ارزیابی روش‌های زمین آمار در پهنه بندی شدت خشکسالی هیدرولوژیکی دشت ملایر

بهنوش فرخ زاده[۱*]، حمدیه واثق نژاد[۲]

۱.* استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست ، دانشگاه ملایر، ایران

۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۹

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

با توجه به تأثیر غیر قابل انکار خشکسالی بر بخش‌های مختلف زندگی انسان، مطالعه و بررسی دقیق این پدیده امری ضروری به نظر می‌رسد. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی دقت روش‌های زمین آمار در تهیه نقشه شدت خشکسالی‌های رخ داده در دشت ملایر با استفاده از شاخص سطح آب استاندارد شده (SWI) و تحلیل روند داده‌های سطح ایستابی چاههای پیزومتری است. نتایج بر اساس معیارهای RMSE و MAE نشان داد که در بین روشهای میان یابی، روش کریجینگ ساده (SK) با مدل کروی به دلیل دارا بودن RMSE و MAE پایین‌تر (برای سال ۱۳۷۸ با مقادیر RMSE=۰/۰۵ و MAE = ۰/۰۰۱ و برای سال ۱۳۹۱ با مقادیر RMSE=۱/۰۴ و MAE = -۰/۰۰۰۴) دقیق ترین روش بوده و به عنوان مناسب‌ترین روش جهت تهیه نقشه شدت خشکسالی انتخاب شد. همچنین نتایج نشان داد در اکثر چاه‌های پیزومتری منطقه روند افزایش افت سطح ایستابی قابل ملاحظه است.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی شدت خشکسالی، دشت ملایر، شاخص SWI، کریجینگ.

مقدمه

خشکسالی از مهمترین بلایای طبیعی است که زیان‌های بسیاری را بر منابع آبی وارد می‌سازد و نتیجه‌ی کاهش میزان بارندگی دریک دوره زمانی وسیع است که بسته به نوع اقلیم منطقه می‌تواند در مقیاس‌های زمانی مختلف ایجاد شود. Smakhtin (& hughes, 2004). خشکسالی به عنوان پدیده‌ای اجتناب ناپذیر، اما قابل مدیریت و ساماندهی است (میریعقوب زاده و همکاران، ۱۳۹۸).

خشکسالی در یک منطقه بخش‌های مختلف اقلیم، منابع آب و کشاورزی را تحت تاثیر قرار می‌دهد و باعث تقسیم‌بندی خشکسالی به انواع کشاورزی، هیدرولوژیکی، اقلیمی و اقتصادی- اجتماعی شده است (کریمی و شاهدی، ۱۳۹۷). در این میان خشکسالی هیدرولوژیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که می‌توان آن را به دو دسته خشکسالی آب‌های سطحی و خشکسالی آب‌های زیرزمینی تقسیم‌بندی نمود (عشیری و هوشمند، ۱۳۹۲). خشکسالی آب‌های زیرزمینی در اثر تغذیه ناکافی مخازن سفره های زیرزمینی بوجود می‌آید. شدت این خشکسالی با استفاده از تخمین حجم ذخیره سفره‌های آب زیرزمینی قابل اندازه‌گیری است، اما این داده‌ها به سادگی قابل دسترس نمی‌باشند. به نظر می‌رسد که ارزیابی سطح آب‌های زیرزمینی شاخص مناسب‌تر و بهتری برای این گونه مطالعات باشد (Lloyd Hughes, 2002). استفاده از شاخص‌های خشکسالی یکی از ابزارهای مهم در مدیریت آن محسوب می‌شود. این شاخص ها جهت بیان کمی و ارزیابی خشکسالی در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی بکار می‌روند (قیصوری و همکاران، ۱۳۹۷). در واقع با استفاده از شاخص‌ها می‌توان روند و گسترش خشکسالی و تأثیر آن را بر منابع آب زیرزمینی مورد مطالعه قرار داد. این شاخص‌ها ارائه دهنده تصویر مختصر و کلی از خشکسالی‌ها هستند و نقش مهمی در تصمیم-گیری مدیریت منابع آب دارند (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۰). روش‌های مختلفی برای پهنه بندی شدت خشکسالی وجود دارد که در

[1] نویسنده مسئول: بهنوش فرخزاده be_farokhzadeh@yahoo.com

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.3.4]

یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان آنها را به دو گروه روش‌های زمین آمار و ریاضی قطعی طبقه‌بندی نمود (قهرودی تالی و بابایی فینی، ۱۳۸۹). یکی از بهترین روش‌های تحلیل داده‌های نقطه‌ای و پیش بینی، درون‌یابی و تهیه نقشه‌های پهنه بندی با استفاده از زمین آمار می‌باشد. طی چند دهه اخیر مبانی علم زمین آمار به خوبی گسترش یافته و توانایی‌های این شاخه از آمار در بررسی و پیش بینی متغیرهای مکانی مشخص شده است (Isaaks & Srivastava, 1989; Gundogdu & Esen, 2010). تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. خسروی دهکردی و همکاران (۱۳۹۶)، به منظور بررسی روند تغییرات آب زیر زمینی دشت شهرکرد از شاخص GRI [1] استفاده کردند. نتایج نشان داد شدیدترین خشکسالی در این منطقه در مقیاس زمانی یک ماهه با مقدار ۱/۸۷- رخ داده است. حسین پور و همکاران (۱۳۹۶)، جهت بررسی اثرات خشکسالی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت شهرکرد از شاخص SPI اصلاح شده در مقیاس های ۶، ۲۴ و ۴۸ ماهه و شاخص حالت پیزومتریک (PSI) و جهت پهنه‌بندی از روش‌های RBF[2] ، IDW [3] وکریجینگ معمولی استفاده کردند. نقشه‌های حاصل از پهنه بندی، بیانگر وقوع دو دوره خشکسالی آب زیرزمینی در بخش‌های جنوب غرب و شمال غرب آبخوان بوده که به تدریج مناطق مرکزی آبخوان را درگیر کرده است. Sun و همکاران (2009)، جهت درون یابی سطح آب زیرزمینی در چاه‌های پیزومتری در چین، انواع روش‌های کریجینگ، RBF وIDW را مورد ارزیابی قرار دادند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ ساده برای منطقه مناسب‌تر بوده است. Mishra و Nagarajan (۲۰۱۳)، برای ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی در هند، از شاخص سطح آب استاندارد شده (SWI)[4] استفاده کردند. تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی نقشه‌های SWI نشان داد که خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه از شرایط بدون خشکسالی تا شرایط خشکسالی خفیف تقریباً در تمام سال تغییر می‌کند. Abdullahi و همکاران (۲۰۱۵) در مالزی، روند داده‌های سطح آب زیرزمینی را با استفاده از آزمون ناپارامتری من کندال مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج حاصل از تحقیقات آنها نشان داد که روند افزایش افت سطح ایستابی در اکثر چاه‌های پیزومتری با سطح اطمینان ۵ درصد وجود داشته و قابل ملاحظه بوده است. Alijani و Yousefi Ramandi (۲۰۱۵)، در انتخاب بهترین روش زمین آمار برای پهنه‌بندی شدت خشکسالی هیدرولوژیکی در مناطق مرکزی و شمال غرب ایران به این نتایج دست یافتند که روش کریجینگ ساده با مدل کروی به عنوان مناسب ترین مدل شناخته شده است. Yeh و Chang (۲۰۱۹) جهت مطالعه و پایش خشکسالی در حوضه رودخانه کائوپینگ تایوان از شاخص‌های SPI [5] و SGI [6] استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان دهنده همبستگی مثبت و معنی دار بین خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی و افزایش شدت و مدت خشکسالی در این منطقه در سال ۲۰۱۴ بوده است. Khan و همکاران (۲۰۲۰) طی مطالعه‌ای به بررسی جنبه‌های مختلف خشکسالی طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ در یکی از استان‌های چین پرداختند. نتایج این تحقیق با استفاده از شاخص‌های SPI و SSI [7] نشان داد که تقریبا نیمی از حوادث خشکسالی شدید و استثنایی در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۰ و ۲۰۰۵ در این منطقه رخ داده است.

هدف از انجام پژوهش حاضر ارزیابی روش‌های درون یابی خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص سطح آب استاندارد شده (SWI) در آبخوان دشت ملایر است. این نوع شاخص برای تعیین وضعیت کاهش یا افزایش سطح آب زیرزمینی در یک منطقه کاربرد دارد.

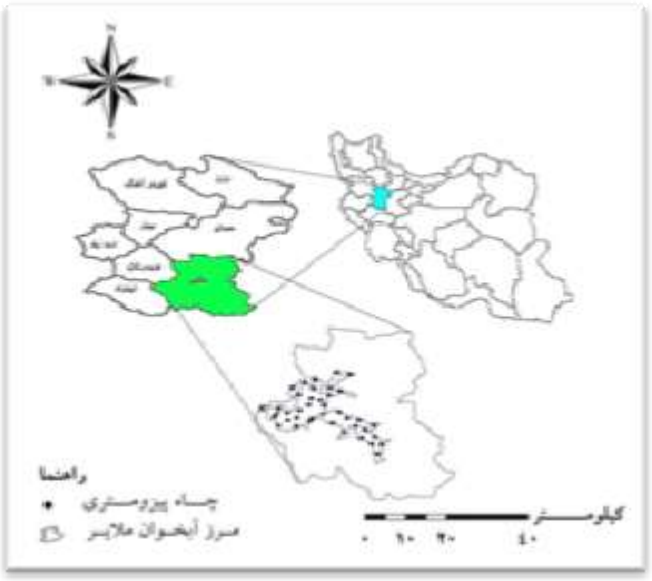
[1] Groundwater Resource Index
[2] Radial Basis Functions (RBF)
3 Inverse Distance Weighted
4. Standardized water level index
5 standardized precipitation index
6 standardized groundwater index
7 Standardized Soil Moisture Index

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.3.4]

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه، آبخوان اصلی دشت ملایر با وسعت ۵۱۸/۶۳ کیلومتر مربع واقع در استان همدان است که در فاصله بین ۴۶ درجه و ۶ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. میزان بارش سالانه در ناحیه ملایر به طور متوسط ۳۱۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۱۳/۸ درجه سانتیگراد است. منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه در بخش اقلیمی نیمه خشک سرد واقع می‌شود. موقعیت آبخوان دشت ملایر در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): موقعیت دشت ملایر و چاه‌های پیزومتری

