

مقاله پژوهشی

تحلیل و پهنه‌بندی خشکسالی اقلیمی و تاثیر SOI و NAO بر حوضه‌های ششگانه آبخیز ایران

جواد مومنی دمنه^۱، سیدمحمد تاج‌بخش فخرآبادی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۶

۱- دانشجوی دکتری بیابان زدایی گروه منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه هرمزگان

۲- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: tajbakhsh.m@birjand.ac.ir

چکیده

روش‌های مختلفی برای درون‌یابی داده مکانی وجود دارد و هر گونه کاستی در انتخاب روش مناسب توزیع مکانی عوامل اقلیمی و بی‌توجهی به دقت روش‌های درون‌یابی می‌تواند موجب بروز خطا در برآوردهای طراحی گردد. در این پژوهش از داده‌های ماهانه بارندگی ۷۹ ایستگاه سینوپتیک با حداقل ۳۰ سال طول دوره آماری از ۱۹۸۸ تا سال ۲۰۱۷ استفاده گردید. پس از بررسی رژیم بارش در حوزه‌های آبخیز ششگانه ایران، مقدار SPI در بازه‌های ۳، ۵ و ۸ ماهه از داده‌های بارندگی ماهانه در هر سال استخراج و برای هر ایستگاه محاسبه و برای هر یک از پدیده‌ها (SOI و NAO) مورد بررسی قرار گرفت و در سه گام زمانی ده ساله، سال‌هایی با خشکسالی‌های بسیار شدید در حوضه مشخص گردید. در تعیین توزیع بارندگی در پریودهای زمانی ۱۰ ساله در نقاط فاقد آمار از شاخص‌های میانگین قدر مطلق خطای نسبی (MARE)، میانگین خطای اریبی انحراف (MBE)، درصد میانگین خطای مطلق (MAPE) و ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده گردید. در مجموع با استفاده از خطاهای فوق در دوره سه ماهه، پنج ماهه و ۸ ماهه در بین روش‌های درون‌یابی قطعی، روش توابع پایه‌ای شعاعی (RBF) و درون‌یابی چندجمله‌ای محلی (LPI) نسبت به دو روش دیگر (IDW, GPI)، نتایج دوره ۳ و ۵ ماهه بالای ۶۲ درصد بوده و ۸ ماهه بالای ۷۲ درصد) نتایج بهتری ارائه کرده است. در مورد روش‌های کریجینگ، روش کریجینگ ساده (درجه دوم منطقی) در درون‌یابی متغیرهای بارش میانگین، بارش با دوره ۳ و ۵ ماهه، روش کریجینگ ساده (نمایی) در درون‌یابی متغیرهای بارش میانگین بارش با دوره ۸ ماهه بهترین روش زمین‌آمار بوده است.

واژه‌های کلیدی: پدیده‌های اقلیمی، پهنه‌بندی، حوزه آبخیز، خشکسالی، زمین‌آمار

Analysis and Zonation of Drought and the Impact of SOI and NAO on the Six Watersheds of Iran

J Momeni Damaneh¹, S M Tajbakhsh Fakhrabadi^{2*}

Received: March 14, 2021

Accepted: October 28, 2021

1-Ph.D Candidate of Desert Management, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

2- Assoc. Prof., Dept., of Watershed Management, Natural Resources Faculty, University of Birjand, Iran

*Corresponding Author, Email: tajbakhsh.m@birjand.ac.ir

Abstract

Background and Objectives

In order to study the spatial patterns and prepare spatial distribution maps, point data are generalized to the surface by moving away from the site in the interpolation process. The values of indefinite points are estimated by using the measured values at definite points. There are different methods for spatial data interpolation and any major defect in the spatial distribution of climatic factors and slight inattention to the appropriate method of interpolation method can lead to errors in the design estimates. So far, many researches have been done in the field of climate data interpolation in the world. The aim of this paper is determining the most appropriate method of rainfall extension pattern and fitting the best distribution function to the annual average rainfall data. In addition to the performances of different interpolation methods, the choice of the optimal model for zoning rainfall amounts in different time periods is the goal of paper.

