

## تحلیل مکانی خشکسالی هواشناسی در سه استان ساحلی دریای خزر

محمدباقر رئیسی<sup>1</sup>، مهدی وفاخواه<sup>2</sup>

تاریخ دریافت: 89/11/2 تاریخ پذیرش: 90/2/20

### چکیده

خشکسالی به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین بلاای طبیعی محسوب می‌شود که تأثیر آن بر جوامع بشری بیش از سایر بلاای طبیعی می‌باشد. سیستم‌های پایش در تدوین طرح‌های مقابله با خشکسالی و مدیریت آن از اهمیت زیادی برخوردار بوده و بدین‌منظور از شاخص‌های کمی موجود برای بیان این پدیده استفاده می‌شود. از آنجا که این شاخص‌ها به صورت نقطه‌ای محاسبه می‌شوند، لازم است که به‌صورت مکانی پردازش شوند. در این راستا از روش‌های میان‌یابی و از آن جمله روش‌های زمین آمار استفاده می‌گردد. در این تحقیق قابلیت روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و عکس فاصله وزنی (IDW) در تحلیل مکانی خشکسالی در سه استان ساحلی دریای خزر مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل خشکسالی با استفاده از آمار 30 ساله ایستگاه‌های هواشناسی منطقه انجام، و سپس نقشه‌های خشکسالی تهیه و ارزیابی شد. آنالیز واریوگرافی ضمن تأیید مکانی بودن شاخص SPI، نشان داد که روش کریجینگ از دقت بالاتری در پهنه‌بندی خشکسالی برخوردار است. هم‌چنین بررسی وابستگی بین نمونه‌ها بر اساس نسبت واریانس فضایی (C) به (C<sub>0</sub>+C) بیش از 0/5 بوده که بیان‌گر وجود ساختار مکانی متوسط تا قوی برای شاخص SPI می‌باشد که این امر دلیلی بر همبستگی مکانی خشکسالی در منطقه می‌باشد. همبستگی مکانی ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه تا فاصله 800 کیلومتر مؤثر بوده است.

واژه‌های کلیدی: کریجینگ، کوکریجینگ، عکس فاصله وزنی، شاخص SPI، استان‌های ساحلی دریای خزر.

1 - دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران  
2 - مسئول مکاتبات و هیات علمی گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

## مقدمه

مکانی نمونه‌ها را همراه با مقدار کمیّت مورد نظر یک‌جا مورد تحلیل قرار داد (14). کاربرد روش‌های زمین‌آمار در مطالعات معادن شروع شد و سپس در علوم دیگر توسعه یافت. اولیور<sup>2</sup>، مک‌برانتی<sup>3</sup>، دویستر<sup>4</sup> و درافل<sup>5</sup> از پیش‌گامان استفاده‌کننده روش‌های زمین‌آماري محسوب می‌شوند (14). در مسائل هیدرولوژی تاپوس و سالاس (1985) روش کریجینگ را برای تحلیل مکانی بارش سالانه در شمال ایالت کونینتال امریکا برای 29 ایستگاه باران‌سنجی مناسب تشخیص داد. هم‌چنین کامبردلا و همکاران (1994) وابستگی بین نمونه‌های به کار گرفته شده در روش‌های زمین‌آمار را بر اساس نسبت واریانس فضایی (C) به آستانه (C<sub>0</sub>+C) در سه گروه تقسیم‌بندی کردند. به‌طوری‌تنها در صورتی‌که این نسبت بیش از 75 درصد باشد، ساختار مکانی شدید است. در مطالعات دیگر ژئوارت (2000) در آنگارای پرتغال بیان کرد که روش‌های زمین‌آمار نظیر کریجینگ<sup>6</sup> و کوکریجینگ<sup>7</sup> نسبت به دیگر روش‌ها (تیسن و عکس مجذور فاصله) عملکرد بهتری نشان می‌دهند. سان و همکاران (2000) و توآزی و همکاران (2004) نیز روش‌های زمین‌آمار را برای تحلیل مکانی بارندگی مناسب گزارش دادند. در ایران نیز بداق‌جمالی و همکاران (2002) پهنه‌بندی خشکسالی در خراسان را بررسی کرده و از بین روش‌های درون‌یابی، روش کریجینگ و عکس فاصله وزنی (IDW)<sup>8</sup> را برای این امر

