



Gonbad Kavous University
Journal of New Approaches in
Water Engineering and Environment
Volume 1, Issue 2

Assessment of SPI-3 months spatial variation using Kriging; Case study: Fars province

Home Razmkhah¹

Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran

Received: 24.08.2022; Accepted: 01.10.2022

Abstract

Due to the lack of facilities and commitment in climate stations establishment in large scale interpolation has become an important technique in spatial mapping studies. In this study, the Kriging interpolation technique as a prevalent technique has been explained and 17 Kriging models were evaluated, in order to select the most suitable one, using a case study. Because of increasing trend of drought in Iran and management necessity of water resources, meteorological drought of Fars province has been investigated in this study. For this purpose the calculated SPI-3 months of the Fars province synoptic stations were calculated. SPI-3 months is widely applied in agricultural drought studies. The empirical semi-variogram of the SPI-3 of the stations was calculated and graphed, fitting 17 Kriging models to select the best one using the cross-validation technique. Results showed that the Linear, Power, Square root, Logarithmic and Gaussian models were the best interpolation techniques for SPI-3 spatial mapping. Geostatistic methods could be used to determine the adequacy of the rainfall gauge stations, especially in the western mountainous region of the province. A complete-length of data could modify the results. The Gaussian model as one of the best-fitted models defines good spatial continuous of precipitation in the region. The semivariograms were fitted to data with the hypothesis of no precipitation trend. Considering the linear and non-linear trends of data, and analyzing error maps may result in better models.

Keywords: Interpolation, Drought, Standardized Precipitation Index (SPI)-3 Months, Kriging.

* . Corresponding author, Email: homarazmkhah@gmail.com



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست"

دوره اول، شماره دوم

<http://Nawee.gonbad.ac.ir>

بررسی تغییرات منطقه‌ای شاخص خشکسالی SPI سه ماهه با استفاده از تکنیک زمین آماری

کریجینگ، مطالعه موردی: استان فارس

هما رزمخواه*

استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۰

چکیده

درون‌یابی از تکنیک‌های ضروری در مطالعات و بررسی پهنه‌های مکانی اقلیمی است. این ضرورت حاصل نبود الزام و فقدان امکانات در تاسیس ایستگاه‌های سنجش عناصر اقلیمی در مقیاس گسترده است. فقدان یا کمبود ایستگاه‌هایی که به‌طور کامل حاوی چنین مشخصاتی باشند، اقلیم‌شناسان را ملزم به رعایت اصولی معین در درون‌یابی می‌سازد. در این تحقیق تلاش بر آن است که ضمن معرفی روش درون‌یابی کریجینگ به‌عنوان یکی از روش‌های دقیق و پرکاربرد، مراحل انجام این فرآیند و انتخاب بهترین نوع از مدل کریجینگ با ذکر مطالعه‌ای موردی صورت گیرد. با توجه به روند روبه‌افزایش خشکسالی در کشور و نیاز به برنامه‌ریزی در مدیریت منابع آب، در مطالعه حاضر خشکسالی هواشناسی استان فارس مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا شاخص خشکسالی هواشناسی استاندارد شده بارش SPI سه-ماهه برای ایستگاه‌های سینوپتیک استان محاسبه گردید. شاخص SPI سه‌ماهه در مطالعات مرتبط با خشکسالی کشاورزی کاربرد بیشتری دارد. به‌منظور درون‌یابی شاخص SPI سه‌ماهه در ابتدا سمی‌واریوگرام تجربی داده‌ها محاسبه و ترسیم گشت. سپس ۱۷ مدل کریجینگ بر سمی‌واریوگرام داده‌ها برازش یافت و با استفاده از تکنیک ارزیابی متقاطع خطای تخمین مدل‌ها برآورد گردید. نتایج نشان داد که مناسبترین مدل برازش داده‌شده بر داده‌های شاخص خشکسالی SPI سه‌ماهه ایستگاه‌ها، مدل‌های خطی، توانی، ریشه دوم، لگاریتمی و گوسی کریجینگ معمولی است. با استفاده از نتایج، ارزیابی کفایت شبکه باران‌سنجی نیز می‌تواند صورت گیرد. مدت زمانی آماری طولانی‌تر می‌تواند نتایج را بهبود بخشد. مدل گوسی به‌عنوان یکی از بهترین مدل‌های برازش یافته بیانگر پیوستگی مکانی بالای بارش در منطقه مورد مطالعه است. واریوگرام با فرض نبود روند بر داده‌ها برازش داده شد. در نظر گرفتن روند خطی و غیرخطی داده‌ها، و آنالیز نقشه‌های خطا می‌تواند منجر به استخراج مدل‌های بهتر گردد.

واژه‌های کلیدی: درون‌یابی، خشکسالی، کریجینگ، نمایه استاندارد شده بارش SPI سه‌ماهه.

مقدمه

به فرآیند برآورد ارزش‌های کمی، برای نقاط فاقد داده به کمک نقاط مجاور و معلوم درون‌یابی می‌گویند. این فرآیند به دلیل محدودیت داده‌های نقطه‌ای و ضرورت تدوین نقشه از کل یک پهنه، به منظور تهیه نقشه‌های هم-ارزش (همباران، همدما و...) انجام می‌گیرد (Asakereh, 2008). این کار معمولاً برای یک شبکه یا گره یا تمامی سلولهای یک پهنه صورت می‌پذیرد. بنابراین درون‌یابی به معنای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای است (Tssung, 2004). در تعیین ارزش یک نقطه تمامی نقاط مجاور و معلوم به طور یکسان و همسان موثر نیستند. لذا هر یک از نقاط مزبور به تناسب تاثیرشان بر ارزش نقطه مجهول، حامل وزنی خواهند بود. روش‌های تعیین وزن‌های مرتبط با هر یک از نقاط سبب تکوین روش‌های مختلفی در درون‌یابی شده است. ارکان اساسی در درون‌یابی عبارتند از: تعیین محدوده‌ای که متغیر مکانی در آن، دارای ارزش معلوم است و تعیین شبکه، که به معنی تشخیص اندازه پهنه سلولهای نقشه است؛ به طوری که کیفیت و توان تفکیک نقشه به بهترین نحو نمود یابد (Asakereh, 2008).