Methodology

Iran is located in West Asia and borders the Caspian Sea, Persian Gulf, and Oman. With an area of 1,648,000 square kilometers (636,000 sq. mi), Iran ranks seventeenth in size among the countries of the world. The study area is located between 32° 25' 14.67" N and 53° 40' 58.86" E. Iran has a variable and continental climate in which most of the relatively scant annual precipitation falls from October through April. The average elevation of this plateau is about 900 meters (2,953 ft.), but several of the mountains that tower over the plateau exceed 3,000 meters (9,843 ft.). Volcanic Mount Damavand, 5,610 meters (18,406 ft.), located in the center of the Alborz, is not only the country's highest peak but also the highest mountain on the Eurasian landmass west of the Hindu Kush. The monthly precipitation data from 79 synoptic stations with at least 30 years during the period from 1988 to 2017 were used. Very severe drought years and SPI values identified in the intervals of 3, 5 and 8 months until the end of May were extracted from monthly rainfall data in each year and in three ten-year steps. In order to determine the distribution of rainfall in 10-year time periods in the lack of data points, the indices of mean absolute value of relative error (MARE), mean bias error (MBE), mean absolute percent error (MAPE) and the root mean squared error (RMSE) has been used.

Findings

In general, using the above errors in the quarterly, five-month and eight-month periods between definitive interpolation methods, radial basis functions (RBF) and local polynomial interpolation (LPI) compared to the other two methods (IDW, GPI) has provided proper results that is consistent with the results of Misaghi (2006) and Eivazy (2012). Regarding the method of radial functions, the quadratic interpolation method had the lowest correlation for all variables except rainfall with a period of 3 months. Kriging methods have given

better results compared to IDW method, which is consistent with the results of Soleimani et al. (2004) and Zabihi et al. (2011). The methods of kriging, simple kriging method (second-order logic) in the interpolation parameters of mean rainfall, (3 and 5 months), simple kriging method (exponential) in the interpolation variables precipitation with a period of 8 months were the best methods. Therefore, kriging method has presented relatively more accurate results, which is consistent with the results of Mirmousavi et al. (2010).

Conclusion

The results showed that the most droughts occurred in the second decade of the third decade, the trend is still less severe drought is occurring and the lowest is in the first decade. In order to study the effect of SOI and NAO on drought and wet years in the country, the correlation matrix was determined to investigate the drought and wet periods. Then, geostatistical modelings were performed to describe these effects. Finally, based on the study of stations and zoning models, it can be stated that the Lanina phenomenon has a little effect on drought and annual rainfall and the El Nino phenomenon has a relatively greater effect. The results show that GPI and IDW methods are not considered as good performance. These methods are based on the fit of polynomial functions on spatial data. According to the results obtained in every area and for different parameters, a single method cannot be selected as the most appropriate method and the most appropriate method can be selected. Based on the results, the most appropriate choice depends on the characteristics of the regions and a single method cannot be selected for all regions. The results show that GPI and IDW methods are not suitable and modeling in these two methods is based on fitting polynomial functions to spatial data. RBF and LPI methods have provided better output rather than other methods because the results of the 3 and 5 month periods were above 62% and the 8 months were above 72%.

Keywords: Climatic phenomena, Drought, Geostatistical, Watershed, Zonation

مقدمه

روزانه از سوی دیگر، ضرورت تبیین مدل‌های تخمین بارندگی در زمان و مکان، اجتناب‌ناپذیر است (مهرشاهی و خسروی ۲۰۱۰). متغیرهای هواشناسی معمولاً در ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شوند و در همان محلی که اندازه‌گیری می‌شوند از اعتبار بالایی برخوردارند و بتدریج که از محل ایستگاه دور می‌شوند اطمینان به آن‌ها کاهش می‌یابد (عیوضی و مساعدی ۲۰۱۱). معمولاً با دور شدن از محل به منظور تهیه نقشه‌های توزیع مکانی و مطالعه الگوهای مکانی، داده‌های نقطه‌ای طی فرآیند درونیابی به سطح تعمیم می‌یابند و با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده در نقاط معلوم، مقادیر نقاط مجهول برآورد می‌شود. روش‌های مختلفی برای درونیابی داده مکانی وجود دارد و هر

از خصوصیات بارش می‌توان به اثر آن بر وضعیت آب‌شناختی حوزه‌های رودخانه‌ای، مدیریت ذخیره، توزیع و مصرف آب اشاره نمود. در واقع باید اذعان داشت که مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب از یک سو وابسته به زمین و از سوی دیگر چشم به آسمان می‌دوزد (رمضانی و فرهی ۲۰۱۱). افزایش یا کاهش بارش در مقایسه با شرایط نرمال به ترتیب باعث ایجاد خطر سیلاب و خشکسالی می‌شود که هر کدام از این خطرات نتایج اقتصادی-اجتماعی متفاوتی دارد (تیرانداز و اسلامی ۲۰۱۲). با توجه به تغییرهای قابل ملاحظه بارندگی در زمان و مکان از یک سو و کم بودن ایستگاه‌های باران‌سنجی برای ثبت میزان بارندگی