خشکسالی به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین بلایای طبیعی محسوب می‌شود که تاثیر آن بر جوامع بشری بیش از سایر بلایای طبیعی می‌باشد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که خشکسالی از نظر فراوانی وقوع و هم‌چنین ویژگی‌های شدت، مدت، وسعت، تلفات جانی، خسارات اقتصادی، آثار اجتماعی و آثار شدید دراز مدت نسبت به سایر بلایای طبیعی اولویت داشته و مخاطره‌آمیزتر است و بنابراین نیاز به توجه بیشتر در تصمیم‌گیری‌های سیاسی دارد. با این‌که نمی‌توان از وقوع خشکسالی پیشگیری نمود، اما اطلاعات به‌هنگام در مورد زمان آغاز، وسعت، شدت، طول مدت و تاثیرات خشکسالی، فشارهای وارده را کاهش داده و میزان خسارات اقتصادی و محیطی را قابل پیش‌بینی می‌نماید (12). برای بیان کمی این پدیده و ارزیابی آن در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی، از شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌گردد. اگرچه در آنالیز کامل پدیده خشکسالی بایستی بارندگی، رطوبت خاک و رواناب را با هم در نظر گرفت اما همه این عوامل به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تاثیر میزان بارندگی قرار دارند. اصولاً اطلاعات نقطه‌ای این شاخص‌ها در ایستگاه‌ها برای پایش خشکسالی کفایت نمی‌کند و بسط و گسترش آن‌ها به‌صورت مکانی لازم می‌باشد. در این راستا روش‌های زمین‌آمار<sup>1</sup> به‌دلیل در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها، از اهمیت زیادی برخوردار هستند. در زمین‌آمار علاوه بر مقدار یک کمیّت معین در یک نمونه، موقعیت مکانی نمونه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. از این‌رو می‌توان موقعیت

2-Oliver

3- Mak branti

4 -Doiser

5- Drafell

6- Kriging

7- Cokriging

8- Inverse Distance Weighting

1- Geostatistic

عرض‌های جغرافیایی  $35^{\circ} 47'$  تا  $38^{\circ} 27'$  شمالی قرار گرفته است و در واقع سه استان شمالی کشور (گلستان، مازندران و گیلان) را در بر می‌گیرد. شکل 1 نمای کلی این منطقه را در ایران نشان می‌دهد. سه نوع سیستم فشاری در ریزش بارش سواحل جنوبی دریای خزر مؤثرند که عبارتند از فرابار سیبری، سیستم‌های کم فشار و واچرخنده‌های مهاجر. در میان این سه عامل، بارش‌های با منشاء فرابار سیبری دارای فراوانی وقوع بیشتری هستند. این در حالی است که بیش‌ترین و شدیدترین بارش‌ها، به واچرخنده‌های مهاجر مربوط است. رطوبت مورد نیاز بارندگی‌هایی که در اثر فرابار سیبری ایجاد می‌شود، در اثر تبخیر حاصل از دریای خزر است. در حالی که رطوبت مورد نیاز کم فشارها و قسمتی از رطوبت واچرخنده‌های مهاجر از دریای سیاه، مدیترانه یا اقیانوس اطلس آورده می‌شود (13).

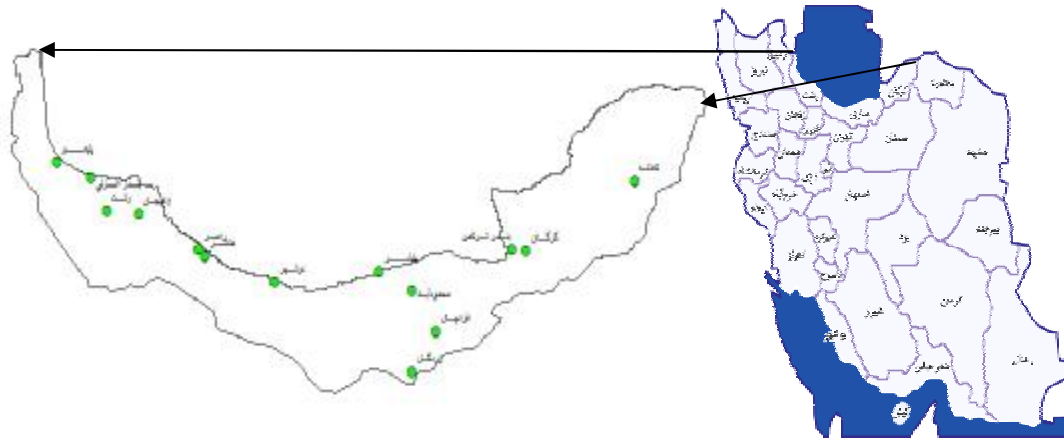
مناسب‌تر یافتند. هم‌چنین محمدی و همکاران (2003) پراکندگی شدت خشکسالی‌های مشاهده شده در حوزه آبخیز مارون را متأثر از جهت ورود سیستم‌های باران‌زا و متفاوت بودن جهت گسترش ارتفاعات دانستند. هم‌چنین به‌دلیل توزیع بارندگی و تغییرات آن به‌شکل مکانی، روش‌های زمین آمار و تخمین‌گر کریجینگ در گسترش اطلاعات مناسب دانستند. اختری و همکاران (2007) نیز از روش‌های مختلف زمین آماری به‌منظور تحلیل مکانی شاخص‌های خشکسالی استفاده کرده و دریافتند که روش کریجینگ از دقت بالاتری برخوردار است. سلطانی و سعادت (2007) نمایه استاندارد بارش<sup>1</sup> (SPI) را برای پهنه‌بندی خشکسالی در استان اصفهان استفاده کرده و مناطق دارای خطر بالا از نظر خشکسالی را مشخص کردند. بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که روش‌های میان‌یابی بسته به نوع متغیر و هم‌چنین منطقه مورد مطالعه، تراکم داده‌ها و نحوه آرایش آن‌ها دقت متفاوتی را ارائه می‌کنند و نمی‌توان نتایج یک منطقه را به‌طور کامل به منطقه‌ای دیگر تعمیم داد. از این‌رو در تحقیق حاضر قابلیت روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و عکس فاصله وزنی در تحلیل مکانی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI در سه استان ساحلی دریای خزر ارزیابی می‌گردد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در اقلیم خزری به مساحت 65912 کیلومتر مربع در شمال کشور و در بین طول‌های جغرافیایی  $48^{\circ} 53'$  تا  $56^{\circ} 10'$  شرقی و