درون‌یابی را به چند روش می‌توان انجام داد. در ابتدا می‌توان این روش‌ها را به دو گروه سراسری^۱ و محلی^۲ طبقه‌بندی نمود. درون‌یابی سراسری تمامی نقاط معلوم را برای برآورد ارزش نقاط نامعلوم به کار می‌گیرد، درحالی که روش محلی برای برآورد هر نقطه نامعلوم تنها نمونه‌هایی از نقاط معلوم را مورد استفاده قرار می‌دهد. در طبقه‌بندی دیگر، دقت روش ملاک طبقه‌بندی است. در روش دقیق Exact، مقادیر برآوردشده به مشاهدات (اندازه‌گیری‌ها) نزدیک‌تر است، درحالی که در روش غیردقیق Inexact، تقریبی از ارزش‌ها و سطحی را برآورد می‌کند که از پیمونگه می‌گذرد. سومین ملاک طبقه‌بندی روش‌های درون‌یابی مبتنی بر قطعی یا احتمالی بودن تخمین است. در روش قطعی مقادیر تخمینی فاقد خطا ولی در روش احتمالی برآورد حاوی خطا است. روش‌های درون‌یابی از هر نوع که باشند، می‌توانند به صورت معادله خطی یا غیرخطی باشند. این تحقیق به منظور معرفی و روش مراحل درون‌یابی کریجینگ است. روش کریجینگ برای

داده‌هایی که پراکندگی نامنظم دارند، به کار می‌رود و روشی محلی، احتمالی، خطی، ناریب و با واریانس کمینه در یک نقطه به شمار می‌رود (Asakereh, 2008).

از کاربردهای روش‌های زمین‌آمار تخمین میانگین بارش منطقه‌ای است. در این ارتباط Igúzquiza (1998) به منظور تخمین میانگین بارش در حوضه آبریز رودخانه گودال هورس در اسپانیای شمالی، از روشهای کلاسیک تیسن و کریجینگ معمولی (داده‌های بارش) و کوکریجینگ و کریجینگ همراه با روند (داده‌های بارش و ارتفاع) استفاده نمود. نتایج نشان داد که کریجینگ همراه با روند به نتیجه مناسب‌تر از سایرین دست یافت. Prudhomme and Redd (1999) در تحقیقی ثابت نمود که استفاده از داده‌های توپوگرافی به دقت پیش‌بینی بارش در روش کریجینگ معمولی کمک می‌نماید (روش کوکریجینگ).

Drogue et al. (2002) به منظور تهیه مدلی تحلیلی برای تولید نقشه مکانی بارشهای کوهستانی در شمال شرقی فرانسه با استفاده از مدل PLUVIA، روشهای رگرسیون خطی چندمتغیره بین پارامترهای بارش و پارامترهای ریخت‌شناسی حاصل از DEM، روشهای چندمتغیره زمین‌آمار نظیر کریجینگ همراه با روند و کوکریجینگ را بر داده‌های ۲۰ ساله شبکه‌ای شامل ۱۵۰ ایستگاه به مساحت ۳۰۰۰۰ کیلومتر مربع مقایسه نمود. در ارتباط با تهیه نقشه‌های مکانی بارش و خشکسالی در ایران Ghahroudi Tali, M. (2002) در تحقیقی به ارزیابی درون‌یابی به روش کریجینگ و IDW در استان کرمان پرداخت. نتایج نشان داد، مدل کریجینگ وابستگی زیادی به تعداد نقطه نمونه‌برداری و فاصله آنها از یکدیگر دارد، به طوری که با تغییر آنها الگوی ساختار مکانی تغییر می‌کند. از دیگر کاربردهای این ابزار بررسی کفایت ایستگاه‌های باران‌سنجی به منظور اصلاح و گسترش آن است. در این باره Hilaire et al (2003) به ارزیابی تاثیر تراکم شبکه ایستگاه‌های آب و هواشناسی بر تخمین بارش سالانه و روزانه و قایع بارندگی و رواناب حوزه در شمال آمریکا پرداخت. نتایج نشان داد که افزایش تعداد ایستگاه‌ها بر کیفیت تخمین توزیع مکانی بارش در منطقه موثر است.

² Local¹ Global

بیانگر برتری روشهای زمین‌آمار و تخمین‌گرهای کریجینگ و کوکریجینگ بود. Rahimi Bondarabad and Saghafian (2007) به برآورد توزیع مکانی بارندگی با تئوری مجموعه‌های فازی پرداخت. در این مطالعه قابلیت روش فازی کریجینگ ارزیابی و سپس با روشهای کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و TPSS برای برآورد بارندگی سالانه مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که روش فازی کریجینگ در هر دو حالت و در برون‌یابی داده‌ها بهتر از سایر روشها عمل می‌نماید. ضمن آنکه با افزایش تعداد نقاط کمکی مقدار خطای برآورد افزایش می‌یابد.

Asakereh (2008) به کاربرد روش کریجینگ در درون‌یابی بارش برای تهیه نقشه همباران کشور پرداخت. در این تحقیق ۱۱ مدل زمین‌آمار با سه فرض نبود روند در داده‌ها، وجود روند خطی و روند درجه دو بررسی شد. ارزیابی روش‌ها کریجینگ خطی را به عنوان روش بهینه انتخاب نمود. Cheng et al. (2008) و همکاران به منظور تخمین میانگین منطقه‌ای بارش و تخمین نقطه‌ای در مناطق بدون ایستگاه، به ارزیابی شبکه باران‌سنجی با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار پرداخت. تحلیل واریوگرام نشان داد که بارش ساعتی از تغییرات مکانی بالاتری نسبت به بارش‌های سالانه برخوردار است. کاربرد این تکنیک در بازسازی داده‌های بارش حاصل از رادار با استفاده از ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود نیز گزارش شده است (Orasi et al., 2008). Razmkhah et al (2009) به بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار در استان فارس پرداختند. ارزیابی ۶ مدل کریجینگ برازش داده‌شده، مدل گوسی کریجینگ را دامنه ۲۰۰ کیلومتر را به عنوان بهترین الگو برای درون‌یابی میانگین بارش سالانه شناخت. Mohammadian et al (2011) با استفاده از شاخص‌های PNI, SPI, DI به پهنه‌بندی خشکسالی در خراسان شمالی پرداختند. Moradi et al (2011) به بررسی مشخصه‌های شدت، مدت، فراوانی و وسعت خشکسالی هواشناسی در استان فارس پرداختند. به این منظور شاخص SPI سه، شش، دوازده، بیست و چهار و چهل و هشت ماهه در ۲۶ ایستگاه بررسی شد. نتایج نشان داد که شدیدترین خشکسالی در ایستگاه گزوون و طولانی‌ترین آن در پل‌خان رخ داده است. دو مشخصه

