب‌ترین مدل زمین‌آماری تشخیص داده‌اند مطابقت دارد ولی با نتایج تحقیق امیدوار و همکاران (۱۳۹۳) که روش کریجینگ با مدل گوسی



شکل (۴): توزیع شاخص SPI در سال ترسالی متوسط با استفاده از مدل نمایی کریجینگ، (۸۵-۱۳۸۴)

با توجه به شکل ۳ در سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ قسمت شمال و شمال شرقی حوزه آبخیز کارون شمالی مثل ایستگاه شهرکرد، هیرگان و دشتک فصول مرطوب‌تری را نسبت به بقیه مناطق سپری نموده‌اند در حالی که در قسمت غرب و شمال غربی حوزه شدت این رطوبت کمتر بوده است.



شکل (۵): توزیع شاخص SPI در سال نرمال با استفاده از مدل نمایی کریجینگ، (۹۲-۱۳۹۱)

در سال نرمال ۹۲-۱۳۹۱ در حوزه آبخیز کارون شمالی روند نسبتاً منظمی در کاهش بارندگی از شرق

سال هشتم • شماره بیست و نهم • پاییز ۱۳۹۶

استفاده از شاخص SPI نیز به این نتیجه رسیدند که همه ایستگاه‌ها متحمل خشک‌سالی شدند که با نتایج شاخص SPI در حوزه آبخیز کارون شمالی مطابقت دارد. در کل نتایج همه‌ی مطالعات نشان می‌دهد که اگرچه شدت خشک‌سالی در همه نقاط بسیار شدید بوده است لیکن شدت آن در همه‌ی نواحی یکسان نبوده است. پراکندگی شدت‌های مشاهده‌شده می‌تواند متأثر از اقلیم منطقه، نوع و جهت ورود سیستم‌های باران‌زا و متفاوت بودن جهت گسترش ارتفاعات باشد.

را بهترین روش برای تحلیل مکانی انتخاب کرده بود مطابقت ندارد، دلیل این مغایرت می‌تواند تفاوت در ساختار فضایی داده‌ها باشد. با این وجود نیز نمی‌توان روش منتخب در یک منطقه را به سایر مناطق تعمیم داد. افزایش شمار ایستگاه‌های باران‌سنجی در حوزه آبخیز کارون شمالی، به گونه‌ای که بتواند تغییرات مکانی بارش در ارتفاعات را کامل‌تر پوشش دهد، می‌تواند مقدار خطای پیش‌بینی را کاهش داده و نتایجی دقیق‌تر به دست آورد. همچنین تبوزاده و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی خشک‌سالی هواشناسی در حوزه آبریز بختگان با

منابع

- اختری، ر.، م. ح. مهدیان و س. مرید. ۱۳۸۵. تحلیل مکانی شاخص‌های خشک‌سالی SPI و EDI در استان تهران. تحقیقات منابع آب، سال دوم، شماره ۳، ص ۳۸-۲۷.
- امیدوار، ک.، و ی. خسروی. ۱۳۸۸. ارزیابی روش کریجینگ در تعیین مدلی بهینه جهت پایش شاخص بارندگی استاندارد در محیط GIS مطالعه موردی: استان یزد. دومین همایش ملی اثرات خشک‌سالی و راهکارهای مدیریت آن. اصفهان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، ۷ صفحه.
- امیدوار، ک.، ر. ابراهیمی و ف. راستی. ۱۳۹۳. ارزیابی برخی روش‌های زمین‌آمار در پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی؛ مطالعه موردی مناطق شمال غرب و مرکزی ایران. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال پنجم، شماره ۱۷، ص ۴۳-۳۰.
- بهشتی راد، م. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات مکانی خشک‌سالی با روش‌های زمین‌آمار و شاخص توزیع استاندارد در استان کرمان. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال پنجم، شماره ۲۰، ص ۱۳۰-۱۱۸.
- باقری، ر.، و ص. محمدی. ۱۳۹۱. بررسی تغییرات مکانی خشک‌سالی با استفاده از زمین‌آمار در استان کرمان در یک دوره آماری سی‌ساله. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۹، شماره ۲، ص ۲۹۶-۲۸۳.
- تبوزاده، ش.، ح. زارعی، ا. بزرافشان و س. شکری کوچک. ۱۳۹۲. مطالعه تطبیقی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه آبریز بختگان. سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، ۲۷ تا ۳۰ بهمن‌ماه، دانشگاه تهران، ۷ صفحه.
- ثقفیان، ب.، و س. رحیمی بندر آبادی. ۱۳۸۴. مقایسه روش‌های درون‌یابی و برون‌یابی برای برآورد توزیع مکانی مقدار بارندگی سالانه. تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱، شماره ۲، ص ۸۴-۷۴.
- رئیزی، م. ب.، و م. وفاخواه. ۱۳۹۰. تحلیل مکانی خشک‌سالی هواشناسی در سه استان ساحلی دریای خزر. فصلنامه علمی تخصصی اکوسیستم‌های طبیعی ایران. سال اول، شماره ۳، ص ۱۱-۱.
- ذیحی، 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، شماره ۷۸، ص ۱۱۲-۱۰۱.
- عساکره، ح. ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در میانبایی بارش. مطالعه موردی: میانبایی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ در ایران زمین. جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲، ص ۴۲-۲۵.