در این تحقیق از آمار سالانه سطح ایستابی ۳۹ حلقه چاه پیزومتری با طول دوره آماری مشترک ۲۶ ساله (۱۳۹۸-۱۳۷۲) استفاده شده است. در طرح‌های منابع آب قبل از هر گونه تحلیل و محاسبه‌ای باید مواردی از جمله انتخاب پایه زمانی مشترک، بررسی درستی و همگنی داده‌ها و بازسازی نواقص آماری را مد نظر داشت. از این رو برای بررسی همگنی تمامی داده‌ها در چاه‌های پیزومتری آزمون کلموگراف-اسمیرنوف مورد استفاده قرار گرفت. و جهت بازسازی داده‌ها با استفاده از ضریب همبستگی بین چاه-های پیزومتری در مواردی که فاقد آمار بود اقدام به بازسازی شد. برای تهیه نقشه‌های خشکسالی در دشت ملایر، ابتدا مقادیر SWIداده‌های سطح ایستابی چاه‌های پیزومتری به کمک نرم افزار Minitab محاسبه گردید. پس از تعیین میانگین وزنی مقادیر SWI با توجه به سطح اثر هر چاه پیزومتری، با انتخاب سالی که کمترین میانگین SWI و سالی که بیشترین میانگین SWI را در طول دوره آماری داشته است (یعنی سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۹۱) انتخاب شدند. از آنجایی که شرط استفاده از روش‌های زمین آمار مانند کریجینگ، نرمال بودن داده‌هاست (فتحی هفشجانی و همکاران، ۱۳۹۳)، لذا نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگراف – اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعد برای انتخاب روش مناسب درون یابی نیاز به انتخاب بهترین تابع نیم تغییرنما (واریوگرام) برای برازش بر داده‌ها و روش ارزیابی متقابل می‌باشد که در این پژوهش سه نوع نیم تغییرنمای کروی، گوسن و نمایی استفاده شده است و به منظور ارزیابی روش‌های درون یابی دو معیار ارزیابی RMSE و MAE هم مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت روش مناسب درون یابی بر اساس کمترین مقادیر دو معیار مذکور برگزیده شد و نقشه‌های پهنه‌بندی شدت خشکسالی هیدرولوژیک در منطقه با نرم افزار ArcGIS در سال‌های مذکور تهیه گردید. در این تحقیق از بین روش‌های زمین آمار روش

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.3.4]

کریجینگ ساده و معمولی به دلیل دارا بودن دقت بالاتر و از بین روش‌های قطعی روش فاصله وزنی به دلیل دارا بودن سرعت عمل و قابلیت بالا برای تهیه نقشه پهنه بندی شدت خشکسالی استفاده شده است.

شاخص سطح آب استاندارد شده (SWI) [1]

شاخص سطح آب استاندارد شده توسط Bhuiyan در سال ۲۰۰۴ جهت پایش نوسانات سطح سفره‌های آب زیرزمینی در بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیک ارائه شده که بر اساس معادله (۱) محاسبه می‌شود:

$$SWI = \frac{W_{ij} - W_{im}}{\delta} \qquad (۱)$$

که در آن W_{ij}: سطح ایستابی چاه‌های پیزومتری i تا j ، W_{im}: میانگین ماهانه سطح ایستابی و σ : انحراف از معیار می‌باشد مقادیر مثبت این معیار نشان‌دهنده خشکسالی و مقادیر منفی نشان‌دهنده عدم خشکسالی و شرایط نرمال است (Bhuiyan و همکاران, 2006) (جدول ۱).

جدول (۱): طبقه بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص SWI

طبقات خشکسالی	مقادیر SWI
خشکسالی بسیار شدید	۲ >
خشکسالی شدید	۱/۵ تا ۲
خشکسالی متوسط	۱ تا ۱/۵
خشکسالی ملایم	۰ تا ۱
بدون خشکسالی	۰ >

ترسیم واریوگرام (نیم تغییر نما)

هدف اصلی از محاسبه واریوگرام این است که بتوان تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله مکانی یا زمانی شناخت. برای این کار لازم است مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی را که به فاصله معلوم از یکدیگر قرار دارند، محاسبه و در مقابل γ(h) رسم گردد (حسنی پاک، ۱۳۷۴). به مقدار نیم تغیرنما به ازای h=0 اثر قطعه ای (C_0) گفته می‌شود. با افزایش h مقدار نیم تغییرنما تا فاصله معینی اضافه می‌شود و پس از آن به حد ثابتی می‌رسد که به آن حد آستانه (C_0+C) می‌گویند. به فاصله بین نمونه ها که از آن به بعد مقادیر متغیر در نقاط مجاور تأثیر چندانی بر یکدیگر ندارند، دامنه یا شعاع تأثیر (A_0) گفته می‌شود (Isaaks & Srivastava,1989). قبل از کاربرد نیم تغییرنما، لازم است مناسب ترین مدل تئوری بر آن برازش داده شود که در این پژوهش سه نوع نیم تغییرنمای کروی، گوسن و نمایی استفاده شده است.

روش ارزیابی صحت

برای انتخاب روش مناسب درون یابی از روش ارزیابی متقابل [2] استفاده شده است. در این روش برای هر یک از نقاط مشاهده‌ای، که معمولاً تنها ابزار مقایسه می‌باشند، تخمین با بکارگیری روش درون یابی مورد نظر انجام می‌گیرد و سپس مقدار تخمین با مقدار مشاهده‌ای مقایسه می‌گردد. بدین ترتیب که در روش ارزیابی متقابل، 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 نقطه بعدی حذف می‌گردد و به همین ترتیب برای بقیه نقاط به صورت مجزا این برآورد صورت می‌گیرد به طوری که در پایان مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر برآورد شده در قالب معیارهای مختلف خطا مقایسه می‌شوند (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۳). معیارهای گوناگونی برای این کار وجود دارد که میتوان به مجذور میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین انحراف خطا (MAE) اشاره نمود. بدین صورت که بهترین مدل برازش

1.Standardized water level Index
2. Cross validation

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.3.4]

داده شده مدلی است که دارای کمترین میزان RMSE و دارای MAE نزدیک به صفر باشد. معادلات ۲ و ۳ محاسبه RMSE و MAE را نشان می‌دهند.