Bodagh Jamali et al (2003) از دیگر محققانی بود که به پایش و پهنه‌بندی وضعیت خشکسالی استان خراسان با استفاده از نمایه استاندارد شده بارش پرداخت. Diadato and Ceccarelli (2005) با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار چندمتغیره به تهیه نقشه‌های مکانی بارش در کوه‌های سانیو واقع در ایتالای شمالی پرداخت. هدف از این تحقیق بررسی نقش DEM در بهبود فرآیند درون‌یابی در مقیاس‌های زیرحوزه‌ای برای تهیه نقشه‌های میانگین بارش سالانه و ماهانه بارش ۴۰ ساله در منطقه‌ای به وسعت ۱۴۰۰ کیلومتر مربع بود. به این منظور علاوه بر رابطه ساده رگرسیون خطی بین ارتفاع و بارش، روش IDW و کریجینگ معمولی نیز به کار رفت. ارزیابی نشان داد که روش IDW خطایی بیشتر از رگرسیون خطی و کریجینگ معمولی در برداشت. Saghafian and Rahimi Bandar Abadi (2005) در تحقیقی قابلیت چند روش درون‌یابی میانگین متحرک وزنی، TPSS و کریجینگ را برای برآورد توزیع مکانی بارندگی ماهانه و سالانه جنوب غرب ایران بررسی نمود. مقایسه روشها نشان داد، هر چند TPSS از خطای نسبتا کمتری برخوردار بود، ولی روش کوکریجینگ تغییرات مکانی بارندگی در منطقه را بهتر نشان داده، با توپوگرافی منطقه هماهنگی بیشتری دارد.

Chen et al. (2007) به منظور اصلاح شبکه باران‌سنجی کشور تایوان از ترکیب روشهای کریجینگ و entropy پرداخت. نتایج نشان داد که کمترین تعداد ایستگاه باران‌سنجی لازم برای منطقه هفت ایستگاه است. Shaghghi et al. (2007) به ارزیابی تغییرات منطقه‌ای بارش ماهانه و سالانه حوزه کارون با استفاده از روشهای زمین‌آمار پرداخت. وی با استفاده از اطلاعات ۲۸ ایستگاه هواشناسی با دوره آماری ۲۸ ساله روشهای کریجینگ، کوکریجینگ با متغیر کمکی ارتفاع و IDW را با توانهای ۱ الی ۴ مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که برای برآورد بارندگی ماهانه و سالانه روش کریجینگ تخمین بهتری به عمل آورد. در همین سال Misaghi and Mohammadi (2007) به پهنه‌بندی اطلاعات بارندگی حوزه آبریز مارون با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک و زمین‌آمار پرداخت و نتایج را با برآورد صورت گرفته توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی مقایسه نمود. مقایسه نتایج حاصل از روش‌های مذکور

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان فارس در جنوب ایران، بین مدارهای ۲۷ درجه و ۲ دقیقه و ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۴۲ دقیقه و ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. شکل (۱) موقعیت استان فارس در جنوب ایران و پراکندگی ایستگاه‌های هواشناسی آن را نشان می‌دهد. با حرکت از سمت شمال و شمال غربی به سمت جنوب و جنوب شرقی، سه ناحیه آب و هوایی قابل تفکیک است. ناحیه کوهستانی شمال، شمال غرب و غرب با زمستان‌های سرد، تابستان معتدل و بارش به صورت باران و برف با میانگین سالانه ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلیمتر، ناحیه مرکزی با آب و هوای نسبتاً معتدل و ارتفاعی کمتر از ناحیه قبل و اقلیمی نیمه خشک با میانگین سالانه بارندگی ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلیمتر و ناحیه جنوب و جنوب شرقی، که به علت کاهش ارتفاع و عرض جغرافیایی و موقعیت کوه‌ها، میزان بارندگی کمتری از دو ناحیه دیگر دارد، با زمستانی معتدل و تابستان گرم است که با میانگین سالانه بارندگی در این مناطق ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر ناحیه خشک این استان را در بر می‌گیرد.

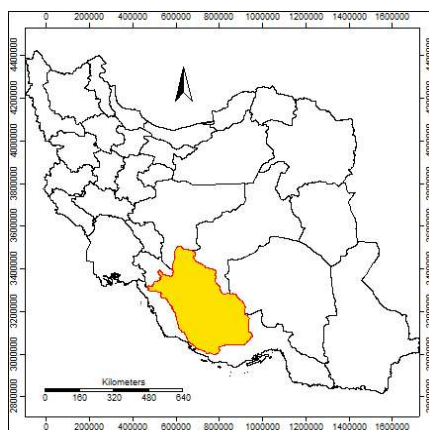
استمرار و فراوانی در دو ایستگاه دارشاهی و جهرم رخ داده است. همچنین خشکسالی در جنوب استان شدیدتر و طولانی‌تر از سایر نقاط است.

Zamani et al (2015) به پهنه‌بندی خشکسالی در استان فارس با استفاده از روشهای کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و عکس فاصله و شاخص‌های خشکسالی ناهنجاری بارش و دهک بارش پرداخت. نتایج نشان داد که در پهنه‌بندی با شاخص دهک بارش، روش کریجینگ معمولی و با شاخص ناهنجاری بارش روش عکس فاصله مناسب‌ترین روش درون‌یابی است. (Beheshtirad (2015) بررسی تغییرات مکانی خشکسالی با روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و معکوس فاصله و شاخص توزیع استاندارد در استان کرمان پرداخت. مطابق با نتایج روش کریجینگ مناسب‌ترین روش درون‌یابی شناخته شد.

