

Zoning of Hydrogeological Drought Severity in Arid Regions and It's Relation with Meteorological Drought (Case Study: Garmsar Plain)

Zahra Noori^{ID} | Arash Malekian*^{ID}✉

Department of Reclamation of Arid & Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
E-mail: malekian@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 10 Mar. 2015

Received in Revised from: 15 Nov. 2021

Accepted: 20 Nov. 2021

Published online: 22 Aug. 2023

Keywords:

Geostatistics,

Garmsar Plain,

Hydrogeologic Drought,

Interpolation Methods.

Abstract

Groundwater is an important water resource, especially in arid and semi-arid regions. Increased utilization of the groundwater aquifer leads to a significant reduction in reservoir storage. This study evaluates hydrogeological drought in the Garmsar plain using the Groundwater Resource Index (GRI). First, we used data from 17 piezometric wells over the statistical period of 2001-2011 to calculate the GRI at the beginning, middle, and end of the period. We then used different interpolation methods, including the geostatistical methods ordinary kriging (OK) and simple kriging (SK), as well as deterministic methods like inverse distance weighting (IDW), to prepare maps for the three periods. The mean absolute error (MAE) and root mean square error (RMSE) indices were used to evaluate the accuracy of simple kriging, ordinary kriging, and IDW classifications based on the drought maps. The results showed that the values of the MAE and RMSE criteria for simple kriging were better than the other methods, indicating the suitability of this method for zoning GRI. According to the results, the most severe hydrogeological drought in the Garmsar plain occurred at the end of 2011, where 91.16% of the study area suffered from severe drought. The Standardized Precipitation Index (SPI) was used to consider the effects of meteorological drought on groundwater at time scales of 3, 6, 9, 12, 24, and 48 months. The correlation between SPI and GRI showed that the 48-month timescale had the greatest correlation with groundwater levels.

Cite this article: Noori, Z., Malekian, A. (2023). Zoning of Hydrogeological Drought Severity in Arid Regions and It's Relation with Meteorological Drought (Case Study: Garmsar Plain). *Journal of Range & Watershed Management*, 76 (1), 103-114. DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2021.120126.847>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

پهنه‌بندی شدت خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک در مناطق خشک و ارتباط آن با خشکسالی‌های هواشناسی (مطالعه موردی: دشت گرمسار)

زهرا نوری  | آرش ملکیان 

گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
رایانامه: malekian@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۸/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۵/۳۱

سفره‌های آب زیرزمینی از مهمترین منابع تامین آب به ویژه برای مناطق خشک و کم آب هستند. افزایش بهره برداری از سفره‌های آب زیرزمینی باعث افت چشمگیری در این مخازن ذخیره شده است. در این مطالعه با استفاده از شاخص منابع آب زیرزمینی به بررسی خشکسالی هیدروژئولوژیک در محدوده مطالعاتی دشت گرمسار پرداخته شد. ابتدا مقدار شاخص با استفاده از داده‌های سطح آب در ۱۶ حلقه چاه پیژومتری با طول دوره آماری مشترک ۱۱ ساله (۱۳۹۰-۱۳۸۰) برای ابتدای دوره، میان دوره و انتهای دوره محاسبه شد. سپس با استفاده از روش‌های مختلف درون یابی شامل روش‌های زمین آماری از جمله کریجینگ معمولی (OK)، کریجینگ ساده (SK) روش قطعی عکس مجذور فاصله (IDW) نقشه شاخص در این سه دوره تهیه شد. از معیارهای میانگین مطلق خطا (MAE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای ارزیابی روش‌های درون یابی استفاده شد. نتایج نشان داد که مقادیر معیارهای MAE و RMSE برای روش کریجینگ ساده کمتر از سایر روش‌ها بوده و نشان دهنده مناسب بودن این روش برای پهنه‌بندی خشکسالی با روش GRI است. بیشترین خشکسالی هیدروژئولوژیک دشت گرمسار مربوط به انتهای دوره یعنی مربوط به سال ۱۳۹۰ بود که ۹۱/۱۶ درصد از محدوده مورد مطالعه را خشکسالی شدید فرا گرفته بود. برای بررسی تاثیر خشکسالی هواشناسی بر روی سطح آب زیرزمینی از روش SPI در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه استفاده شد. همبستگی بین روش SPI و GRI نشان می‌دهد که SPI با مقیاس زمانی بلند مدت ۴۸ ماهه بیشترین همبستگی ($R^2 = 0/53$) را با خشکسالی هیدروژئولوژیک دارد.

کلیدواژه‌ها:

خشکسالی هیدروژئولوژیک،

دشت گرمسار،

روش‌های درون‌یابی،

زمین آمار.

استناد: نوری؛ زهرا، ملکیان؛ آرش (۱۴۰۲). پهنه‌بندی شدت خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک در مناطق خشک و ارتباط آن با خشکسالی‌های هواشناسی (مطالعه موردی: دشت گرمسار). نشریه مرتع و آبخیزداری، ۷۶(۲)، ۱۱۴-۱۰۳.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2021.120126.847>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