1- Standardized Precipitations Index



شکل 1- نمای کلی منطقه در ایران و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی استان

به این که در بررسی‌های هواشناسی و هیدرولوژی تعداد سال آماری مناسب برای مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب 20 تا 30 سال تعیین شده (10)، این تعداد سال آماری مناسب تشخیص داده شد. سپس از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها برای بازسازی و تطویل آمار ایستگاه‌های ناقص استفاده گردید. بدین منظور از آمار ایستگاه‌هایی با همبستگی بالا برای بازسازی آمار ایستگاه‌های ناقص به صورت ماهانه استفاده شد.

### روش تحقیق

آمار ایستگاه‌های موجود در منطقه به صورت ماهانه و سالانه از سایت سازمان هواشناسی کشور تهیه و با در نظر گرفتن معیارهای مختلف در انتخاب ایستگاه‌ها (داشتن آمار طولانی مدت و پراکنش مناسب در منطقه) و با توجه به ناقص بودن یا کم بودن طول دوره آماری تنها 14 ایستگاه از بین 35 ایستگاه با طول دوره آماری مشترک 30 ساله (1971-2000) انتخاب گردید (جدول 1). با توجه

جدول 1- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)
1 ترکمن	54° 06'	36° 52'	-20	8 نوشهر	51° 30'	36° 39'	-20/9
2 کلالة	55° 29'	37° 22'	157	9 رامسر	50° 40'	36° 54'	-20
3 گرگان	54° 16'	36° 51'	13/3	10 طلاس	50° 44'	36° 51'	79
4 بابلسر	52° 39'	34° 43'	-21	11 پلیمبر	49° 05'	37° 35'	6
5 افراچال	53° 15'	36° 14'	1300	12 لاهیجان	50° 00'	37° 11'	-2
6 زردگل	52° 59'	35° 55'	1500	13 رشت	49° 39'	37° 12'	36/7
7 محمودآباد	53° 00'	36° 31'	118	14 انزلی	49° 28'	37° 28'	-26/2

بوده (7، 10، 11)، از این رو از شاخص مذکور برای این امر استفاده گردید. در این شاخص برای استاندارد کردن مقادیر بارش از نمره Z نرمال (رابطه 1) استفاده شده است.

در این تحقیق با توجه به این که محور اساسی در تحلیل خشکسالی و ترسالی تغییرات بارش می‌باشد و نیز تحقیقات بسیاری بیان‌گر ارجحیت شاخص SPI نسبت به سایر شاخص‌ها در ایران

مقادیر به دست آمده  $Z$  با توجه به جدول 2، ارائه شده توسط هایم (8)، به درجه ای از خشکسالی تبدیل گردید.

$$Z = \frac{(c_i - m)}{d} \quad (1)$$

در این رابطه:  $Z$ : نسبت بی بعد شده داده ها،  $\chi_i$ : مقدار متغیر مورد نظر در هر سال،  $m$ : میانگین داده ها و  $d$ : انحراف معیار داده ها می باشند.

جدول 2- طبقه بندی شدت خشکسالی به روش هایم

دوره خشک	نمره	دوره مرطوب	نمره
خشکی شدید (1)	$Z < -1/5$	مرطوب شدید (4)	$Z > 1/5$
خشکی متوسط (2)	$-0/5 < Z < -1/5$	خشکی متوسط (5)	$0/5 < Z < 1/5$
خشکی ضعیف (تقریباً نرمال) (3)	$0/5 < Z < 0$	مرطوب ضعیف (تقریباً نرمال) (6)	$0/5 < Z < 0$