گونه کاستی در انتخاب روش مناسب توزیع مکانی عوامل اقلیمی و بی‌توجهی به دقت روش‌های درون‌یابی می‌تواند موجب بروز خطا در برآوردهای طراحی گردد. تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه میان‌یابی داده‌های اقلیمی در جهان و ایران صورت گرفته است. زانگ و سرینیواسان (۲۰۰۹) هشت روش متفاوت اعم از تیسن، مربع وزنی معکوس، کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی و چهار نسخه از روش چند متغیره کریجینگ با انحراف بیرونی برای پیش‌بینی بارش ۴۱ ایستگاه باران‌سنجی در حوزه آبخیز لوهه واقع در حوزه رودخانه چین مقایسه کردند. نتایج به دست آمده در این مطالعه نشان می‌دهد که نقشه‌های بارش که با روش‌های مختلف درون‌یابی تخمین زده شده‌اند دارای میانگین عمق بارش منطقه‌ای مشابه هستند، اما مقادیر مختلف حداکثر بارش، حداقل بارندگی و ضریب تغییرات به طور قابل توجهی متفاوت هستند. پریس و همکاران (۲۰۰۰)، برای میان‌یابی دما و بارندگی ماهانه و سالانه در غرب و شرق کانادا دو روش TPSS و GIDS را بررسی کردند. مقدار ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE) از روش اسپیلاین صفحه نازک (TPSS) در هر دو ناحیه کمتر از روش GIDS بود. کلارک و همکاران (۲۰۰۱) از روش اسپیلاین با کشش و اسپیلاین با سطح صاف برای برآورد بارندگی در کشور سوئیس استفاده کرد. برآورد در هر دو حالت وجود متغیر کمکی و بدون متغیر کمکی نتایج مشابهی داشتند. میساقی و محمدی (۲۰۰۶) برای پهنه‌بندی اطلاعات بارندگی در حوزه مارون از زمین آمار، آمار کلاسیک و شبکه‌های عصبی استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش کوکریجینگ خطای کمتری دارد. نالدر و وین (۱۹۹۸) روش‌های کوکریجینگ، کریجینگ عمومی، نزدیک‌ترین همسایه،

عکس مجذور فاصله همراه با گرادیان (GIDS) را با هدف بررسی توزیع مکانی بارندگی و دمای ماهانه در جنگل‌های شمالی کانادا بررسی کرده که نتایج نتایج نشان داد که روش GIDS با خطای متوسط ۰/۵ درجه سانتی‌گراد برای دمای ماهانه و ۳۶ میلی‌متر برای بارندگی ماهانه از روش‌های دیگر مناسب‌تر است. میروسوی و همکاران (۲۰۱۰)، در پژوهشی سه روش کریجینگ ساده، معمولی، جهانی و توابع شعاعی را برای برآورد میانگین بارندگی سالانه‌ی استان اصفهان مورد استفاده قرار دادند که روش کریجینگ معمولی با مدل دایره‌ای مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی اطلاعات مقادیر میانگین بارندگی سالانه تعیین شد. سلیمانی و همکاران (۲۰۰۶)، با تحلیل منحنی‌های عمق، سطح و تداوم بارندگی در مناطق خشک و نیمه خشک کفه نمک سیرجان نتیجه‌گیری کردند که روش کریجینگ در تعیین متوسط بارندگی بر روش عکس فاصله برتری دارد. نصرتی و آذرنیوند (۲۰۰۲) با استفاده از شاخص SPI دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله‌ی خشکسالی را برای ۲۱ ایستگاه بارندگی حوزه آبخیز اترک به دست آوردند. سپس با استفاده از روش کریجینگ به پهنه‌بندی این شاخص پرداختند. سیابی و ثنایی نژاد (۲۰۱۳) از الگوریتم زمین آمار برای درون‌یابی، ارزیابی و تهیه نقشه‌های تغییرات زمانی و مکانی متغیرهای اقلیمی در شمال شرق ایران استفاده کردند روش COK برای دما و روش KED برای بارندگی نتایج بهتری را نشان داد.