منابع آب زیرزمینی به عنوان مهمترین منابع تامین آب در مناطق کم باران و حاشیه کویرها است که به دلیل کمبود آب در این مناطق، مورد بهره برداری غیر اصولی قرار می‌گیرند و این مخازن را مورد تهدید قرار می‌دهند. بهره برداری زیاد و غیر اصولی و تغییر اقلیم باعث افت و کسری مخزن آبخوان‌های اصلی استان سمنان شده است بطوریکه باعث کاهش دبی چاه‌ها و قنات‌ها، پیشروی جبهه آب شور و شور شدن آب‌های زیرزمینی و افت سطح آب زیرزمینی و در مواردی باعث نشست زمین و خسارت وارد شدن به تاسیسات و زیرساخت‌ها می‌شود. لذا با بررسی تغییرات زمانی نوسانات سطح آب زیرزمینی و مدیریت صحیح آبخوان‌ها از طریق ایجاد تعادل بین تغذیه و برداشت و اعمال محدودیت بهره برداری در بخش‌های آسیب پذیر آبخوان می‌توان در جهت کاهش روند افت و خشکسالی در آب‌های زیر زمینی اقدام کرد. مدیریت خشکسالی مانند مدیریت هر پدیده مخرب طبیعی دیگر شامل چهار مرحله است. شناخت مناطق مستعد بروز خشکسالی با پیش و پیش‌بینی، تعیین اثرات و خسارت‌های وارده به منابع طبیعی بر اساس شدت و مدت خشکسالی، پهنه‌بندی بر اساس مراحل شناخت و اثرات آن و راهکارها و برنامه‌های کاهش و جبران خسارت با ارزیابی برنامه‌های اجرا شده می‌باشد (طرح جامع مدیریت خطرپذیری خشکسالی، ۲۰۱۲). خشکسالی هیدروژئولوژیک نسبت به خشکسالی هیدروژئولوژیک با تاخیر زمانی رخ می‌دهد اما اثرات آن بیشتر و طولانی‌تر است. امروزه مطالعات زیادی در ایران بر روی روند زمانی دما و بارش صورت گرفته است (طبری و همکاران، ۲۰۱۲؛ صبوحی و همکاران، ۲۰۱۲؛ نجفی تورآباد و جلیلی، ۲۰۱۱) اما بررسی تغییرپذیری بلند مدت دبی رودخانه و تاثیر تغییر اقلیم بر روی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی بطور جامع انجام نشده است. برای ارزیابی و پایش خشکسالی در آب‌های زیرزمینی شاخص‌های مختلفی وجود دارند که تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی را نشان می‌دهند. روش (GRI)^۱ به بررسی خشکسالی هیدروژئولوژیک بر اساس عمق سطح ایستابی می‌پردازد. مطالعات مختلفی در زمینه خشکسالی صورت گرفته است به پایش و پیش‌بینی خشکسالی در منطقه کالابریا در ایتالیا در اقلیم مدیترانه با استفاده از روش GRI پرداخته شد. آنها شاخص بارش استاندارد (SPI)^۲ برای محاسبه اثرات خشکسالی روی آبخوان، خاک و کاربری اراضی ناتوان دیدند و روش GRI را ابزاری مفید برای پایش و پیش‌بینی خشکسالی بیان کردند. نتایج نشان داد که خصوصیات سنگ شناسی حوضه بر روش GRI موثر است و این شاخص نسبت به روش SPI برای پیش‌بینی خشکسالی مناسب تر است (مندیکینو^۳ و همکاران، ۲۰۰۸). ارزیابی خشکسالی آب زیرزمینی و آب سطحی با توجه به کیفیت زیستگاه‌ها در اسلاواکی نشان داد که طولانی‌ترین دوره خشک که میزان دبی کمتر از میزان جریان حداقل است در طول دوره چندساله ۱۹۸۶-۱۹۸۷ رخ داده است که مربوط به برداشت زیاد آب در بخش بالادست حوضه توسط فعالیت‌های انسانی است و نیازمند راهبرد مدیریت جامع منابع آب است (فندکوا^۴ و همکاران، ۲۰۱۱). بررسی ویژگی‌های خشکسالی براساس شاخص بارش استاندارد در حوزه رودخانه Huaihe در چین نشان داد که فراوانی خشکسالی در حوزه این رودخانه کاهش یافته و شدت خشکسالی افزایش یافته است. مهمترین نوع خشکسالی، خشکسالی متوسط و خشکسالی شدید بندرت رخ داده است (یان جون^۵ و همکاران، ۲۰۱۲).

نتایج تجزیه و تحلیل خشکسالی منطقه Abruzzo در مرکز ایتالیا با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس‌های زمانی مختلف (۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه) نشان داد که در بیشتر ایستگاه‌ها شدت خشکسالی و تغییرات آن به ویژه در مقیاس بلندمدت افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از آزمون من کندال برای تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی (SPI) نشان دهنده روند منفی به ویژه در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه است. آنها تجزیه مولفه‌های اصلی را برای سری‌های زمانی SPI برای شناسایی همبستگی روش SPI با دو الگوی مهم مکانی، مناطق ساحلی و مناطق داخلی و کوهستانی بکار بردند. نتایج نشان داد که تاثیر الگوهای مکانی با افزایش مقیاس زمانی کمتر دیده می‌شود و باعث عدم قطعیت بیشتر در شناسایی مناطق همگن برای استفاده در برنامه‌های مدیریت خشکسالی می‌شود. نتایج با تاکید بر پیچیدگی پدیده خشکسالی در منطقه مدیترانه،

¹ Groundwater Resource Index

² Standard Precipitation Index

³ Mendicino

⁴ Fendekova

⁵ Yan- jun

استفاده از داده‌های با دقت بالا برای بدست آوردن تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی ضروری می‌داند (دی لنا^۱ و همکاران، ۲۰۱۳).

بررسی روش‌های درون یابی در پهنه‌بندی خشکسالی در استان گلستان با استفاده از روش‌های درون یابی قطعی (IDW)^۲، (GPI)^۳، (RBF)^۴ و روش زمین آماری Kriging نشان داد که روش‌های زمین آماری در مقایسه با روش‌های قطعی برتری دارند (فندکوا^۵ و همکاران، ۲۰۱۱). بررسی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی تحت شرایط اقلیمی متفاوت در حوضه آبریز نیشابور برای یافتن اثرات خشکسالی و ترسالی روی سطح آب زیرزمینی از روش SPI نشان داد که SPI با مقیاس زمانی بلند مدت ۴۲ ماهه از همبستگی بیشتری (R² = ۰/۵۱۹) با سطح آب زیرزمینی دشت برخوردار است (نادریان فر و همکاران، ۲۰۱۱). بررسی خشکسالی هیدروژئولوژیک در آبخوان دشت فسا با استفاده از شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) بیانگر وقوع خشکسالی در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ در منطقه مذکور بوده و در این منطقه شاخص خشکسالی هیدروژئولوژیک GRI با شاخص خشکسالی هواشناسی SPI در مقیاس ۴۸ ماهه بدون تاخیر زمانی رابطه معنی داری را نشان می‌دهد (صبحی و همکاران، ۲۰۱۲). بر اساس شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) روند خشکسالی دشت اردبیل بررسی و مقدار شاخص با استفاده از داده‌های آب زیر زمینی در طی سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۶۹ محاسبه و با استفاده از GIS روند تغییرات برای این دوره تهیه شد و نتایج نشان دهنده افزایش روند خشکسالی در منطقه مذکور بوده است (طبری و همکاران، ۲۰۱۲).