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

که در آن:  $N(h)$  تعداد جفت نمونه های به کار رفته در محاسبه به ازای هر فاصله ای مانند  $h$  است و معمولاً هرچه  $h$  افزایش یابد تعداد جفت ها کم می شود. تغییرنا مبین سه پارامتر اصلی دامنه تأثیر<sup>2</sup>، سقف<sup>3</sup> و اثر قطعه ای<sup>4</sup> است. به عرض از مبدأ منحنی تغییرنا، اثر قطعه ای گفته می شود و بیانگر بخش بی ساختار تغییرنا است. دامنه تأثیر فاصله ای است که در ماورای آن، نمونه ها بر هم اثر ندارند. بدیهی است که پس از عبور از دامنه تأثیر، هیچ گونه ارتباط مکانی بین نمونه ها وجود ندارد و نمونه ها مستقل از یکدیگر خواهند بود. هرچه شعاع تأثیر بیشتر باشد، ساختار فضایی گسترده تر است. با افزایش دامنه تأثیر مقدار تغییرنا به حد ثابتی نزدیک می شود به این مقدار ثابت که در بعضی از تغییرناها مشاهده می شود، سقف یا آستانه گفته می شود. در شکل 2 نمونه ای از یک تغییرنا ارائه شده است (6). از آنجا که نمونه هایی که در یک نقطه اندازه گیری شده اند ( $h=0$ ) باید دارای ارزش یکسانی باشند، بنابراین

### مبانی تحلیل مکانی

در تحقیق حاضر قابلیت روش های کریجینگ، کوکریجینگ و عکس مجذور فاصله (IDW) مورد ارزیابی قرار می گیرد. در روش های مختلف میان یابی، مقادیر برآوردی از مجموع حاصل ضرب یک فاکتور وزنی در مقادیر نقاط مشاهده ای به دست می آید. به طوری که در روش IDW این فاکتور براساس فاصله بین نقاط و در کریجینگ براساس تابع همبستگی مکانی نقاط (آنالیز نیم تغییرنا) محاسبه می شود.

### تغییرنا

منحنی تغییرنا<sup>1</sup> برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر به کار می رود. به عبارت دیگر این منحنی بیانگر همبستگی مکانی بین نقاط اندازه گیری شده برحسب مربع تفاضل دو نقطه با توجه به جهت و فاصله بین آنها می باشد و کمیتی برداری است که درجه همبستگی و غیر شبیه بودن تغییرات را نشان می دهد. در این تحقیق برای محاسبه تغییرنا از رابطه 2 شده استفاده شده است.

2-Rang of Influence

3 -Sill

4- Nugget Effect

1 -Variogram

دامنه تأثیر متفاوت باشد، برای آن کمیّت در آن محیط ناهمسانگردی هندسی وجود دارد. چنانچه سقف تغییرنا در جهات مختلف متفاوت باشد ناهمسانگردی منطقه‌ای وجود خواهد داشت که ممکن است ناشی از طبیعت کمیّت مورد نظر یا عدم همگنی در شبکه نمونه‌برداری باشد (5). که در این تحقیق تغییرنا برای راستاهای صفر، 45، 90 و 135 درجه ترسیم شده و با توجه به یکسان بودن سقف و دامنه تأثیر در تمام جهات، از تغییرنمای همسانگرد برای تشریح پیوستگی مکانی استفاده گردید.

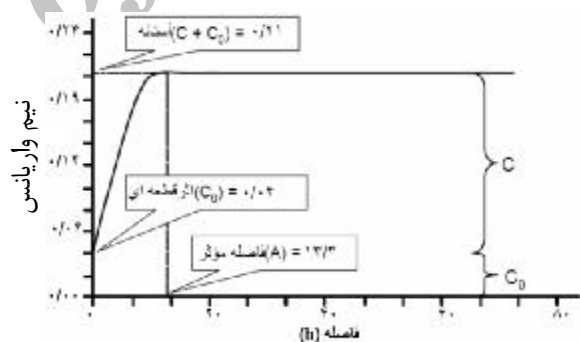
### روش و معیار ارزیابی

از روش اعتبارسنجی تقاطعی<sup>2</sup> برای ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی استفاده گردید. در این روش یک نقطه به‌صورت موقتی حذف شده و با اعمال روش مورد نظر برای آن نقطه مقداری برآورد می‌گردد. سپس مقدار حذف شده به‌جای خود برگردانده شده و برای بقیه نقاط به‌صورت مجزا این برآورد صورت می‌گیرد. به‌طوری‌که در پایان با داشتن مقادیر واقعی و برآورد شده می‌توان خطا و انحراف روش استفاده شده را برآورد کرد (8، 15).