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

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Z^*(X_i) - Z(X_i)) \quad (۳)$$

که در آن $Z^*(x_i)$: مقدارتخمین زده شده متغیرZ در نقطه‌ای به مختصات x_0

$Z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر Z در نقطه‌ای به مختصات x_i

تجزیه و تحلیل روند داده‌ها با استفاده از آزمون من کندال

جهت بررسی و تحلیل روند داده‌های سطح آب در مقیاس زمانی سالانه در هر یک از چاه‌های پیزومتری از آزمون من کندال استفاده شده است. آزمون من کندال ابتدا توسط Mann (1945) ارائه و سپس توسط Kendall (1975) بسط و توسعه یافت. این روش به طور متداول وگسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به کار گرفته می‌شود (Lettenmaier et al., 1994). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. آزمون من کندال با تعریف آماره S بصورت رابطه (۴) تعریف می‌شود (Salmi et al., 2002).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1}\sum_{j=k+1}^{n} sgn(X_i - X_k) \quad (۴)$$

که در آن X_j و X_k میزان مرتب شده و n اندازه نمونه است. تابع علامت بصورت معادله ۵ قابل محاسبه است.

$$Sgn(x) = \begin{cases} +1 & If \quad (X_j - X_k) > 0 \\ 0 & If \quad (X_j - X_k) = 0 \\ -1 & If \quad (X_j - X_k) < 0 \end{cases} \quad (۵)$$

میانگین و انحراف معیار بصورت معادله (۶) و (۷) محاسبه می‌شوند:

$$E(S) = 0 \quad (۶)$$

$$var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i-1}^{m} t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (۷)$$

آماره این آزمون (Z) دارای توزیع نرمال بوده و از رابطه ۸ بدست می‌آید:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{Var(S)} & If \quad S > 0 \\ 0 & If \quad S = 0 \\ \frac{S+1}{Var(S)} & If \quad S < 0 \end{cases} \quad (۸)$$

چنانچه مقدار Z بزرگتر از ۱/۹۶+ و یا کوچکتر از ۱/۹۶- باشد، داده‌ها دارای روند بوده و فرض صفر رد می‌شود در غیر اینصورت داده‌ها بدون روند می‌باشند (علیزاده، ۱۳۸۵).

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.3.4]

نتایج

نتایج برآورد شاخص سطح آب استاندارد شده

در این تحقیق میزان شدت خشکسالی بر اساس شاخص SWI در مقیاس زمانی سالانه محاسبه شد که بیشترین میزان آن در سال آبی (۹۲-۱۳۹۱) در چاه‌های پیزومتری فروز با بزرگی ۵/۳۸ و نکیل آباد با بزرگی ۴ در منطقه رخ داده است (جدول ۲). جدول ۳ مقادیر میانگین SWI را در سال‌های آماری نشان می‌دهد.

جدول (۲): میزان شاخص SWI در سال آبی ۹۲-۱۳۹۱

ردیف	چاه پیزومتری	مقدار	ردیف	چاه پیزومتری	مقدار
۱	خرم آباد	۱/۶۴	۲۱	کرگان	**۱/۵۴**
۲	کهریز	۲/۸۹	۲۲	مهر آباد	**۲/۳۱**
۳	قلعه کرتیل آباد	۱/۴۲	۲۳	بابا کمال	**۲/۴۳**
۴	پیرمیشان	۰/۳۴	۲۴	بیارتو	**۰/۷۷**
۵	دهنو علی آباد	۰/۰۴	۲۵	لولوهر	**۰/۸۳**
۶	جوراب	۱/۵۴	۲۶	سید شهاب	**۱/۳۷**
۷	نامیله	۲/۳۷	۲۷	خیر آباد	**۱/۸۵**
۸	می آباد	۲/۶۲	۲۸	جریا	**۱/۰۶**
۹	داویجان	۳/۲۸	۲۹	ازندریان	**۰/۲**
۱۰	قلعه خلیفه	۰/۵۵	۳۰	ازناو	**۱/۵۶**
۱۱	کسب	۱/۸۸	۳۱	شمال اسکنان	**۱/۸**
۱۲	جوکار	۱/۴۲	۳۲	کلیل آباد	**۲/۱۳**
۱۳	قلعه آقابیک	۱/۳	۳۳	تگرکی	**۲/۲۸**
۱۴	دهنوآور زمان	۰/۷۲	۳۴	حسین آباد شاملو	**۱/۱۲**
۱۵	توچغاز کرتیل آباد	۱	۳۵	مبارک آباد	**۰/۹**
۱۶	انبارسیمان شهرداری	۱/۴۹	۳۶	میخواران	**۲/۵**
۱۷	مهدی آباد	۱/۶۹	۳۷	موزولان	**۱/۳**
۱۸	نماز گاه	۰/۹۲	۳۸	نکیل آباد	**۴**
۱۹	فروز	۵/۳۸	۳۹	کندهلان	**۰**
۲۰	حسین آباد ناظم	۱/۲۸	۴۰	ـــــ	ـــــــ

جدول (۳): میزان میانگین شاخص SWI در سال‌های آماری

سال آبی	۱۳۷۲-۷۳	۱۳۷۳-۷۴	۱۳۷۴-۷۵	۱۳۷۵-۷۶	۱۳۷۶-۷۷	۱۳۷۷-۷۸	۱۳۷۸-۷۹	۱۳۷۹-۸۰	۱۳۸۰-۸۱
میانگین SWI	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۸۹	۰/۷۹	۱/۱۴	۰/۱۱	*۰	۰/۲۷	-۰/۰۶
سال آبی	۱۳۸۱-۸۲	۱۳۸۲-۸۳	۱۳۸۳-۸۴	۱۳۸۴-۸۵	۱۳۸۵-۸۶	۱۳۸۶-۸۷	۱۳۸۷-۸۸	۱۳۸۸-۸۹	۱۳۸۹-۹۰
میانگین SWI	-۰/۲۱	-۰/۲۵	-۰/۱۲	-۰/۰۵	-۰/۰۲	-۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۴۹	۰/۷۳
سال آبی	۱۳۹۰-۹۱	۱۳۹۱-۹۲		۱۳۹۲-۹۳	۱۳۹۳-۹۴	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۶-۹۷	۱۳۹۷-۹۸
میانگین SWI	۰/۹۱	**۲/۶۳		۱/۰۲	۰/۹۰	۰/۷۶	۱	-۰/۰۱	-۰/۲۱