محاسبه شاخص بارش استاندارد (SPI) در استان خراسان رضوی و ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی مانند Kriging، Cokriging، IDW با استفاده از معیارهای خطاگیری، RMSE، MSE، MBA و %G نشان داد بهترین روش برای درون یابی شدت خشکسالی روش SPI، روش کریجینگ عمومی است چون دارای کمترین خطا است (حمیدیان و همکاران، ۲۰۱۱). محاسبه روش GRI به منظور بررسی خشکسالی آبخوان مروست طی سال‌های ۸۸-۶۶ که روند خشکسالی را افزایشی نشان دادند (ملکی نژاد و پورشریعی، ۲۰۱۱). در بررسی اثر خشکسالی بر سطح ایستابی آبخوان دشت تربت جام - فریمان با استفاده از شاخص‌های SPI و GRI بیشترین رابطه بین شاخص‌های SPI چهل و هشت ماهه در مقیاس دراز مدت با روش GRI می‌باشد (یاسمنی و همکاران، ۲۰۱۲). مقایسه دو روش SPI و GRI در آبخوان کوهپایه سگری نشان داد که به دلیل طولانی بودن فرایند نفوذ و تغذیه آب‌های زیرزمینی ناشی از بارش، این دو شاخص دارای فاصله زمانی هستند و خشکسالی هیدروژئولوژیک نسبت به خشکسالی اقلیمی با تاخیر زمانی رخ خواهد داد (دکترصفایی و همکاران، ۲۰۱۳).

هدف از این تحقیق بررسی روند خشکسالی هیدروژئولوژیک با استفاده از روش GRI و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از روش‌های قطعی مانند IDW و روش‌های زمین آماری Kriging و ارزیابی این روش‌ها با استفاده از معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین مطلق خطا (MAE) در منطقه گرمسار است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی گرمسار یکی از مناطق استان سمنان محسوب می‌شود که در مسیر جاده تهران به سمنان واقع شده است. مساحت دشت مذکور ۵۵۴۶/۶ کیلومتر مربع می‌باشد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که آبخوان اصلی دشت در مخروطه افکنه گرمسار قرار دارد و آب‌های نفوذی حاصل از جریانات سطحی رودخانه حبله رود عامل اصلی تغذیه دشت مذکور می‌باشد. دشت گرمسار در جنوب رشته کوه‌های البرز مرکزی بین طول‌های جغرافیایی ۱۵°-۵۲ تا ۳۵°-۵۲ طول شرقی و ۵°-۳۵ تا ۱۷°-۳۵ عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط دشت ۹۹۰ متر بالاتر از سطح دریا است. حدود ۵۰۰ کیلومتر مربع آن را اراضی قابل کشت تشکیل می‌دهد. رودخانه حبله رود مهمترین منبع آب سطحی و دشت منتهی به آن یعنی دشت گرمسار از مهمترین آبخوان‌های منطقه بشمار می‌رود که بطور متوسط

¹ Di Lena

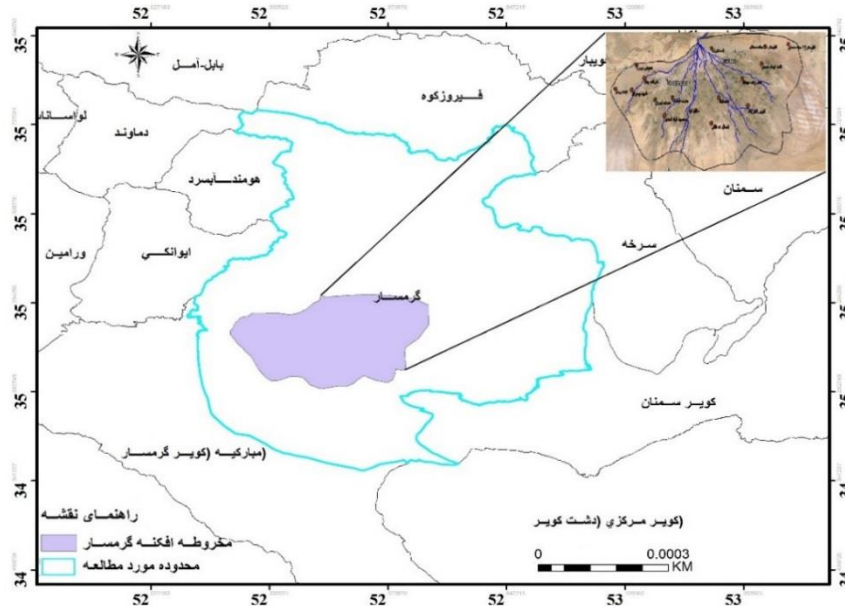
² Inverse Distance Weight (IDW)

³ Global Polynomial Interpolation (GPI)

⁴ Radial Basis Functions (RBF)

⁵ Fendekova

سالانه ۱۴۲ میلیون متر مکعب از سفره آب زیرزمینی را تخلیه می‌کند. نقشه شماره (۱) موقعیت جغرافیایی مخروطه افکنه دشت گرمسار و در جدول (۱) مشخصات چاه‌های مشاهده‌ای منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت و مخروطه افکنه گرمسار