### مقایسه و ارزیابی روش‌های کریجینگ و عکس فاصله وزنی

برای انجام تحقیق حاضر روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و روش عکس فاصله وزنی (IDW) انتخاب گردید. برای استفاده از کوکریجینگ نیاز به یک متغیر کمکی می‌باشد. با توجه به این‌که در بسیاری از مناطق، بارندگی متأثر از عوامل توپوگرافی و فیزیوگرافی منطقه نظیر ارتفاع

واریوگرام باید از مبدأ مختصات شروع شود. ولی در عمل واریوگرام‌های تجربی دارای عرض از مبدأ هستند که اثر قطعه‌ای یا واریانس تصادفی نامیده می‌شود. اثر قطعه‌ای به علت اشتباه در اندازه‌گیری نمونه‌ها و یا تغییرپذیری در فواصل کمتر از حداقل فاصله نمونه‌برداری<sup>1</sup> بروز می‌کند. البته زمین آمار توانایی جدایش واریانس تصادفی را از واریانس فضایی (ساختاردار) دارد. در نتیجه با مشخص شدن بخش غیرتصادفی واریانس می‌توان با تعداد نمونه کمتری به دقت مورد نظر دست یافت (2). از بین واریوگرام‌ها آن‌هایی که در محدوده مورد نظر به سقف ثابتی نمی‌رسند، می‌توانند دلالت بر وجود روند خاصی داشته باشند که در صورت وجود روند، شرایط پایانی برقرار نمی‌شود.



شکل 2- نمونه‌ای از یک تغییرنا

### آنالیز همسانگردی

به تغییرات دامنه تأثیر و یا سقف تغییرنا در جهات مختلف گفته می‌شود و به‌همین دلیل تغییرنا ابزار بسیار سودمندی برای تشخیص ناهمگنی‌هایی است که موجب بروز همسانگردی می‌شود. بدین منظور ابتدا تغییرنا در جهات مختلف رسم شده و تغییرنماهای مربوط به جهات مختلف با هم مقایسه می‌شوند. در صورتی که تغییرنمای جهات مختلف دارای سقف یکسان ولی

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_o - Z_e)^2}{n}} \quad (5)$$

که در آن‌ها:  $MAE$ : میانگین مطلق خطا،  $MBE$ : میانگین نسبی خطا،  $RMSE$ : مجذور میانگین مربعات خطا،  $Z_o$ : مقدار مشاهده شده متغیر،  $Z_e$ : مقدار برآورد شده متغیر و  $n$ : تعداد متغیر می‌باشد. برای روش دوم، نقشه‌های شاخص خشکسالی با روش کریجینگ و IDW ترسیم شد. تا از لحاظ کیفی نیز این دو روش مقایسه شوند. شکل 5 مقایسه نقشه‌های تهیه شده با روش‌های مذکور برای سال 1999 میلادی را نشان می‌دهد.

## نتایج و بحث

### شاخص خشکسالی SPI

هدف از این تحقیق مشخص کردن دوره‌های خشکسالی در اقلیم خزری می‌باشد. برای مقایسه میزان تغییرات شاخص SPI در طول مدت مورد نظر و در هر یک استان‌ها با کمک شاخص انحراف معیار مشخص شد که استان مازندران بیشترین و استان گیلان کمترین تغییرات و نوسانات را داشته‌اند، به عبارتی استان مازندران دارای نوسانات بالایی در دوره‌های مرطوب و خشک و انحراف از حالت نرمال دارد. نتایج نشان می‌دهد وضعیت دوره‌های خشک و مرطوب سالانه در ایستگاه‌ها در سطح منطقه از هم‌زمانی و هماهنگی خوبی برخوردار نیستند. که وجود تفاوت در رژیم بارش می‌تواند عامل عدم هماهنگی دوره‌های خشک و تر در ایستگاه‌های حوزه آبخیز اعلام گردد. همچنین مرادی (2004) سه سیستم جوی را در بارش‌های منطقه دخیل می‌داند که فعالیت یا عدم فعالیت هر یک قادر به افزایش یا کاهش بارش در زمان و مکان‌های خاص در منطقه می‌باشند. تعداد

می‌باشد، از این عامل می‌توان به‌عنوان متغیر کمکی استفاده کرد. در این تحقیق نیز برای تعیین متغیر کمکی، ضریب همبستگی بین اعداد شاخص SPI و ارتفاع محاسبه گردید که این ضرایب برای تمامی سال‌ها کمتر از 0/5 محاسبه شد. در نهایت با توجه به درجه آزادی و مقادیر معنی‌دار ضریب همبستگی در سطح اعتماد یک درصد (0/661) و پنج درصد (0/532) به دلیل پایین بودن ضریب همبستگی (14)، از روش کوکریجینگ که نیاز به متغیر کمکی دارد، استفاده نشده است. در این تحقیق نرمال بودن داده‌ها با آزمون کلموگروف- اسمیرنوف<sup>1</sup> بررسی شده و همچنین آزمون استقلال در زمان داده‌ها با استفاده از ابزار آماری همبستگی نگار<sup>2</sup> و آزمون اندرسون انجام گردید.