Chen et al (2017) به مقایسه روش‌های درون‌یابی IDW، کریجینگ و Spline برای پهنه‌بندی رطوبت خاک و پایش خشکسالی پرداختند. نتایج روش IDW را مناسب‌ترین شناخت. (Subedi et al (2019) به ارزیابی روش‌های زمین‌آمار برای تحلیل تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی در شرق تگزاس پرداختند. IDW و کریجینگ مناسب‌ترین مدل‌ها شناخته شدند. (Keshtkar et al (2021) به ارزیابی تکنیک‌های درون‌یابی IDW، کریجینگ و Spline و RBF^۱ به منظور تحلیل شدت خشکسالی در حوزه دریاچه نمک پرداختند. RBF و کریجینگ مناسب‌ترین روشها برای درون‌یابی SPI شناخته شدند.

با بررسی مطالعات صورت‌گرفته، پژوهشی در زمینه یافتن مناسب‌ترین مدل درون‌یابی کریجینگ در استان فارس مشاهده نشد. هدف از این تحقیق بررسی و انتخاب مدل کریجینگ مناسب برای پهنه‌بندی شاخص خشکسالی SPI سه‌ماهه ایستگاه‌های سینوپتیک استان فارس است. برای تعیین مناسب‌ترین نوع کریجینگ، ۱۷ مدل کریجینگ بر سمی‌واریوگرام برازش یافت و با استفاده از تکنیک ارزیابی متقاطع خطای تخمین مدل‌ها برآورد و بهترین مدل برای درون‌یابی شاخص SPI سه‌ماهه در منطقه مطالعاتی تعیین گردید.

¹ Radial Basic Function



شکل ۱- موقعیت استان فارس در جنوب ایران

جدول ۱- طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس نمایه SPI

کد طبقه	مقدار SPI	طبقه
۷	۲ و بیشتر	بی‌نهایت مرطوب
۶	۱/۹ تا ۱/۵	مرطوب شدید
۵	۱ تا ۱/۴	مرطوب متوسط
۴	-۰/۹۹ تا ۰/۹۹	بارش نرمال
۳	-۱/۴۹ تا -۱	خشکی ملایم
۲	-۱/۹۹ تا -۱/۵	خشکی شدید
۱	-۲ و کمتر	خشکی حاد

خشکسالی و نمایه SPI

شدت خشکسالی با استفاده از شاخص‌هایی نظیر پالمر یا PDSI^۲ (بررسی الگوریتم رطوبتی خاک بر اساس مفهوم عرضه و تقاضای معادله بیلان آب)، RDI^۳ یا USBR (لحاظ میزان بارندگی، توده برف، رواناب، سطوح مخازن و تبخیر در محاسبه شاخص) و شاخص استاندارد شده بارش یا SPI (مقایسه بارندگی تجمعی در یک فاصله زمانی با میانگین بارندگی برای همان فاصله زمانی در تمام دوره آماری) محاسبه می‌گردد (Roustaie and Abdollahi, 2009). در سال‌های گذشته شاخص‌های متعددی برای بررسی پدیده خشکسالی معرفی شده است که هر کدام با یکی از انواع خشکسالی مرتبط بوده است (Mendicino and Alfonso, 2009).

(2008). یکی از این شاخص‌ها، شاخص بارش استاندارد (SPI) است که توسط McKee et al (1995) ارائه گردید. بسیاری از محققان خشکسالی، به قابلیت انعطاف‌پذیری SPI و قابلیت آن برای هر مقیاس زمانی اذعان داشته‌اند (Hayes et al, 1999). این نمایه با توجه به بررسی تأثیرات متفاوت کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه، به‌منظور بهبود وضعیت عملیاتی پایش منابع تامین آب توسعه یافت و در تحقیقات بسیاری مورد استفاده قرار گرفت (Bodagh Jamali et al., 2003).

SPI برای کمی کردن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی گوناگون طراحی شده است. مشخصه اصلی SPI انعطاف-پذیری در اندازه‌گیری خشکسالی در مقیاس‌های زمانی

³ Reclamation Drought Index

² Palmer Drought Severity Index

دهد که مناسب ترین تابع توزیع احتمال برای برازش داده های بارندگی تابع توزیع گاما است. از این رو نخستین مرحله محاسبه شاخص SPI برازش تابع توزیع احتمال گاما به داده های بارندگی ایستگاه است. سپس پارامترهای تابع توزیع برای مقیاس زمانی دلخواه برآورد می گردد. در نهایت تابع توزیع تجمعی مربوط محاسبه و به یک تابع توزیع تجمعی نرمال برای محاسبه SPI تبدیل می گردد. تابع توزیع گامای دو پارامتری به صورت رابطه (۱) است (McKee et al., 1995):

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, \quad x > 0 \quad (1)$$

که در آن α پارامتر شکل، β پارامتر مقیاس، $x > 0$ مقدار بارش در مقیاس زمانی مشخص و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است. تابع گاما به صورت رابطه (۲) تعریف می شود:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

تابع توزیع گاما دارای چولگی به راست بوده، حد پایینی آن صفر است. این توزیع بسیار شبیه توزیع فراوانی بارش است. پس از برازش تابع گاما بر داده های ایستگاه مورد مطالعه، احتمال تجمعی برای هر رویداد بارش در مقیاس های زمانی مختلف بصورت رابطه (۳) محاسبه می شود:

$$G(X) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (3)$$

مقادیر بارش ممکن است شامل داده صفر نیز باشند، لذا که در آن

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(H(x))^2} \right]}, \quad \text{for } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (7)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(1-H(x))^2} \right]}, \quad \text{for } 0.5 < H(x) \leq 1 \quad (8)$$

در روابط فوق مقادیر زیر صادق است:

$$c_0 = 2.515517, c_1 = 0.802853, c_2 = 0.010308, d_1 = 1.432788, d_2 = 0.189269, d_3 = 0.001308.$$

تکنیکهای زمین آمار

در بررسی های آمار کلاسیک نمونه هایی که از کل جامعه به منظور شناخت برداشت می شوند، فاقد اطلاعات موقعیت مکانی است. در حالی که در زمین آمار علاوه بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه، موقعیت مکانی نمونه نیز مورد توجه قرار می گیرد. بدین لحاظ می توان موقعیت