جدول ۱. مشخصات چاه‌های پیزومتری دشت گرمسار

مختصات نقطه‌ای		نام	ردیف
UTMx	UTMy		
۶۱۱۱۹۲	۳۸۹۶۰۵۶	تخت رستم	۱
۶۳۱۲۷۲	۳۸۹۰۶۷۸	شهید چمران	۲
۶۵۱۹۶۵	۳۸۹۳۴۴۹	خدمات لجران	۳
۶۴۲۶۸۹	۳۸۹۹۶۰۸	کهنک قلعه اسدی	۴
۶۲۳۳۳۷	۳۸۹۳۷۰۸	کوشک (جنوب کوشک)	۵
۶۴۳۶۲۵	۳۸۰۳۳۳۶	محمود آباد اسدی	۶
۶۱۷۱۰۲	۳۸۹۷۶۹۰	ده نقش (شمال ده نقش)	۷
۶۳۱۵۶۲	۳۹۰۳۶۳۵	قلعه اکبر آباد	۸
۶۲۷۹۶۰	۳۸۹۱۰۳۱	مگس تپه	۹
۶۱۵۱۵۸	۳۹۰۰۷۵۲	اکتشافی سر دره	۱۰
۶۳۲۸۶۵	۳۸۹۳۰۹۹	شرکت پیام	۱۱
۶۳۱۲۷۲	۳۸۹۰۶۷۸	شهید چمران	۱۲
۶۳۸۶۷۷	۳۸۹۱۵۱۲	اکبر آباد کویر آباد	۱۳
۶۳۷۹۹۰	۳۸۹۶۴۶۶	امامزاده عبدالله	۱۴
۶۱۴۵۱۸	۳۸۹۵۶۲۹	احمد آباد قلعه احمد آباد	۱۵
۶۲۱۸۰۰	۳۸۹۰۰۹۸	کیلومتر ۲۰ جاده سمنان	۱۶
۶۴۹۱۵۹	۳۹۰۳۶۵۷	کیلومتر ۲۶ جاده سمنان	۱۷
۵۲۲۶۰۰	۳۵۱۷۵۹	ایستگاه بارانسنجی بنکوه	۱۸

۲-۲. روش تحقیق

ابتدا با توجه به آمار چاه‌های پیژومتری با توجه به دوره‌های متعدد آماری، طول دوره آماری مشترک تعیین شد. از سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۳ مجموعاً ۳۵ حلقه چاه مشاهده‌ای جهت اندازه‌گیری و کنترل نوسانات سطح سفره آب زیر زمینی در دشت گرمسار حفاری شده است که به دلیل افت سطح آب زیرزمینی تعداد زیادی از چاه‌ها جا به جا شدند لذا با بررسی آمار موجود ۱۶ حلقه چاه پیژومتری که دارای آمار نسبتاً مناسبی در طول دوره ۱۳۹۰-۱۳۸۰ انتخاب شدند. قبل از ورود به بحث تجزیه و تحلیل داده‌ها، لازم است نواقص آماری موجود در تعدادی از چاه‌ها بازسازی شود. روش‌های مختلفی جهت بازسازی داده‌های گمشده وجود دارند که هر کدام با دخالت دادن پارامترهای خاصی داده‌ها را برآورد می‌کنند. این تحقیق با استفاده از روش همبستگی در نرم افزار آماری میزان ضریب همبستگی چاه دارای خلاء آماری با کلیه چاه‌های که دارای آمار کاملی بودند محاسبه شد و سپس بر اساس چاهی که بیشترین ضریب همبستگی را با آن داشت نواقص آماری بازسازی شد. پس از بازسازی آماری با محاسبه متوسط سطح ایستابی در هر سال آبی، روش GRI برای هر سال آبی در بازه زمانی ۱۳۹۰-۱۳۸۰ محاسبه شد. سپس مقدار شاخص برای ابتدای دوره ۱۳۸۰، میان دوره ۱۳۸۵ و انتهای دوره ۱۳۹۰ محاسبه شد. برای محاسبه روش GRI از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$GRI = \frac{D_i - \bar{D}}{\delta} \quad \text{رابطه (۱)}$$

GRI_i = مقدار شاخص در سال i

D_i = میانگین سطح ایستابی در سال i

δ = انحراف معیار داده‌ها

\bar{D} = میانگین سطح ایستابی

مقدار این شاخص در بیشتر مواقع بین ۲+ تا ۲- متغیر است و مقادیر منفی نشان دهنده خشکسالی و مقادیر مثبت نشان دهنده ترسالی است که در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲. طبقه‌بندی خشکسالی روش GRI

ردیف	مقادیر GRI	کلاس	ردیف	مقادیر GRI	کلاس
۱	> 2	ترسالی بسیار شدید	۵	-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
۲	۱/۹۹ تا ۱/۵	ترسالی شدید	۶	-۱/۴۹ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
۳	۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط	۷	< -2	خشکسالی بسیار شدید
۴	۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نرمال			

همچنین شاخص بارش استاندارد شده (SPI) برای پایش خشکسالی هواشناسی، در مقیاس‌های زمانی مختلف در طول دوره آماری ۱۳۸۰-۱۳۹۰ برای ایستگاه باران سنجی بنکوه محاسبه و برای بررسی رابطه بین روش GRI با روش SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف ضریب همبستگی این دو شاخص محاسبه شد. در روش SPI برای محاسبه خشکسالی از داده‌های بارندگی ماهانه استفاده می‌شود و جهت نشان دادن تاثیر خشکسالی هواشناسی بر روی منابع آب زیرزمینی بکار می‌رود و روش GRI برای محاسبه خشکسالی از داده‌های سطح ایستابی استفاده می‌کند و این دو شباهت زیادی به هم دارند. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خشکسالی هیدروژئولوژیک از روش‌های درون یابی که شامل روش‌های قطعی و زمین آماری است استفاده شد. در این تحقیق از روش قطعی IDW و روش زمین آماری Kriging معمولی و ساده برای درون یابی استفاده شد. در روش‌های قطعی برای درون یابی از توابع ریاضی استفاده می‌کند و فرض می‌کند که اندازه‌گیری‌ها بدون خطا انجام گرفته‌اند. در روش عکس مجذور فاصله (IDW) برای تعیین ارزش هر سلول لایه رستری خروجی، از

ارزش نقاط نمونه برداری شده مجاور استفاده می‌کند و هرچه نقاط به مرکز سلولی مجهول نزدیک تر باشد آن نقطه وزن بیشتری در محاسبه میانگین وزنی ارزش نقاط مجهول دارد. در روش زمین آماری مقدار یک کمیت در یک نقطه با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم بدست می‌آید. تخمینگر کریجینگ منطبق بر میانگین متحرک وزن دار است و که بعنوان بهترین تخمینگر خطی نا اریب شناخته می‌شود که در آن متغیر باید دارای توزیع نرمال باشد. برای ارزیابی این دو روش از دو معیار، میزان خطای محاسبه شده RMSE و MAE استفاده شد.