در این تحقیق، ارزیابی روش‌های فوق به دو صورت انجام شد. در روش اول از آماره‌های میانگین مطلق خطا<sup>3</sup> (MAE)، میانگین نسبی خطا<sup>4</sup> (MBE) و مجذور میانگین مربعات خطا<sup>5</sup> (RMSE) طبق روابط 3، 4 و 5 پس از انجام اعتبارسنجی تقاطعی برای مقایسه روش‌های مختلف استفاده گردید. در حالت ایده‌آل باید مقدار میانگین مطلق خطا و میانگین نسبی خطا مساوی صفر باشند. مقادیر منفی و یا مثبت قابل توجه آن‌ها به ترتیب نشان دهنده برآورد بیشتر<sup>6</sup> یا کمتر از مقادیر واقعی‌اند. آماره RMSE هرچه کوچک‌تر باشد، برآورد دقیق‌تر است.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_e - Z_o| \quad (3)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_e - Z_o) \quad (4)$$

1 - Colmogrov- Smirnov Test

2 - Correlogram

3 - Mean Absolute Error

4 - Mean Bias Error

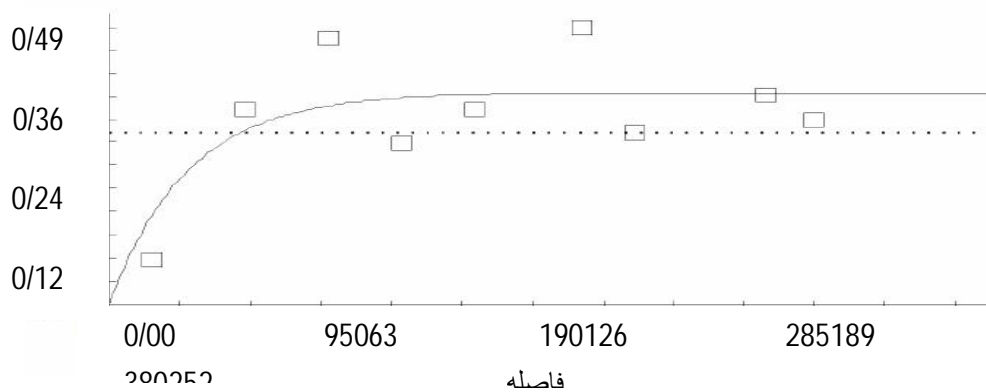
5 - Root Mean Squared Error

6 - Over Estimate

ابتدا نرمال بودن و استقلال در زمان داده‌ها مورد آزمون قرار گرفت که نتایج نشان که داده‌ها در حالت عادی نرمال بوده و ایستا هستند. برای انجام روش کریجینگ نیاز به آنالیز تغییرنا می‌باشد. بدین منظور برای سال‌های انتخاب شده تغییرنمای مقادیر شاخص SPI ترسیم شد. در این رابطه به‌عنوان نمونه تغییرنمای سال 1999 در شکل 3 ارائه شده است. نتایج آنالیز واریوگرافی نشان دهنده این است که شاخص SPI دارای همبستگی مکانی می‌باشد. تغییرنمای این متغیر از مدل‌های کروی و نمایی و عمدتاً از مدل کروی تبعیت می‌کند.

سال‌های وقوع خشکسالی نیز نسبت به ترسالی از فراوانی بیشتری برخوردار بوده، به‌گونه‌ای که در اغلب ایستگاه‌ها 50 درصد سال‌ها را خشکسالی تشکیل می‌دهد و از نظر تداوم دوره‌های خشک و مرطوب در اکثر ایستگاه‌ها میزان تداوم خشکسالی بیشتر از تداوم ترسالی‌ها بوده است، که این امر با نتایج سلیمانی و همکاران (2005) در حوزه‌های آبخیز استان مازندران همخوانی دارد.

### تحلیل تغییرنا



و کیفی اشاره شده استفاده گردید که نتایج آن به‌صورت شکل 4 و جدول 3 ارائه شده است.

همچنین در رابطه با مقایسه و ارزیابی روش‌های کریجینگ و عکس فاصله وزنی از روش‌های کمی