هدف از این پژوهش، تعیین مناسب‌ترین روش الگوی گسترش بارندگی و برازش بهترین تابع توزیع به داده‌های بارش متوسط سالانه از بین روش‌های درون-

رایت ۱۹۷۲ میلی‌متر می‌باشد (ناصری و همکاران ۲۰۲۰). در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه‌های ششگانه اصلی ایران نشان داده شده است.

روش تحقیق

در این پژوهش از داده‌های ماهانه بارندگی ۷۹ ایستگاه سینوپتیک با حداقل ۳۰ سال طول دوره آماری از ۱۹۸۸ تا سال ۲۰۱۷ استفاده گردید. داده‌های مورد مطالعه از سازمان هواشناسی تهیه و داده‌های مرتبط با ENSO و NAO از طریق مراکز پژوهشی مختلف (NOAA) و برخی مراکز اروپایی تهیه و مورد استفاده قرار گرفت (<https://www.esrl.noaa.gov>). داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک به دلیل اینکه در سطح بین‌المللی مخابره می‌گردند به لحاظ آماری بصورت مقدماتی پایش شده و نیازی به بازسازی و رفع نقص‌های آماری داده‌ها نبوده است. پس از بررسی رژیم بارش در حوزه‌های آبخیز ششگانه ایران مشخص شد پایان بارش‌های بهاره (مارس، آوریل و می)، ماه می^۱ می‌باشد که از ۱۰ اسفند تا ۱۰ خرداد را دربر می‌گیرد. در بازه ۳ ماهه این بارندگی‌ها نقش بسیار زیادی بر تولید گونه‌های یک‌ساله دارد. همچنین بازه ۵ ماهه شامل ماه‌های (ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و می) می‌باشد و از داده‌های ابتدای سال میلادی در محاسبات آن استفاده شد و بازه ۸ ماهه (شامل ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می، اکتبر، نوامبر و دسامبر) اهمیت آن برای ارزیابی سال آبی می‌باشد. با توجه به اینکه دریافت داده‌های تبخیر از سطح

یابی قطعی (IDW, RBF, GPI, LPI) وزمین آماری (Ordinary Kriging, Universal Kriging, Simple kriging) مورد آزمون است. همچنین علاوه بر بررسی کارایی روش‌های مختلف درون‌یابی، انتخاب مدلی بهینه برای پهنه‌بندی مقادیر بارش در دوره‌های زمانی مختلف نیز از اهداف نگارش مقاله به شمار می‌رود.