۲-۳. معیارهای ارزیابی

به منظور بررسی روش‌های زمین آماری و ارزیابی صحت فرضیات و روش‌ها از شاخص‌های مانند ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین مطلق خطا (MAE) استفاده گردید. مقادیر آماره این معیارها که حاصل از تفاوت میان مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل و مقادیر برآوردی می‌باشد نشان دهنده دقت مدل مورد استفاده برای درون یابی، در برآورد ارزش نقاط مجهول است. هرچه مقدار این آماره‌ها کمتر باشد نشان دهنده اطمینان مدل مورد استفاده در درون یابی است (حسنی پاک، ۲۰۰۷).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$MAE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) / n \quad \text{رابطه ۳}$$

y_i = مقادیر مشاهداتی، \hat{y}_i = مقادیر پیش‌بینی شده، n = تعداد کل داده‌ها

۳. یافته‌های پژوهش

برای انتخاب مناسب‌ترین روش درون یابی برای پهنه‌بندی خشکسالی روش‌های کریجینگ معمولی (OK)^۱، کریجینگ ساده (SK)^۲ و روش عکس مجذور فاصله (IDW) مورد بررسی قرار گرفتند و برای مقایسه و ارزیابی از دو معیار RMSE و MAE استفاده شده که نتایج آن در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج حاصل از جدول نشان می‌دهد که روش کریجینگ ساده (SK) نسبت به روش IDW و کریجینگ معمولی برای درون‌یابی شدت خشکسالی روش GRI، در میان سه بازه زمانی دارای مقادیر خطای کمتری بوده و مناسب شناخته شد.

جدول ۳. مقادیر معیارهای ارزیابی خطای روش‌های متفاوت درون یابی

مدل		سال	RMSE	MAE
IDW		۱۳۸۰	۰/۷۷	۱/۱۵
		۱۳۸۵	۰/۲۷	۰/۳۲
		۱۳۹۰	۰/۵۱	۰/۷
Kriging	Ordinary	۱۳۸۰	۰/۴۹	۱/۰۵
		۱۳۸۵	۰/۲۵	۰/۳۰
		۱۳۹۰	۰/۰۴	۱/۰۸
	Simple	۱۳۸۰	۰/۵۳	۱/۰۳
		۱۳۸۵	۰/۲۳	۰/۲۸
		۱۳۹۰	۰/۰۴	۰/۶۱

^۱ Ordinary Kriging

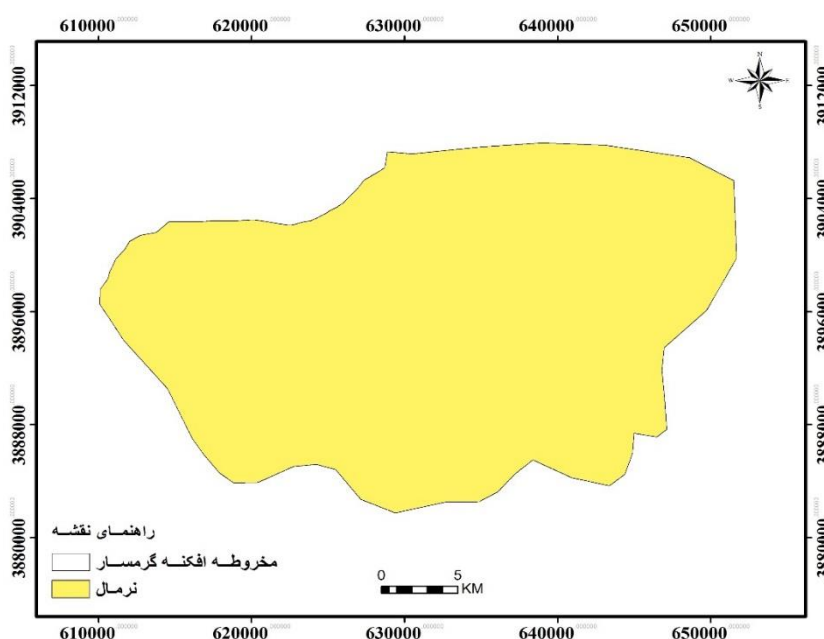
^۲ Simple Kriging

باتوجه به جدول (۴) و نقشه‌های روش GRI در ابتدای دوره، میان دوره و انتهای دوره روند خشکسالی در آبخوان رو به افزایش و با گذشت زمان وضعیت آبخوان به سمت بدتر شدن پیش می‌رود بطوریکه در ابتدای دوره آبخوان در وضعیت ترسالی و نرمال بوده اما در انتهای دوره ۹۱/۱۶ درصد از مساحت حوزه را خشکسالی شدید فرا گرفته است. بر اساس روش GRI شدیدترین خشکسالی هیدروژئولوژیک بر مبنای مقدار روش GRI مربوط به سال ۱۳۹۰ است. و در سال ۱۳۸۵ کل پهنه آبخوان در وضعیت نرمال قرار دارد.