جدول 3 - ارزیابی روش‌ها در برآورد شاخص خشکسالی برای سال‌های مختلف

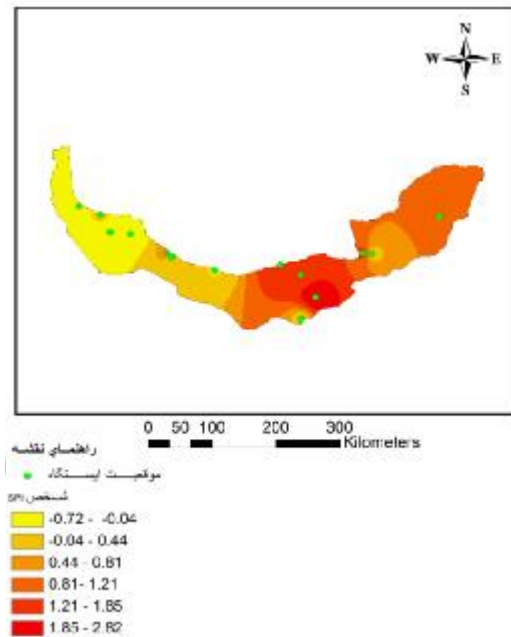
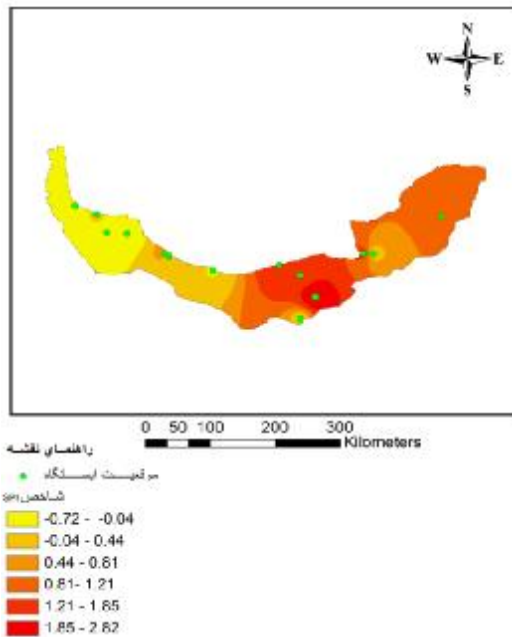
سال						شاخص آماری
1999	1995	1993	1988	1984	1972	
0/495	0/575	0/948	0/468	0/454	0/493	Kriging
0/465	0/577	0/927	0/456	0/471	0/590	IDW
0/014	0/012	0/009	0/078	0/009	-0/003	Kriging
0/009	-0/006	-0/014	0/114	0/035	0/002	IDW
0/583	0/767	1/091	0/559	0/521	0/627	Kriging
0/562	0/754	1/041	0/549	0/536	0/755	IDW

همان‌طور که از جدول 3 مشخص است، بین دو روش به کار گرفته شده از نظر آماری تفاوت



کریجینگ به واقعیت نزدیک تر است. هم چنین بررسی نقشه ها نشان می دهد که در بخش شرقی منطقه به دلیل تراکم کم ایستگاه ها، تغییرات به خوبی نشان داده نشده است که این مبین لزوم تراکم مناسب داده ها برای استفاده از روش های زمین آمار است.

معنی داری وجود ندارد. هم چنین شکل 4 مقایسه نقشه های تهیه شده با روش های کریجینگ و IDW مربوط به سال 1999 را نشان می دهد. همان طور که از اشکال مشخص است دو مدل نتایج مشابهی نشان می دهند با این تفاوت که روش کریجینگ روند تغییرات را بهتر و واضح تر نمایان می سازد و برآوردهای انجام شده با



ب) IDW

الف) روش کریجینگ

شکل 4- پهنه بندی خشکسالی مربوط به سال 1999

به طوری که اگر این نسبت بیش از 75 درصد باشد، ساختار مکانی شدید، بین 25 تا 75 درصد ساختار مکانی متوسط و کمتر از 25 درصد مستقل از مکان است. در این تحقیق نیز این نسبت برای متغیر مورد نظر محاسبه و در جدول 4 ارائه شده است.

از سوی دیگر چنانچه ضرایب همبستگی مدل به رازش شده، مقادیر مناسبی داشته باشد، نشان دهنده وجود تعداد مناسب نمونه در هر طول گام برای محاسبه تغییرنا می باشد. هم چنین طبق تقسیم بندی کامبردلا و همکاران (1994) که وابستگی بین نمونه ها را بر اساس نسبت واریانس فضایی (C) به آستانه  $(C_0+C)$  تقسیم بندی کردند.

جدول 4- ارزیابی روش ها در برآورد شاخص خشکسالی برای سال های مختلف

سال	1999	1995	1993	1988	1984	1972	شاخص آماری
	0/99	0/65	0/89	0/96	0/50	0/52	$C/(C_0+C)$

امر استفاده گردد. همچنین عدم وجود ایستگاه‌های باران‌سنجی در ارتفاعات کوهستانی باعث شده تغییرات بارندگی و در پی آن تغییرات خشکسالی تنها در امتداد طول جغرافیایی نمایان شده و در امتداد عرض جغرافیایی اثر آن نمایان نگردد. لذا لزوم نصب تجهیزات سنجش بارندگی در حوزه‌های آبخیز کوهستانی و به‌خصوص در اقلیم خزری که تغییرات بارندگی با افزایش ارتفاع بسیار فاحش است، بیش از پیش آشکار می‌گردد. در نهایت باید اذعان کرد که استفاده از روش زمین آمار منوط به در اختیار بودن تعداد نمونه کافی است. بنابراین در انتخاب و استفاده از این روش با توجه به متغیر و محیط مورد بررسی باید بررسی‌های همه‌جانبه‌ای انجام گیرد.