*کمترین مقدار و ** بیشترین مقدار خشکسالی

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.3.4]

نتایج پهنه بندی شدت خشکسالی

نتایج مربوط به آزمون کلموگراف – اسمیرنوف نشان داد که داده‌های مورد مطالعه دارای توزیع نرمال بودند. برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی شدت خشکسالی، سال‌های ۷۹-۷۸ و ۹۲-۹۱ به دلیل دارا بودن کمترین و بیشترین میانگین SWI در طول دوره آماری (مقادیر صفر و بیشتر، با توجه به جدول (۱)) انتخاب شدند. جدول (۴) ویژگی‌های واریوگرام و جدول (۵) نتایج ارزیابی و اعتبار سنجی روش‌های درون یابی را نشان می‌دهند.

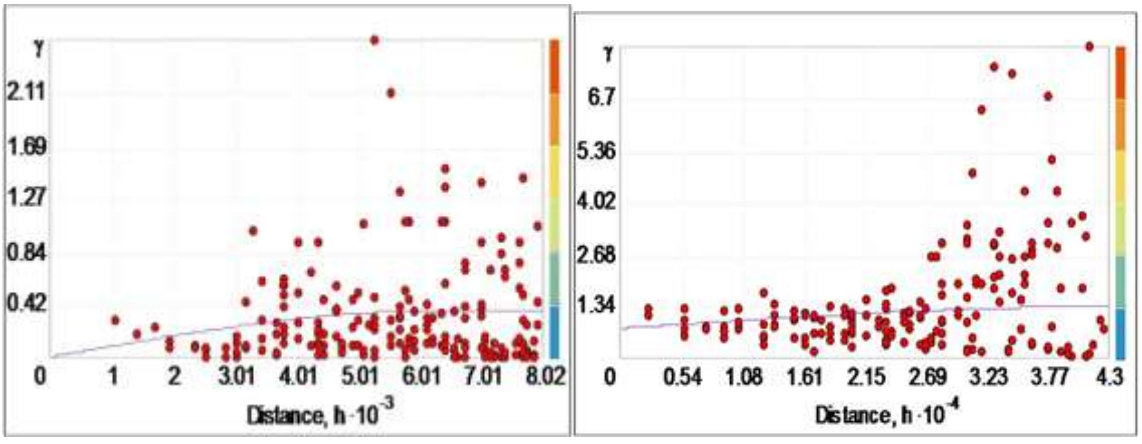
جدول (۴): واریوگرام و ویژگی‌های آن

SWI	مدل	اثر قطعه‌ای (C_0)	اثر آستانه (C_0+C)	(C_0 /C_0 + C)
سال ۷۸	کروی	۰	۰/۳۷	۰
	نمایی	۰	۰/۳۹	۰
	گوسن	۰/۱۱	۰/۲۷	۰/۴
سال ۹۱	کروی	۰/۷۷	۰/۵۶	۱/۰۷
	نمایی	۰/۷۸	۰/۴۶	۱/۶۹
	گوسن	۰/۷۹	۰/۷۲	۱/۱

جدول (۵): نتایج ارزیابی و اعتبار سنجی روش های درون یابی

روشهای پهنه بندی	SWI 78		SWI 91	
	میانگین انحراف خطا (MAE)	مجذور میانگین مربع خطا (RMSE)	میانگین انحراف خطا (MAE)	مجذور میانگین مربع خطا (RMSE)
کریجینگ ساده	۰/۰۰۱	۰/۰۵	-۰/۰۰۰۴	۱/۰۴
کریجینگ معمولی	۰/۰۲	۰/۶۴	۰/۰۰۰۴	۱/۰۸
فاصله وزنی معکوس با توان دو	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۶	۱/۱۷

با توجه به جدول (۵) روش کریجینگ ساده دارای RMSE و MAE پایین‌تری نسبت به سایر روش‌هاست، لذا روش کریجینگ ساده به عنوان روش مناسب جهت تهیه نقشه شدت خشکسالی در آبخوان دشت ملایر مورد استفاده قرار گرفت. شکل‌های (۲) واریوگرام تجربی داده‌های شاخص SWI را نشان می‌دهند.