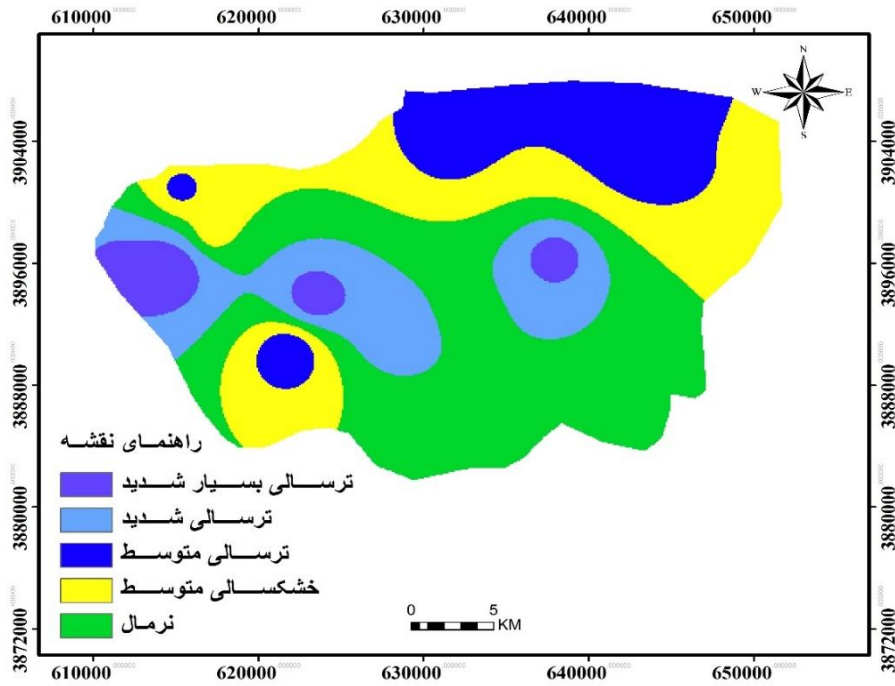
جدول ۴. مقادیر متوسط روش GRI برای هر سال آبی از ۱۳۸۰-۱۳۹۰

سال	GRI	سال	GRI
۱۳۸۰	۱/۴۱	۱۳۸۶	-۱/۲۶
۱۳۸۱	۱/۳	۱۳۸۷	-۱/۱۷
۱۳۸۲	۰/۸۵	۱۳۸۸	-۰/۷۴
۱۳۸۳	۰/۶۹	۱۳۸۹	-۱/۴۶
۱۳۸۴	۰/۲۴	۱۳۹۰	-۱/۷
۱۳۸۵	-۰/۶۲		

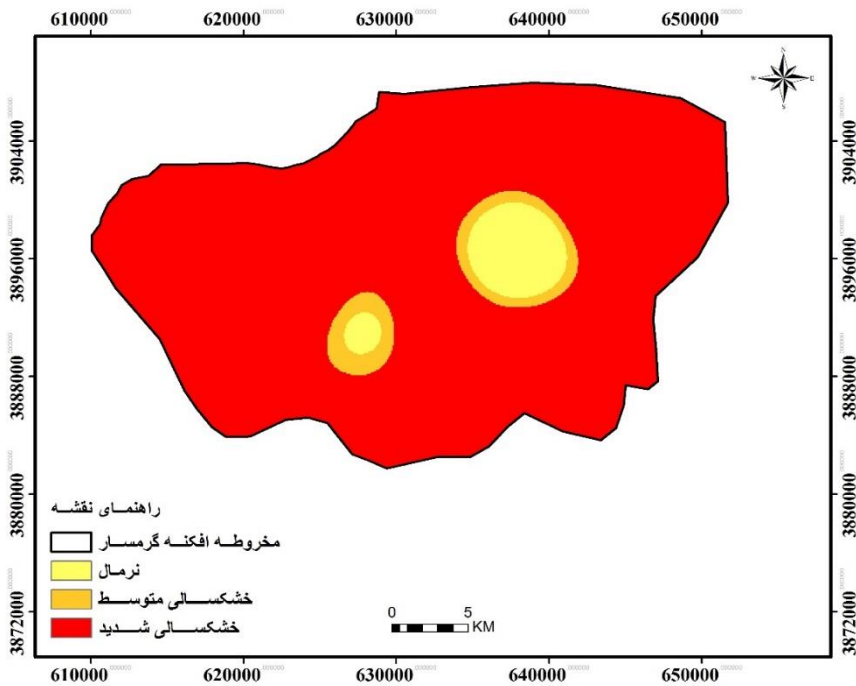
شکل‌های ۲ تا ۴ نقشه پهنه‌بندی روش GRI را برای ابتدای دوره، میان دوره و انتهای دوره که با استفاده از روش Kriging ساده تهیه شده را نشان می‌دهد. براساس نتایج بدست آمده در ابتدای دوره خشکسالی دیده نمی‌شود اما با گذشت زمان و به دلیل کاهش شدید تغذیه زیرزمینی سفره به واسطه کاهش جریان سطحی رودخانه حبله رود و افزایش برداشت به سبب روند افزایش تعداد چاه‌های بهره برداری در سطح دشت خشکسالی از قسمت‌های بالایی آبخوان به سمت جنوب و حاشیه آن افزایش می‌یابد. با توجه به نقشه شاخص در سال ۱۳۹۰ بیشتر سطح آبخوان دارای خشکسالی شدید است. در جدول شماره (۵) درصد‌های از سطح محدوده مورد مطالعه که تحت خشکسالی قرار دارند را نشان داده شده است.