همان‌گونه که از جدول 4 نمایان است نسبت  $C/(C_0+C)$  بیان‌گر وجود ساختار مکانی متوسط (در سال‌های 1972, 1984 و 1995) تا قوی (در سال‌های 1988, 1993 و 1999) برای شاخص SPI می‌باشد که این امر خود دلیلی بر همبستگی مکانی خشکسالی در منطقه می‌باشد. که این همبستگی مکانی ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه تا فاصله حدود 800 کیلومتر می‌باشد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که در منطقه مورد نظر خطای روش‌های کریجینگ و IDW از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارند و لذا تنها با استفاده از معیارهای کمی ارزیابی متداول نمی‌توان به‌سادگی مناسب‌ترین روش را معرفی کرد و بهتر است از مقایسات کیفی نیز برای این

## منابع

- 1- اختری، ر.، مهدیان، م. ح. و مرید، س. 1385. تحلیل مکانی شاخص‌های خشکسالی SPI و EDI در استان تهران. مجله تحقیقات منابع آب ایران. 2(3): 27-38.
- 2- اخوان، ر.، زبیری، م.، زاهدی امیری، ق.، نمیرانیان، م.، ماندالاز، د. 1385. بررسی مکانی و برآورد موجودی جنگل‌های خزری با استفاده از روش زمین آمار. مجله منابع طبیعی ایران، 59(1): 89-102.
- 3- بداق جمالی، جواد، جوان‌مرد، س.، و شیرمحمدی، ر. 1381. پایش و پهنه‌بندی وضعیت خشکسالی استان خراسان با استفاده از نمایه استاندارد شده بارش. مجله تحقیقات جغرافیایی. 17(4): 4-21.
- 4- ثقفیان، ب. و رحیمی بندرآبادی، س. 1384. مقایسه روش‌های درون‌یابی و برون‌یابی برای برآورد توزیع مکانی مقدار بارندگی سالانه. مجله تحقیقات منابع آب ایران. 1(2): 74-84.
- 5- حبشی، ه.، حسینی، م.، محمدی، ج. و رحمانی، ر. 1386. کاربرد تکنیک زمین آمار در مطالعات خاک‌های مناطق جنگلی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. 14(1): 18-27.
- 6- حسنی پاک، ع. ا. 1386. زمین آمار. انتشارات دانشگاه تهران. 314ص.
- 7- رضیئی، ت.، شکوهی، آ. ا.، و ثقفیان، ب. 1382. پیش‌بینی شدت، زمان و فراوانی خشکسالی با استفاده از روش‌های احتمالی و سری‌های زمانی. مجله بیابان، 8(2): 310-393.
- 8- رحیمی بندرآبادی، س.، مهدیان، م. ح. 1384. بررسی روش‌های توزیع مکانی بارندگی روزانه و ماهانه در حوضه دریای خزر. مجله پژوهش و سازندگی. 69: 63-72.

- 9-سلطانی، س.، سعادت، س. 1386. پهنه‌بندی خشکسالی در استان اصفهان با استفاده از نمایه استاندارد بارش (SPI). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. 1(2): 64-67.
- 10-سلیمانی، ک.، رضائی، ن.، احمدی، م. ض. و بیات، ف. 1384. بررسی روند خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در حوزه‌های آبخیز مازندران. پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، 3(1): 28-13.
- 11-قویدل رحیمی، ی. 1384. آزمون مدل‌های ارزیابی خشکسالی و ترسالی برای ایستگاه‌های استان آذربایجان شرقی. مجله منابع طبیعی ایران. 58(3): 517-530.
- 12- ک.، داوطلب، ر.، میثاقی، ف. 1382. پهنه‌بندی خشکسالی اقلیمی در حوزه مارون با استفاده از شاخص آماری SIAP سومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم. اصفهان 1382.
- 13-مرادی، ح. ر. 1383. نقش دریای خزر در شرایط بارش سواحل شمال کشور. مجله علوم دریایی ایران. 3(2): 77-87.
- 14-مهدوی، م. 1381. هیدرولوژی کاربردی (جلد اول). انتشارات دانشگاه تهران. چاپ چهارم. 364 ص.
- 15-مهدوی، م.، حسینی چگینی، ا.، مهدیان، م. ح. و رحیمی بندرآبادی، س. 1383. مقایسه روش‌های زمین آمار در برآورد توزیع مکانی بارش سالانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب شرقی ایران. مجله منابع طبیعی ایران. 57(2): 211-224.

- 16-Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5): 1501-1511.
- 17-Haim, K. 1996: Circulation and extreme rainfall conditions in the eastern mediteranean during the last century, *International Journal of Climatology*, 16(1): 73-92.
- 18-Goovaerts, P. 2000: Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*, 228(1-2): 113-129.
- 19-Sun, X., Mein, RG., Keenan, TD., Elliott, JF. 2000. Flood estimation using radar and raingauge data. *Journal of Hydrology*. 239:4. 4-18.
- 20-Tabios, G., Salas., J. D. 1985. A comparison of spatial interpolation techniques in temperature estimation. *Journal of the American Water Resources Association*. 21:3.365-380.
- 21-Touazi, M., Laborde, J. P., Bhiry, N. 2004. Modelling rainfall-discharge at a mean inter-yearly scale in northern Algeria. *Journal of Hydrology*. 296:1-4. 179-191.