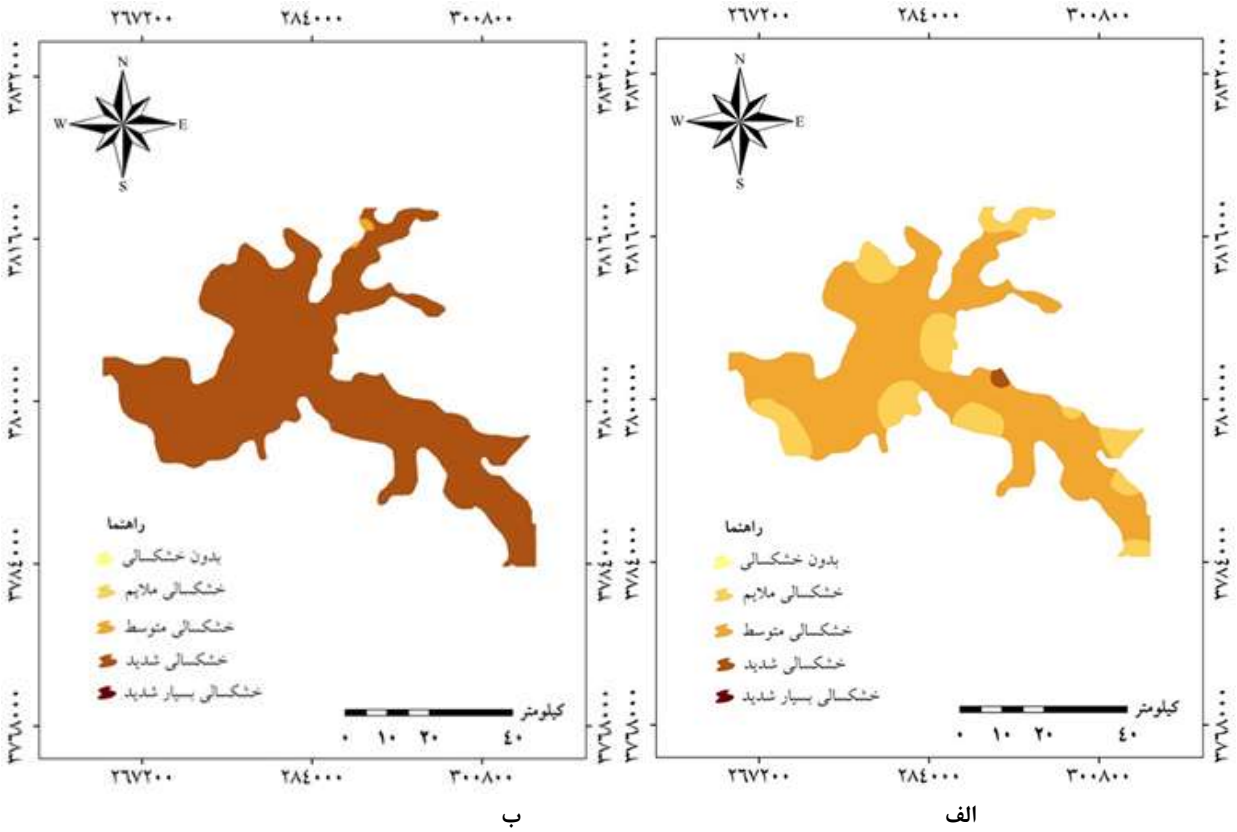
ب الف

شکل(۲): واریوگرام تجربی شاخص سطح آب استاندارد شده (الف) در سال آبی ۱۳۷۹-۱۳۷۸، (ب) در سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۱

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.3.4]

شکل (۳) نقشه‌های پهنه‌بندی شدت خشکسالی منطقه را بر اساس روش کریجینگ ساده نشان می‌دهند.



شکل (۳): نقشه پهنه بندی خشکسالی (الف) سال ۱۳۷۸، (ب) سال ۱۳۹۱

نتایج بررسی روند داده‌ها با استفاده از آزمون من کندال

بررسی آزمون من کندال در داده‌های سطح ایستابی چاههای پیزومتری نشان می‌دهد که در چاه‌های ازندریان، دهنو علی آباد و ازناو روند خاصی مشاهده نمی‌گردد و در مابقی چاه‌ها مقدار آماره من کندال (Z) بزرگتر از (۱/۹۶-) بوده یا به عبارت دیگر روند افزایش افت در آنها کاملاً مشهود است (جدول ۶).

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.3.4]

جدول (۶): مقادیر آماره من کندال در داده‌های سطح ایستابی چاه‌های پیزومتری

ردیف	چاه پیزومتری	آماره من کندال (Z)	ردیف	چاه پیزومتری	آماره من کندال (Z)
۱	ازندریان	-۱/۶۸	۲۱	حسین آباد شاملو	-۲/۹۶
۲	کندهلان	-۲/۹۱	۲۲	مهدی آباد	-۱/۹۸
۳	کسب	-۲/۸۵	۲۳	نمازگاه	-۲/۵۳
۴	پیرمیشان	-۲/۵۳	۲۴	توچغاز کرتیل آباد	-۲/۲۳
۵	می آباد	-۲/۳۸	۲۵	تگرکی	-۲/۷۶
۶	قلعه خلیفه	-۲/۲۱	۲۶	باباکمال	-۳/۰۷
۷	جوراب	-۲/۴۷	۲۷	میخواران	-۲/۳۸
۸	ازناو	+۱/۵۵	۲۸	جریا	-۲/۸۳
۹	نامیله	-۲/۱۲	۲۹	خیرآباد	-۲/۵۹
۱۰	مهرآباد	-۲/۲۶	۳۰	کلیل آباد	-۲/۸۵
۱۱	کرگان	-۲/۷۳	۳۱	دهنو علی آباد	-۰/۷۱
۱۲	سید شهاب	-۲/۴۶	۳۲	جوکار	-۲/۵۳
۱۳	حرم آباد	-۲/۱۹	۳۳	مبارک آباد	-۲/۰۹
۱۴	حسین آباد ناظم	-۲/۵۴	۳۴	بیارتو	-۲/۲۶
۱۵	شمال اسکنان	-۲/۴۵	۳۵	دهنو آور زمان	-۲/۹
۱۶	فروز	-۲/۶۳	۳۶	داویجان	-۳/۲۴
۱۷	کهریز	-۲/۱۲	۳۷	قلعه کرتیل آباد	-۲/۴۵
۱۸	نکیل آباد	-۲/۵۰	۳۸	موزولان	-۲/۸
۱۹	قلعه آقابیک	-۲/۵۳	۳۹	لولوهر	-۲/۶۷
۲۰	انبار سیمان شهرداری	-۲/۳۸	—	—	—