شکل ۲. نقشه روش GRI آبخوان دشت گرمسار در سال ۱۳۸۰



شکل ۳. نقشه روش GRI آبخوان دشت گرمسار در سال ۱۳۸۵



شکل ۴. نقشه روش GRI آبخوان دشت گرمسار در سال ۱۳۹۰

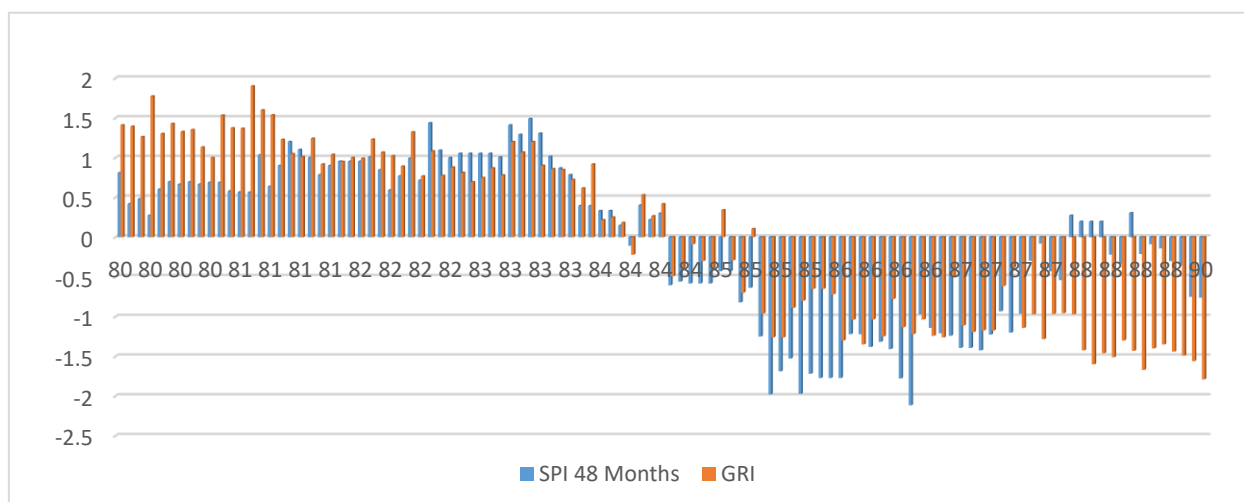
جدول ۵. درصد خشکسالی در آبخوان دشت گرمسار (km^2) بر اساس روش GRI

وضعیت آبخوان	۱۳۸۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰
ترسالی بسیار شدید	۲۲	-	-
ترسالی شدید	۲۶/۱۰	-	-
ترسالی متوسط	۶/۱۳	-	-
نرمال	۴۵/۷۷	۱۰۰	۴/۹۸
خشکسالی متوسط	-	-	۳/۸۶
خشکسالی شدید	-	-	۹۱/۱۶

جدول (۶) مقادیر ضرایب همبستگی بین روش SPI و روش GRI را در مقیاس‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد. مقادیر روش SPI با مقیاس‌های زمانی ۱ تا ۳ ماهه شرایط کوتاه مدت و فصلی را نشان می‌دهند و با توجه به جدول (۶) همبستگی کمتری با تغییرات سطح آب زیرزمینی دارد. SPI با مقیاس‌های زمانی ۶ تا ۹ ماهه روند الگوی بارش را تعیین می‌کند و SPI با مقیاس‌های زمانی ۱۲ ماهه الگوی بارندگی بلند مدت و رابطه آن با دبی رودخانه، سطح مخازن و سطح آب زیرزمینی را منعکس می‌کند (CMDN، ۲۰۰۷). با توجه به جدول (۶) روش SPI و روش GRI در مقیاس ۴۸ ماهه از بیشترین ضریب همبستگی برخوردار بوده و در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار می‌باشد. با توجه به نمودار در طول دوره آماری مذکور شدیدترین خشکسالی هواشناسی مربوط به سال ۱۳۸۶ بوده با بزرگی ($\text{SPI} = -۱/۶۵$) که در کلاس خشکسالی شدید قرار می‌گیرد. شکل (۵) تغییرات روش SPI با مقیاس زمانی ۴۸ ماهه را با روش GRI در طول دوره ۱۳۹۰-۱۳۸۰ در دشت گرمسار را نشان می‌دهد.

جدول ۶. ضرایب همبستگی بین روش SPI و شاخص GRI در طول دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۸۰

شاخص SPI	۱ ماهه	۳ ماهه	۶ ماهه	۹ ماهه	۱۲ ماهه	۲۴ ماهه	۴۸ ماهه
شاخص GRI	- ۰/۰۵	- ۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۲۶	۰/۳۱	۰/۳۹	۰/۵۳



شکل ۵. رابطه روش SPI با مقیاس زمانی ۴۸ ماهه با روش GRI

۴. بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق روش Kriging ساده با میانگین مطلق خطا و ریشه میانگین مربعات خطای کمتر (۰/۵۳)، ۰/۲۳ و ۰/۰۴) نسبت به روش IDW به مراتب دقت بیشتری در درون یابی و تعمیم خشکسالی نقطه‌ای به منطقه‌ای دارد که با نتایج عیوضی و همکارانش و حمیدیان پور و همکارانش همخوانی دارد. خشکسالی هیدروژئولوژیک با کاهش سطح و آبدهی سفره آب زیرزمینی خود را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از محاسبه روش GRI نشان می‌دهد که بیشترین شدت خشکسالی در آبخوان گرمسار در سال ۱۳۹۰ که ۹۱/۱۶ درصد از آبخوان را شامل می‌شود رخ داده که با نتایج مطالعاتی که در دشت یزد- اردکان انجام گرفته همخوانی دارد. نقشه‌های حاصل از روش GRI در بازه زمانی ۱۳۹۰-۱۳۸۰ نشان دهنده افزایش شدت خشکسالی و افت سطح آب زیرزمینی در آخوان دشت مذکور است که نتایج حاصل از بررسی ملکی نژاد و پورشرعیاتی را تایید می‌کند. جهت بررسی تاثیر خشکسالی هواشناسی بر روی سطح آب زیرزمینی نیز شاخص بارندگی استاندارد (SPI) در مقیاس‌های زمانی مختلف محاسبه شد و نتایج همبستگی بین روش SPI و روش GRI نشان داد که خشکسالی هیدروژئولوژیک با خشکسالی هواشناسی در مقیاس زمانی بلند مدت ۴۸ ماهه دارای بیشترین همبستگی ($R^2 = 0/53$) است و در طول دوره آماری مذکور شدیدترین خشکسالی هواشناسی مربوط به سال ۱۳۸۶ بوده با بزرگی (۲/۱-SPI) که در کلاس خشکسالی شدید قرار می‌گیرد با نتایج یاسمنی و همکارانش همخوانی دارد. با توجه به مطالب ارائه شده می‌توان گفت آبخوان دشت گرمسار به دلیل اهمیت ویژه‌ای که در تامین آب شرب و کشاورزی منطقه و بویژه غرب استان سمنان و استان تهران و توسعه اقتصادی اجتماعی این نواحی دارد به دلیل برداشت بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی باعث افت و کاهش مخزن آبخوان به ویژه در بخش شرقی و شمال شرق آن شده است. با توجه به مطالعات انجام شده در محدوده دشت گرمسار بیش از ۹۰٪ از کل حجم برداشت آب از آبخوان به مصرف کشاورزی و بخش ناپیزی به مصرف شرب و صنعت می‌رسد و تراکم بیش از ۶۰۰ حلقه چاه بهره برداری در شمال شرق و جنوب شرق دشت نیز بیانگر این مطلب است و تایید کننده نتایج صیف و همکارانش است.