گوناگون است. محاسبه SPI برای هر منطقه معین بر پایه آمار درازمدت بارندگی (حداقل ۳۰ سال) برای هر دوره دلخواه ۳، ۶ ماهه و ... است. مقادیر مثبت SPI، بارندگی بیشتر از میانگین و مقادیر منفی، بارش کمتر از میانگین را نشان می دهد. از آنجاکه شاخص SPI نرمال شده است، اقلیم ها و دوره های زمانی مرطوب و خشک می تواند به کمک این شاخص شناسایی گردد (Bodagh Jamali et al., 2003). اساس این طبقه بندی در جدول (۱) آورده شده است (Roustaie and Abdollahi, 2009). با توجه به حساسیت پدیده های مختلف به مدت خشکسالی از جمله تاثیر پذیری کشاورزی دیم از خشکسالی های سه تا شش ماهه و سطح آب چاه های کم عمق، مخزن ها و رودخانه های کوچک از دوره های چندین ماهه و یا بالا و پائین رفتن سطح آب در سدهای بزرگ و یا سفره آبهای زیرزمینی و مخازن بزرگ آبی از دوره های چندین ساله، SPI طوری طراحی شده است تا نشان دهد که وضعیت مرطوب در یک یا چند مقیاس زمانی و وضعیت خشک در سایر مقیاس های زمانی به طور هم زمان امکان وقوع دارد. چون SPI نرمال شده است، طبقه بندی خشکسالی و ترسالی از نظر بازه تقسیم بندی متقارن خواهد بود. نتایج تحقیقات بسیاری از دانشمندان نشان می-

از آنجاکه تابع توزیع گاما در نقطه صفر تعریف نشده و در این حالت احتمال تجمعی از رابطه (۴) محاسبه می-

گردد:

$$H(X) = q + (1-q)g(x) \quad (4)$$

که در آن q احتمال بارش ماهانه صفر است. در مرحله بعد احتمال تجمعی $H(X)$ به متغیر نرمال استاندارد Z با میانگین صفر و واریانس ۱ تبدیل می گردد که برابر با شاخص SPI می باشد. برای تبدیل احتمال تجمعی گاما به متغیر نرمال استاندارد از روش های متعددی استفاده می شود. در این مطالعه برای تبدیل احتمال تجمعی به متغیر نرمال استاندارد از روش پیشنهادی Abramowitz and Stegun (1965) استفاده گردید (روابط (۵) و (۶) و (۸)):

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \quad \text{for } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (5)$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \quad \text{for } 0.5 < H(x) \leq 1 \quad (6)$$

متغیر ناحیه‌ای می‌پردازد و چگونگی تغییرات آن را بیان می‌نماید. قبل از کاربرد واریوگرام‌های تجربی در تخمین، لازم است به آنها مناسب‌ترین مدل تئوری را برازش نمود. روش مشابه با برازش تابع توزیع احتمال به داده‌هایی است که هیستوگرام را تشکیل می‌دهند. مدل‌های تئوریک کاربردی در زمین‌آمار تعداد محدودی دارند. از آن جمله می‌توان به مدل‌های کروی، گوسی و نمایی اشاره نمود.

روش‌های برازش مدل به واریوگرام عبارتند از روش انتگرال واریوگرام، روش کمترین مربعات وزنی و روش کریجینگ. در این تحقیق از روش کریجینگ استفاده شد. با استفاده از این روش می‌توان پارامترهای واریوگرام را بدست آورد.

برای این منظور در هر مرتبه یکی از نقاط با داده معلوم حذف شده و سپس مقدار آن داده به روش کریجینگ تخمین زده می‌شود.

(۱۲). در این رابطه n تعداد نقاط، $z^*(x_i)$ مقدار برآورد شده و $z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده در نقطه معلوم است.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z^*(x_i) - z(x_i)| \quad (11)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z^*(x_i) - z(x_i)) \quad (12)$$

روش تحقیق

در پروژه حاضر با استفاده از نرم‌افزار SPSS پارامترهای آماری ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی استان فارس مورد بررسی قرار گرفت و میانگین بارش سالانه آنها محاسبه گردید. با توجه به اینکه آمار کلیه ایستگاه‌ها در این پروژه کامل نبود، با استفاده از روش تفاضل‌ها و نسبت‌ها و در نظر گرفتن ایستگاه مبنا و ایستگاه‌های مجاور، نقصان آمار ایستگاه‌ها بازسازی گردید. همگنی و تصادفی بودن داده‌ها توسط روش غیرنموداری توسط آزمون همگنی یا (U test) و استقلال داده‌ها توسط آزمون ناپارامتری من-وینتی مورد بررسی قرار گرفت.

پس از انجام آزمون‌های اولیه، مدل‌های مختلف درونیابی بر داده‌ها برازش داده شد و نتایج با استفاده از معیار MAE و MBE مورد ارزیابی قرار گرفته، مناسبترین مدل برازش داده شده انتخاب گردید. تحلیل‌های درونیابی

مکانی نمونه‌ها را همراه با مقدار کمیت مورد نظر یکجا بررسی کرد. این ارتباط مکانی (فاصله‌ای و جهتی) بین مقدار یک کمیت در جامعه نمونه‌های برداشت شده ممکن است در قالب‌های ریاضی قابل بیان باشد. به این قالب‌های ریاضی ساختار مکانی گفته می‌شود. در زمین‌آمار می‌توان با استفاده از داده‌های یک کمیت در مختصات معلوم مقدار همان کمیت را در نقطه‌ای با مختصات معلوم دیگر واقع در دامنه‌ای که ساختار مکانی حاکم است، تخمین زد (Hassani Pak, 1999). در این رابطه برای تعیین رابطه مکانی پدیده‌ها از واریوگرام استفاده می‌شود که از طریق رابطه (۹) قابل محاسبه است:

$$2\gamma^*(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2 \quad (9)$$

در رابطه فوق $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به‌کاررفته در محاسبه به ازاء هر فاصله‌ای مانند h است، بنابراین تعداد جفت‌ها تابع h است. معمولاً هرچه h افزایش یابد، تعداد جفت‌ها کم می‌گردد. واریوگرام تجربی به بررسی ویژگی‌های خطای تخمین‌های کریجینگ باید میانگین صفر داشته باشد و با خطاهای تخمین تئوریک برابر باشد. این تخمینگر خطی به شکل رابطه (۱۰) تعریف می‌شود:

$$z(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z^*(x_i) \quad (10)$$

که در آن N تعداد داده‌ها، $z(x_0)$ مشخصه تخمین زده‌شده در نقطه x_0 ، $z^*(x_0)$ مقدار اندازه‌گیری شده عددی مشخصه مورد بررسی در نقطه x_i و λ_i وزن آماری است که به نمونه $z(x_i)$ واقع در همسایگی نقطه x_0 اختصاص می‌یابد (Hassani Pak, 1999).