بحث و نتیجه گیری

بر اساس نتایج تحلیل واریوگرام بدست آمده از جدول (۴) مشخص گردید که واریوگرام داده‌های شاخص SWI از نوع مدل کروی بوده و در بین سایر مدل‌ها دارای میزان RMSE پایین‌تر است. افزون بر این نتایج بدست آمده از جدول (۵) نیز نشان می‌دهد که تمامی روش‌های درون یابی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند دارای مقادیر متفاوتی از RMSE و MAE می‌باشند. از آنجا که معیار انتخاب روش مناسب ارزیابی RMSE و MAE پایین‌تر است، لذا روش کریجینگ ساده (SK) با دارا بودن مقادیر RMSE و MAE پایین‌تر (برای سال ۱۳۷۸ با مقادیر RMSE=۰/۰۵ و MAE = ۰/۰۰۱ و برای سال ۱۳۹۱ با مقادیر RMSE=۱/۰۴ و MAE = -۰/۰۰۰۴) بر سایر روش‌ها برتری داشته و در نتیجه به عنوان مناسب‌ترین روش تهیه نقشه شدت خشکسالی منطقه مورد بررسی انتخاب شد که این نتیجه با نتایج تحقیقات Alijani و Yousefi Ramandi (۲۰۱۵)، در مناطق مرکزی و شمال غرب ایران مطابقت دارد. بررسی نقشه حاصل از پهنه‌بندی شدت خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از روش کریجینگ ساده با مدل کروی در سال آبی ۱۳۷۹-۱۳۷۸ نشان داد که منطقه از نظر وضعیت خشکسالی در طبقات ملایم، متوسط و شدید قرار گرفته که به ترتیب ۴۳/۸۶٪، ۴۵/۱۳ ٪ و ۲/۰۱ ٪ از مساحت کل آبخوان را به خود اختصاص داده است. بنابراین بیشترین میزان خشکسالی مربوط به خشکسالی متوسط بوده و از نظر مکانی در مرکز و غرب حوضه رخ داده است. خشکسالی شدید تنها در شرق آبخوان در محدوده تحت تأثیر چاه کرگان اتفاق افتاده است. نتیجه این که از سمت شرق به غرب بر میزان خشکسالی نیز افزوده می‌شود. همچنین نقشه پهنه‌بندی خشکسالی هیدرولوژیکی در سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ گویای وضعیت خشکسالی در طبقات متوسط و شدید بوده که به ترتیب ۲/۳۲٪ و ۹۷/۶۸ ٪ از مساحت کل آبخوان را به خود اختصاص داده است. تنها قسمت کوچکی از شمال شرق آبخوان در محدوده تحت تأثیر چاه ازندریان در طبقه متوسط خشکسالی قرار دارد و مابقی آبخوان تحت تاثیر خشکسالی

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.3.4]

شدید می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که شدیدترین خشکسالی در سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ رخ داده و با گذشت زمان شرایط به طور کامل تغییر کرده است، به طوری که خشکسالی متوسط تبدیل به خشکسالی شدید گردیده و تمام دشت را فرا گرفته است. از جمله دلایل اساسی بروز تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی‌ها در مناطق مختلف را می‌توان به خصوصیات توپوگرافی حوزه، خصوصیات هیدرولیکی آبخوان، تغییرات اقلیمی و افزایش تقاضا در دوره‌های کم آبی نسبت داد. نتایج حاصل از تحقیق حاضر با تحقیقات Nagarajan and Mishra, (۲۰۱۳) در هند مشابه است. تحلیل آزمون من کندال از داده‌های سطح آب در چاه‌های پیزومتری دشت ملایر نشان داد که دراکثر چاه‌ها روند افزایش افت کاملاً مشهود است. روند افزایشی افت سطح آب در این منطقه می‌تواند ناشی از برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی و پمپاژ جهت تأمین آب مورد نیاز باشد. به طور کلی می‌توان گفت که آبخوان دشت ملایر در سال‌های خشک بسیار آسیب پذیر بوده و روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در آن بیانگر وضعیت نامطلوب حاکم بر این آبخوان است بنابراین توجه به مدیریت بهره برداری از آب زیرزمینی در این منطقه بویژه در سال‌های خشک بسیار حائز اهمیت است.

منابع

۱. امیدوار، ک.، ر. ابراهیمی و ف. راستی (۱۳۹۳). ارزیابی برخی روش‌های زمین آمار در پهنه‌بندی شدت خشکسالی (مطالعه موردی: مناطق شمال غرب و مرکزی ایران). فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال پنجم، شماره ۱۷، ۴۳-۳۰.

۲. حسنی پاک، ع. ا. (۱۳۷۷). زمین آمار (ژئواستاتیستیک). انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۳۱۴ صفحه.

۳. حسین پور، ز.، م. رادفر و ر. میرعباسی نجف آبادی (۱۳۹۶). ارزیابی و پهنه بندی خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص دشت شهرکرد، نخستین کنفرانس بین المللی علوم کشاورزی، دامی منابع طبیعی محیط زیست گردشگری روستایی و گیاهان دارویی کشورهای اسلامی، مشهد.

۴. خسروی دهکردی، ا.، ر. میرعباسی نجف آبادی و ا. قاسمی دستگردی (۱۳۹۶). پهنه بندی خشکسالی آب‌های زیرزمینی با استفاده از شاخص GRI در دشت شهرکرد، شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، اردبیل.

۵. شفیعی، م.، ب. قهرمان، ح. انصاری و م. ب. شریفی (۱۳۹۰). شبیه سازی تصادفی شدت خشکسالی بر اساس شاخص پالمر. مجله مدیریت آب و آبیاری، ۱(۱)، ۱۳-۱.

۶. عشیری، م. و ع. هوشمند (۱۳۹۲). خشکسالی و موانع و چالش‌های برنامه ریزی منابع آب در شرایط خشکسالی. اولین همایش ملی بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان (اصفهان).