در نهایت پیشنهاد می‌شود که با پایش و بررسی مستمر خشکسالی و نقشه‌های تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی در حال حاضر و پیش‌بینی وضعیت آینده آبخوان با توجه به شدت و مدت خشکسالی تهیه شده و در اختیار مدیران اجرائی در بخش‌های زیرربط قرار گیرند تا برنامه‌ها و اقدامات لازم را در مواجهه با خشکسالی اتفاق افتاده یا پیش‌بینی شده را بکار گیرند تا از خسارت ناشی از خشکسالی به میزان قابل توجهی کاسته شود. و با توجه به اینکه ویژگی‌های خشکسالی (شدت و مدت) در هر منطقه متفاوت است توصیه می‌شود که مطالعات و بررسی‌ها در هر منطقه انجام شده و اقدامات مناسب اتخاذ شود.

Reference

- Di Lena, B., Vergni, F., Antenucci, F., & Todisco, F. (2013). Analysis of drought in the region of Abruzzo (Central Italy) by the Standardized Precipitation Index. *Theoretical and Applied Climatology*, 115(1-2): 41-52.
- Doctorsafaie, H., Asghari, K., & safavi, H. (2013). Comparison Groundwater Resource Index (GRI) with Standardized Precipitation Index (SPI) (Case study: Kohpaieh-Sagzei Aquifer). *7th National Congress Civil Engineering*, Shahid Nikbakht Faculty of Engineering Zahedan, Iran, May 7-8, pp 21-30. (In Persian).
- Eivazi, M., Mosaedi, A., Meftah halghi, M., & Hesam, M. (2009). Comparison different interpolation techniques in mapping Golestan province droughts. *The Second National Seminar on Drought Effects/Management (DEM)*, Esfahn, Jan 21-22, pp 1-6. (In Persian).
- Fendekova, M., Demeterova, b., Slivova, v., Macura, v., Fendek, M., Machlica, A., Gregor, M., & Jalcovikova, M. (2011). Surface and groundwater drought evaluation with respect to aquatic habitat quality applied in Torysa river catchment, Slovakia. *Journal of Ecohydrology & Hydrobiology*, 11, 49-61.
- Hassani pak, A., (1998). Geostatistics. University of Tehran, Tehran, 314p.

- Hamidian, M., Saligheh, M., & Falahghl, Gh. (2011). Application spatial interpolation techniques for Spatial and temporal analysis of drought in Khorasan Razaavi province. *Geography and Development Iranian Journal*, 3(2), 57-70. (In Persian).
- Mendicino, G., Senatore, A., & Versace, p. (2008). A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology*, 357, 282-302.
- Maleki Nezhad, H. & Poor Sharaeiati, R. (2011). Investigate the drought trend in Maroset plain using Groundwater Resource Index (GRI). *4th Iran Water Resources Management Conference*, Tehran, Jan 7-8, 13-24. (In Persian).
- NDMC, (2007). National Drought Mitigation Center, University of Nebraska, Lincoln, USA, Online.
- Naderianfar, M., Ansari, H., Ziaie, A., & davary, K. (2011). Evaluating the groundwater level fluctuations under different climatic conditions in the basin Neyshabour. *Irrigation and Water Engineering*, 1(3), 22-37. (In Persian)
- Saboohi, R., Soltani, S., & Khodagholi, M. (2012). Trend analysis of temperature parameters in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 109(3-4), 529-547. (In Persian).
- Seif, M., Mosaedi, A., & Mohamadzadeh, H. (2011). Investigated Meteorological Drought in Fesa plain using Groundwater Resource Index (GRI). *Geological Society of Iran*, 3(1), 1-8. (In Persian).
- Soltani, S., Saboohi, R., & Yaghmaei, L. (2012). Rainfall and rainy days trend in Iran. *Climatic Change*, 110, 187-213.
- Tabari, H., Abghani, H., & Hosseinzadeh Talae, P. (2012a). Temporal trends and spatial characteristics of drought and rainfall in arid and semi-arid regions of Iran. *HydroHydrological Processes*, 26 (22), 3351–3361.
- Toborabad, S., & Jalili, L. (2011).). Investigate the drought trend in Ardabil plain based on Groundwater Resource Index (GRI) using GIS. *Ferst National Conference on Modern Agricultural Sciences & Technologies*, Zanjan, May 11-12, pp 5-10. (In Persian).
- Yan- jun, L., Xiao-dong, ZH. Fan, L., & Jing, M. (2012). Analysis of Drought Evolvment Characteristics Based on Standardized Precipitation Index in the Huaihe River Basin. *International Conference on Modern Hydraulic Engineering*, China, 09- 11 March: 434-437.
- Yasamani, Y., Mosaedi, A., & Mohamadzadeh, H. (2011). Evaluation influence groundwater drought on the Torbat jam-Fariman plain using GRI and SPI index. *16th Symposium of Geological Society*, Shiraz, Iran, pp. 7-14. . (In Persian). (In Persian).