در این تحقیق با استفاده از کریجینگ به برازش انواع مدل‌ها بر واریوگرام شاخص خشکسالی SPI سه ماهه ایستگاه‌های مورد مطالعه پرداخته می‌شود. برای مقایسه نتایج حاصل از درونیابی روش‌های متعددی وجود دارد. یکی از روش‌های معتبر به نام روش ارزیابی متقاطع موسوم است. این روش با حذف یک نقطه معلوم از مجموع داده‌ها، به‌کارگیری نقاط باقیمانده برای برآورد نقطه حذف‌شده، محاسبه خطای برآورد و تکرار مراحل فوق برای تمامی داده‌های معلوم صورت می‌گیرد. آماره‌های ارزیابی شامل ریشه دوم مربعات خطا و مقدار استاندارد شده آن، میانگین خطای مطلق و میانگین خطای اریب است (روابط ۱۱ و ۱۲).

در این پژوهش با استفاده از نرم افزار SAGA GIS 8.2.0 صورت گرفته است.

نتایج و بحث

برازش مدل‌های مختلف درون‌یابی بر داده‌ها

از آنجاکه در محاسبه شاخص SPI استانداردسازی و تبدیل

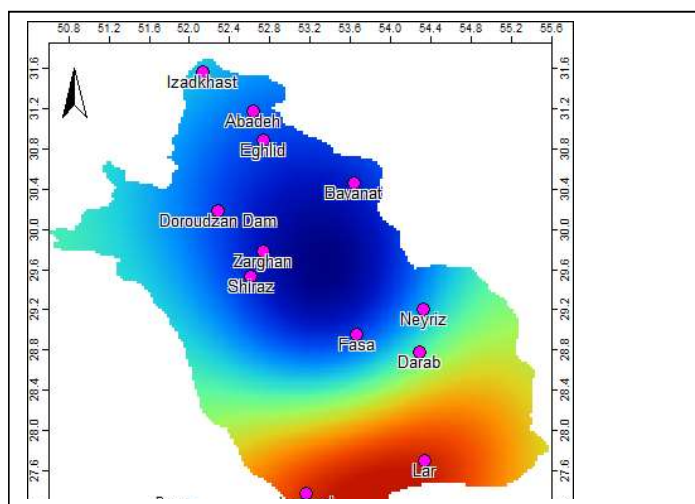
داده‌ها به نرمال استاندارد صورت می‌گیرد، داده‌های SPI از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. ۱۷ مدل کریجینگ بر داده‌های SPI سه‌ماهه ایستگاه‌ها برازش داده شد و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت. جدول (۳) مدل‌های برازش داده شده و نتایج ارزیابی را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مدل‌های برازش داده شده بر شاخص خشکسالی SPI سه ماهه و نتایج ارزیابی

تکنیک درون‌یابی	مدل	MSE	RMSE	NRMSE
Ordinary Kriging کریجینگ معمولی	Linear (No Trend)	۰/۹۵	۰/۹۷	۳۱/۵۴
	Linear	۰/۹۵	۰/۹۷	۳۱/۵۴
	Power	۰/۹۵	۰/۹۷	۳۱/۵۶
	Square root	۰/۹۵	۰/۹۷۵	۳۱/۵۶
	Logarithmic	۰/۹۵	۰/۹۷۵	۳۱/۵۶
	Exp	۱/۰۳	۱/۰۲	۳۲/۸۱
	Stable (0<K<2)	۰/۹۵	۰/۹۷۶	۳۱/۵۹
	Gaussian	۰/۹۵	۰/۹۷	۳۱/۵۶
	Cubic	۰/۹۸۵	۰/۹۹	۳۲/۱۲
Simple Kriging کریجینگ ساده	Spherical	۰/۹۸۲	۰/۹۹	۳۲/۰۷
	Linear (No Trend)	۱/۴۹	۱/۲۲	۳۹/۵۶
	Linear	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۳۲/۳۴
	Gaussian	۰/۹۹۶	۰/۹۹۸	۳۲/۳
	Stable (0<K<2)	۱/۰۱	۱/۰۰	۳۲/۵۶
Universal Kriging کریجینگ سراسری	Linear (No Trend)	۱/۴۸	۱/۲۱	۳۹/۴۱
	Gaussian	۱/۰۲	۱/۰۱	۳۲/۷۵
	Spherical	۱/۱۷	۱/۰۸	۳۴/۹۸

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مناسبترین مدل برازش داده شده بر داده‌های شاخص خشکسالی SPI سه ماهه ایستگاه‌ها، مدل‌های خطی، توانی، ریشه دوم، لگاریتمی و گوسی کریجینگ معمولی است. همان‌طور که گفته شد، مدل گوسی بیانگر پیوستگی مکانی بالای متغیر است. بنابراین می‌توان گفت داده‌های شاخص خشکسالی SPI سه‌ماهه ایستگاه‌ها از همبستگی مکانی زیتندی برخوردار

است. شکل (۲) نقشه تغییرات مکانی شاخص فوق را در محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر شاخص خشکسالی SPI سه ماهه از جنوب استان به سمت شمال شرق (بوانات) افزایش می‌یابد. مقادیر این شاخص از غرب به سمت بوانات نیز افزایش می‌یابد. این نقشه در برنامه‌ریزی آبیاری در مناطق مختلف می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۲- نقشه مکانی شاخص خشکسالی SPI سه ماهه در محدوده مطالعاتی