کریمی، م.، ک. شاهدی و خ. خسروی. ۱۳۹۵. بررسی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی در حوزه آبخیز قره‌سو. مجله‌ی فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۲. شماره ۱. ص ۱۷۰-۱۵۹.

محمدی، ج.، ۱۳۸۵. پدومتری-جلد دوم: آمارمکانی. انتشارات پلک، چاپ اول.

معروفی، ص.، گ. گل محمدی، ک. محمدی و ح. زارع ایبانه. ۱۳۸۸. ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در برآورد توزیع مکانی بارش استان همدان در محیط GIS. مجله دانش آب‌و‌خاک، جلد ۱، شماره ۲، ص ۱۶۴-۱۴۷.

نوریان، ع. م.، ج. بداقجمالی و س. جوانمرد. ۱۳۸۱. گزارش ملی مدیریت ریسک بلایای طبیعی، سازمان هواشناسی کشور.

Edwards, D. C. and T. B. Mckee. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple scales. Department of Atmospheric Science Colorado State University, Fort Collins, Colorado. Climatology Report Number 97-2.

Dalezios, N. R., A. Loukas, L. Vasiliades and E. Liakopoulos. 2000. Severity-duration-frequency analysis of droughts and wet periods in Greece. Hydrological Sciences Journal, 45(5): 751-769.

Hayes, M., 2000. Drought indices, National drought mitigation center, www.Drought.unl. edu.

Kazemzadeh, M. and A. Malekian. 2015. Spatial characteristics and temporal trends of meteorological and hydrological droughts in northwestern Iran. Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, vol 79.

McKee, T. B., N. J. Doesken. and J. Kleist. 1995. Drought Monitoring with Multiple Time Scales. In Proc. 9th Conf. on Applied Climatology, January 15-20, American Meteorological Society, Massachusetts, PP:233-236.

Tirandaz, M. and A. Eslami. 2012. Zoning Droughts and Wetness Trends In North of Iran (case study: Guilan Province). African Journal of Agricultural Research, 7(15): 2320-2327.

Spatial Distribution of Meteorological Drought in Northern Karun Basin

ZeynabAlimirzaei¹, Rafat Zare Bidaki², Afshin Honarbakhsh³, Rasool Zamani-Ahmadmahmoodi⁴

Abstract

Scientific investigation of drought is essential for water resources management, and reduction its consequences. But point data of rain is available, where drought affect a range of land. The purpose of this study is spatial analysis of meteorological drought intensity, using geostatistical Kriging in Northern Karun Basin. For this purpose, the standardized precipitation index (SPI) was calculated for 24 rain stations in the area using DIC software. Then, spatial distribution of SPI was determined with ordinary Kriging (OK) submodels: spherical, exponential, linear, Gaussian, and linear-to-sill for three years (normal, extremely dry and moderately wet). The results of variogram analysis and error criteria indicated that the geostatistical method Kriging with exponential model due to have lower error rates, has the higher ability in SPI zoning. Finally, the zoning maps of SPI in North Karoun Basin show that in 2007 (extremely dry), drought intensity is higher in eastern parts of basin specially in Broojen station and northern parts of basin like Dashtak, Hiregan and Shahrekord Stations have received more precipitation in 2005 (moderately wet) compared to the rest of the basin. Distribution of drought intensities could be due to rain production fronts and mountainous range direction.

Keywords: DIC, GS Plus, Kriging, Standardized precipitation index.

¹M.Sc. Student, Department of Rangeland and Watershed management, Shahrekord University, zeynab.alimirzaei70@gmail.com

²Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed management, Shahrekord University, rafat1358@yahoo.com

³Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed management, Shahrekord University, afshin.honarbakhsh@gmail.com

⁴Assistant Professor, Department of Fisheries and Environmental Sciences, Shahrekord University, rasoolzamani@yahoo.com