۷. علیزاده، ا. (۱۳۸۵). اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۸۰۸ صفحه

۸. فتحی هفشجانی، ا.، ح. بیگی هرچگانی، ع. داودیان دهکردی و س. ح. طباطبایی (۱۳۹۳). مقایسه چند روش درون‌یابی مکانی و انتخاب مناسب‌ترین روش برای پهنه بندی نیترات و فسفات در آب زیرزمینی شهرکرد. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال چهارم، شماره پانزدهم، ۶۳-۵۱.

۹. قهرودی تالی، م. و ا. بابایی فینی (۱۳۸۹). درآمدی بر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی. انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ اول، آذر ۱۳۸۹، ۷۸ صفحه.

۱۰. قیصوری، م.، س. سلطانی گردفرامرزی و م. قاسمی (۱۳۹۷). ارزیابی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک و تأثیر آن بر کیفیت آب (مطالعه موردی: رودخانه گدارخوش). علوم و مهندسی آبیاری, ۴۱(۴).

۱۱. کریمی، م. و ک. شاهدی (۱۳۹۷). بررسی خشک‌سالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی با استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی (مطالعهٔ موردی: حوزه آبخیز قره‌سو). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی, ۹(۲), ۱-۱۶.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.3.4]

۱۲. میریعقوب زاده، م. ح.، س. ا. خسروی و م. ذبیحی (۱۳۹۸). مروری بر شاخص‌های خشکسالی و بررسی عملکرد آن‌ها. آب و توسعه پایدار, ۶(۱), ۱۰۳-۱۱۲.

13. Abdullahi M. G., Toriman M. E., Gasim M. B. and Garba I. (*2015). Trends Analysis of Ground Water: Using Non Parametric Methods in Terengganu Malaysia.* Journal of Earth Science and Climatic Change, *No 6, 251p, ISSN: 2157-7617.*
14. Alijani B. and Yousefi Ramandi R. (*2015*). *Choosing the best geostatistics method for the zonation of drought and wet years (Case study: northwestern and central areas of Iran).* Applied Mathematics in Engineering, Management and Technology, *3(1), 120-130 pp*.
15. Bhuiyan C., Singh R. P. and Kogan F. N. (*2006*). *Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data*. International Journal of Applied Earth Observation and Geo information, *8, 289–302 pp.*
16. Gundogdu I. B. and Esen O. (*2010*). *The importance of secondary variables for mapping of meteorological data.* 3rd International Conference on Cartography and GIS, Institute. Colombo, Sri Lanka. *1-10 pp.*
17. Isaaks E. H. and Srivastava R. M. (*1989*). *An introduction to applied geostatistics*, Oxford University Press. New York, *541 p.*
18. Kendall M. G. (*1975*). *Rank Correlation Measures*. London, Charles Griffin.
19. Khan M. I., Zhu X., Arshad M., Zaman M., Niaz Y., Ullah I., and Uzair M. (*2020*). *Assessment of spatiotemporal characteristics of agro-meteorological drought events based on comparing Standardized Soil Moisture Index, Standardized Precipitation Index and Multivariate Standardized Drought Index*. Journal of Water and Climate Change, *11(S1), 1-17.*
20. Lettenmaier D. P., Wood E. F. and Wallis J. R. (*1994*). *Hydro-climatological Trends in the Continental United States*. Journal Climate. *Vol 1948–88, 7: 586–607 pp.*
21. Lloyd Hughes B. (*2002). The long Range Predictability of European Drought. Doctoral dissertation*, University of College, London.
22. Mann H. B. (*1945*). *Non Parametric tests against trend*. Econometric, *vol 13, 245–259 pp.*
23. Mishra S. and Nagarajan R. (*2013*). *Hydrological Drought Assessment in Tel River Basin using Standardized Water Level Index (SWI) and GIS based Interpolation Techniques.* International Journal of Conceptions on Civil Engineering. 1(1).
24. Salmi T., Maatta A., Anttila P., Ruoho T. and Amnell T. (*2002). Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates the Excel template application MAKESENS.* Publications on Air Quality, *No 31, Report code FMI-AQ-31.*
25. Smakhtin V.U. and hughes D.A. (*2004*). Review, Automated Estimation and Analyses of Drought Indices in south Asia. International Wter Management
26. Sun Y., Kang Sh., Li F. and Zhang L. (*2009*). *Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin Oasis of Northwest China*. Elsevier Science Publishers, *vol 24, 1163-1170 pp.*
27. Yeh H. F., and Chang C. F. (*2019*). *Using standardized groundwater index and standardized precipitation index to assess drought characteristics of the Kaoping River Basin,* Taiwan. Water Resources, *46(5), 670-678.*

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.3.4]

Evaluation of geostatistical methods in hydrological drought severity zoning in the Malayer plain

Behnoosh Farokhzadeh[1*],Hamideh Vaseghnezhad[2]

1-*Corresponding Author: Assistant Professor, Nature Engineering Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Iran

2- Master of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Iran

Received: 2020/12

Accepted: 2021/02

Abstract

Due to the undeniable impact of drought on human life, careful study of this phenomenon seems essential. The purpose of this study is to evaluate the accuracy of Geostatistical methods in preparing the drought severity map in the Malayer plain using the Standardized Water-Level Index (SWI) and analyze the trend of the Piezometric well. The results based on RMSE and MAE criteria showed that among the interpolation methods, simple Kriging method (SK) with the spherical model due to having lower RMSE and MAE (for 1999 with RMSE = 0.05 and MAE = 0.001 and For 2012, with RMSE = 1.04 and MAE = - 0.0004) was the most accurate method and was selected as the most appropriate approach to prepare the drought severity map. The results also showed that in most Piezometric wells in the region, the trend of water table level drop is significant.

Keywords: drought severity zoning, Malayer plain, SWI index, Kriging.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.3.4]

[1] *be_farokhzadeh@yahoo.com