نتیجه‌گیری

درون‌یابی از بنیادهای الزامی در مطالعات و بررسی پهنه‌های مکانی اقلیمی است. این ضرورت حاصل نبود الزام و فقدان امکانات در تاسیس ایستگاه‌های سنجش عناصر اقلیمی در مقیاس گسترده است. فقدان یا کمبود ایستگاه‌هایی که به‌طور کامل حاوی چنین مشخصاتی باشند، اقلیم‌شناسان را ملزم به رعایت اصولی معین در درون‌یابی می‌سازد. در این تحقیق ۱۷ مدل درون‌یابی کریجینگ بر داده‌های شاخص خشکسالی SPI سه‌ماهه ۱۲ ایستگاه سینوپتیک واقع در استان فارس برازش داده شده، نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت. مناسبترین مدل‌های برازش داده شده خطی، توانی، ریشه دوم، لگاریتمی و گوسی کریجینگ معمولی است. این نتایج با نتایج Zamani et al (2015) و Razmkhah et al (2009) برای درون‌یابی بارش همخوانی دارد.

نقشه پهنه‌بندی نشان داد که مقادیر شاخص خشکسالی SPI سه‌ماهه از جنوب استان به سمت شمال شرق (بوانات) افزایش می‌یابد. مقادیر این شاخص از غرب به سمت بوانات نیز افزایش می‌یابد. این نقشه در برنامه-ریزی آبیاری در مناطق مختلف می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

از تکنیک‌های درون‌یابی زمین‌آمار برای ارزیابی کفایت شبکه باران‌سنجی نیز استفاده می‌گردد. افزایش تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی در استان، به طریقی که بتواند

تغییرات مکانی ارتفاع را بطور کاملتری پوشش دهد، به معنی بالا بردن تراکم ایستگاه‌های باران‌سنجی خصوصا در مناطق کوهستانی با شکل پیچیده زمین، می‌تواند میزان خطای پیش‌بینی را کاهش داده، نتایج دقیق‌تری حاصل نماید (Diadato N., 2005) همان‌طور که مشاهده شد، بخش بزرگی از استان خصوصا نیمه غربی که محل قرار گرفتن رشته کوه‌های زاگرس با پیچیدگی در فرم زمین است، ایستگاهی در بررسی صورت گرفته لحاظ نشده است. در بررسی وضعیت اقلیمی استان مشاهده شد که بیشترین میزان بارش در دشت ارژن به ثبت رسیده است، اما در این منطقه نیز ایستگاهی مورد بررسی قرار نگرفته است. بدیهی است، استفاده از آمار ایستگاه‌های کلیماتولوژی و باران‌سنجی موجود در منطقه، که به علت کمبود وقت قادر به جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل آنها نبوده‌ایم، صرف‌نظر از کوتاه بودن دوره آماری ثبت داده‌ها، می‌تواند منجر به بهبود نتایج گردد. بنابراین ارزیابی کفایت شبکه باران‌سنجی نیز می‌تواند با استفاده از نتایج صورت گیرد (Asakereh, 2008). از فرم شکل‌های برازش داده شده برای تجزیه و تحلیل و مناسب بودن نوع مدل‌های برازش داده شده بر سمی‌واریوگرام استفاده می‌گردد، به‌طوری که مدل گوسی معرف درجه بالای پیوستگی در متغیر ناحیه‌ای است (Hassani Pak, 1999). پس می‌توان گفت پیوستگی مکانی قابل ملاحظه‌ای در شاخص خشکسالی SPI سه‌ماهه برقرار است. قابل ذکر است، سمی‌واریوگرام‌های فوق با فرض نبود

مناسب برخوردار نیستند. شایسته است تراکم شبکه ایستگاه‌های اقلیمی در این نواحی بهبود یابد تا برآوردهای درونیایی قرین دقت و صحت افزون‌تر گردد. از آنجاکه درونیایی با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های مجاور صورت می‌پذیرد، تباین اقلیمی شدید در نواحی مورد بررسی سبب نوعی ناهمسانگردی و در نتیجه ناتوانی در برآورد دقیق را به‌همراه داشته است. بدیهی است تکمیل شبکه باران‌سنجی و افزایش دقت پیش‌بینی مقادیر میانگین بارش سالانه، سبب افزایش دقت نقشه‌های پیش‌بینی خشکسالی، تحلیل آن و بهبود گزینه‌های مدیریتی می‌گردد. تهیه نقشه پهنه‌بندی مقادیر شاخص خشکسالی SPI در بازه‌های زمانی دیگر مانند ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه و مقایسه آنها با یکدیگر می‌تواند در برنامه ریزی‌های درازمدت مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- Abramowitz M., Stegun A. 1965. Handbook of Mathematical Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. Dover Publications, Inc., New York, USA.
- Asakereh H. 2008. Kriging application in climatic element interpolation, A case study: Iran precipitation in 1998.17. Geography and Development Iranian J., 6(12), pp.25-42 (In Persian).
- Beheshtirad M. 2015. Investigation spatial variation of drought using geostatistics methods and Z index in Kerman province. J Irrigation and Water Engineering, 5(20), pp.118-130.
- Bodagh Jamali J., Javanmard S., Shirmohammadi R. 2003. Monitoring and Mapping of Khorasan Province drought using SPI. Geographical Research, 17(4), pp. 4-21(In Persian).
- Chen H., Fan L., Wu W., Liu H-B. 2017. Comparison of spatial interpolation methods for soil moisture and its application for monitoring drought. Environmental Monitoring Assessment., 189, 525.
- Chen Y., Wei Ch., Yeh H. 2007. Rainfall network design using kriging and entropy. Hydrological Processes, 22(3), pp. 340-346.
- Cheng K.Sh., Lin Y. Ch., Liou J. J. 2008. Rain-gauge network evaluation and augmentation using Geostatistics. Hydrological Processes, 22, pp. 2554-2564.
- Cheng K.Sh., Wei Ch., Cheng Y.B., Yeh H.Ch. 2008. Effect of spatial variation characteristics on contouring of design storm depth. Hydrological

روند، بر داده‌ها برازش یافت. لحاظ نمودن انواع روندهای خطی، درجه ۲ و غیره می‌تواند منجر به بهبود پیش‌بینی مدل‌های حاصل گردد (Asakereh, 2008). بازسازی داده‌های مفقود و طولی سازی دوره‌های آماری کوتاه‌مدت در تعدادی از ایستگاه‌ها می‌تواند به عنوان یکی از منابع اصلی خطا مورد بررسی قرار گیرد. تهیه نقشه خطا و بررسی آن نیز می‌تواند به تحلیل مناسب‌ترین توزیع برازش داده شده بهبود بخشد. همچنین می‌توان نواحی با انحرافات پیش‌بینی زیاد را تعیین و مدل منتخب را اصلاح نمود (Saghafian and Rahimi Bandar Abadi, 2005).

بسیاری از نواحی کشور بخصوص بیابانها و کویرهای داخلی، نواحی با ارتفاع بیش از ۲۶۰۰ متر (کانون‌های آبگیر) فاقد ایستگاه‌های سنجش و اندازه‌گیری هستند. نواحی مجاور نیز که از تباین اقلیمی زیادی برخوردارند، نظیر دامنه‌های شرقی زاگرس، از توزیع و تعداد ایستگاه

Processes, 17(9), pp. 1755 – 1769.

Diadato N. 2005. The influence of topographic co-variables on the spatial variability of precipitation over small regions of complex terrain. International J. of Climatology, 25, pp. 351-363

Diodato N., Ceccarelli M. 2005. Interpolation processes using multivariate geostatistics for mapping of climatological precipitation mean in the Sannio Mountains (southern Italy). Earth Surface Processes and Landforms, 30, pp. 259-268.

Drogue G., Humbert J., Deraisme L., Mahr N., Frelson. 2002. A statistical-topographic model using an omnidirectional parameterization of the relief for mapping orographic rainfall. International Journal of Climatology, 22, pp. 599-613.

Ghahroudi Tali M. 2002. Evaluation of interpolation using Kriging. Geographical Research, 43, pp. 95-108 (In Persian).

Hassani Pak A.A. 1999. Geostatistics. Tehran university publishing (In Persian).

Hayes M. J., Svoboda M. D., Wilhite D. A., Vanyarkho, O.V. 1999. Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index, Bulletin of American Meteorological Society, 80, pp. 429-438.

Hilaire A.St., Ouarda T.B.M.J., Lachance M., Bobee B., Gaudet J., Gignac C. 2003. Assessment of the impact of meteorological network density on the estimation of basin precipitation and runoff: a case study. Hydrological Processes, 17, pp.3561-3580.

Iguzquiza E.P.1998. Comparison of geostatistical methods for estimating the areal

- average climatological rainfall mean using data on precipitation and topography. *International Journal of Climatology*, 18(9), pp.1031 – 1047.
- Keshtkar A.R., Moazami N., Afzali A. 2021. Assessment of spatial interpolation techniques for drought severity analysis in Iran's Salt Lake Basin. *Desert*, 26(1), pp. 85-97 (In Persian).
- McKee B. T., Nolan J., Doesken Kleist J. 1995. Drought monitoring with multiple timescales. 9th Conference on Applied Climatology, Boston, Massachusetts.
- Mendicino G., Senatore A., Versace P. 2008. A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in Mediterranean climate, *J. of Hydrology*, 357(3-4), pp. 282-302.
- Misaghi F., Mohammadi K. 2007. Estimating spatial distribution of rainfall using statistical and geostatistical methods and comparison with artificial networks. *Scientific J. of Agriculture*, 29(4), pp.1-13(In Persian).
- Mohammadian A., Kouhi M., Adineh Beygi A., Asouli S.J., Bazrafshan B. 2011. Comparison of Monitoring of Drought Using SPI, DI and PNI and Zoning Them (Case study: Northern Khorasan Province). *J of Water and Soil Conservation*, 17(1), pp. 177-184 (In Persian).
- Moradi H. R., Rajabi M., Faragzadeh M. 2011. Investigation of meteorological drought characteristics in Fars province, Iran. *Catena* 84, pp. 35–4 (In Persian).
- Orsi A., Lasinio G., Jona, Ferrari C. 2008. Comparison of calibration methods for the reconstruction of space-time rainfall fields during a rain enhancement experiment in Southern Italy. *Environmetrics*, 20(7), pp.812 – 834.
- Prudhomme Ch., Redd. D. 1999. Mapping extreme rainfall in a mountainous region using geostatistical techniques: A case study in Scotland. *International J. of Climatology*, 19, pp. 1337-1356.
- Rahimi Bondarabad S., Saghaian B. 2007. Estimating Spatial Distribution of Rainfall by Fuzzy Set Theory. *Iran-Water Resources Research*, 3(2), pp. 26-38 (In Persian).
- Razmkhah H., Akhond Ali A.M., Saghaian B. 2009. Evaluation of yearly precipitation regional variation using Kriging geostatistical technique, case study: Fars Province, The Second National Seminar on Drought Effects/Management, Esfahan (In Persian).
- Roustaie A., Abdollahi K. 2009. Assessment of spatial and temporal variation of precipitation in Fars province using SPI. B.S. Thesis, Water Engineering, Islamic Azad University, Marvdasht Branch, Iran (In Persian).
- Saghaian B., Rahimi Bandar Abadi S. 2005. Comparison of interpolation and extrapolation methods for estimating spatial distribution of annual rainfall. *Iran-Water Resource Research*, 1(2), pp. 74-84 (In Persian).
- Shaghghi M., Nazarifar M.H., Moemeni R., Zavarehie Moghadam Z. 2007. Regional variation assessment of monthly and yearly precipitation of Karoun basin using geostatistics. 1st Conference on Optimum Utilization of Water Resources, Shahrekord, Iran (In Persian).
- Subedi M.R., Xi W., Edgar Ch.B., Rideout-Hanzak S., Hedquist B.C. 2019. Assessment of geostatistical methods for spatiotemporal analysis of drought patterns in East Texas, USA. *Spatial Information Research*: 27, pp. 11–21.
- Tsung, Ch.K. 2004. Introduction to Geographic Information System, 2nd edition, Mc Graw Hill.
- Zamani R., Akhondali A.M., Solaimani K., Ansari F., Allahbakhshian P. 2013. Application of geostatistics in zone classification of drought severities (case study: Fars province). *J Watershed Management Research*, 3(6), pp. 15-29.