مواد و روش‌ها

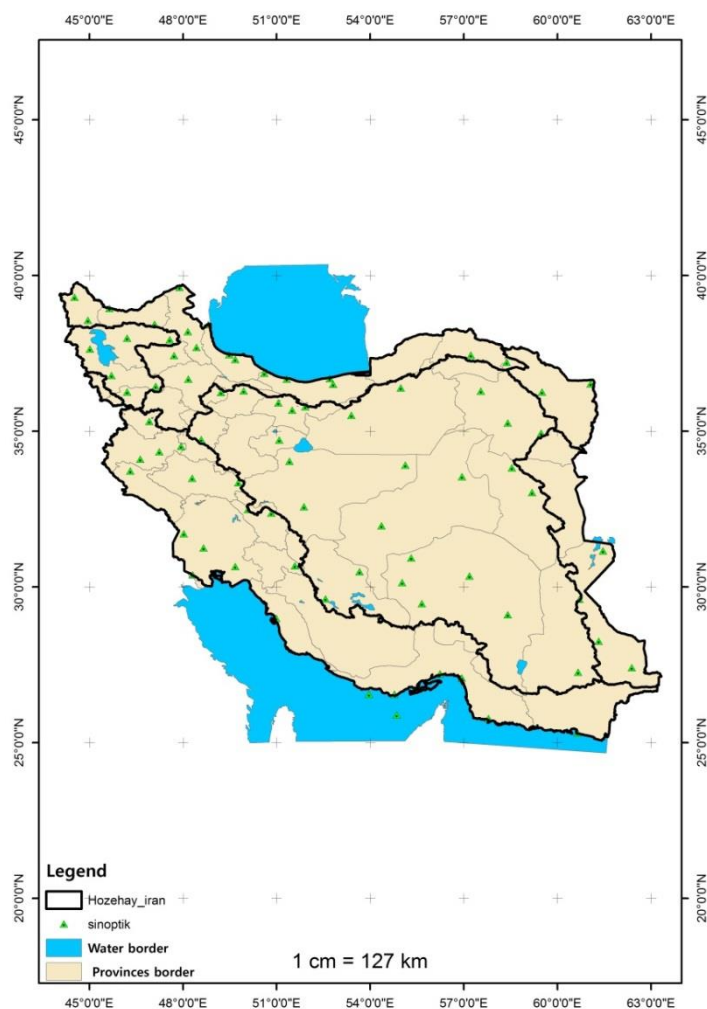
منطقه مورد مطالعه

ایران کشوری وسیع که در کمربند خشک و نیمه خشک جهان و جنوب غربی آسیا (خاورمیانه) واقع در مرز بین دریای خزر و خلیج فارس با موقعیت جغرافیایی ۲۵ تا ۳۹ درجه شمالی از خط استوا و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی از نصف النهار مبدا قرار دارد که با مساحتی معادل ۱,۶۴۸,۰۰۰ کیلومترمربع را در بر گرفته است (میرانجی و عباسی ۲۰۱۷). میانگین ارتفاع کشور از سطح دریا حدود ۱۲۵۰ متر و ارتفاع میانگین فلات ایران نزدیک به ۹۰۰ متر است. بارش متوسط سالیانه ایران ۲۵۱ میلی‌متر است که یک سوم بارش سالانه (۷۳۲ میلی‌متر) و یک سوم بارش متوسط قاره آسیا است. کمترین میزان بارش مربوط به بیابان‌های مرکزی ایران با بارش کمتر از ۲۵ میلی‌متر، و بیشترین بارش (۱۶۰۰ میلی‌متر) را نواحی خزری در بر می‌گیرد. بطور کلی حدود دو سوم از مساحت آن دارای بارندگی کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر در سال است، که ۵۰ درصد آن در زمستان رخ می‌دهد. این در حالی است که یک درصد از جمعیت جهان در ایران زندگی می‌کنند. سهم ایران از آب شیرین در حدود ۰/۳۶ درصد می‌باشد (ملکی نژاد ۲۰۰۹). میزان تبخیر و تعرق پتانسیل به روش پنمن

¹- May

میزان و نحوه تأثیر SOI و NAO بر نوسانات بارندگی در کشور با استفاده از نرم‌افزار SPSS رابطه همبستگی میان هر یک از این پدیده‌های اقلیمی و ENSO در بازه‌های ۳، ۵ و ۸ ماهه تا انتهای ماه مه از داده‌های شاخص استاندارد بارندگی ماهانه در هر سال برای هر ایستگاه محاسبه و برای هر یک از پدیده‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

ایستگاه‌های مورد بررسی امکان‌پذیر نبود و این یک عامل محدود کننده برای استفاده از داده‌های اقلیمی به شمار می‌آید و به همین دلیل از شاخص SPI استفاده گردیده است. بنابراین مقدار SPI در بازه‌های ۳، ۵ و ۸ ماهه تا انتهای ماه مه از داده‌های بارندگی ماهانه در هر سال استخراج و در سه گام زمانی ده ساله، سال‌هایی با خشک‌سالی‌های بسیار شدید در حوضه مشخص گردید. همچنین در این مطالعه جهت برآورد



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک.

تحلیل نیم‌تغییرنما

یابی را انجام می‌دهد. ضمناً چنین فرض می‌شود که نقاط نزدیک به یکدیگر شباهت بیشتری نسبت به نقاط دورتر دارند. بنابراین نقاط نزدیک‌تر دارای وزن بیشتری هستند. مقدار فاکتور وزنی با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$i\lambda = \frac{Di^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n Di^{-\alpha}} \quad [2]$$

که در آن λ وزن ایستگاه i ام، Di فاصله ایستگاه i ام تا نقطه مجهول و α توان وزندهی است. در این تحقیق برای توان وزندهی از ۱ تا ۴ استفاده شده است (حبیبی و همکاران ۲۰۰۹).

توابع پایه‌ای شعاعی RBF^2

توابع پایه‌ای شعاعی از نوع شبکه‌های رو به جلو همراه با یک لایه میانی هستند. از سه لایه شامل ورودی، مخفی و خروجی تشکیل شده‌اند. در این تحقیق از توابع اسپیلاین کاملاً منظم^۲، چندربعی معکوس^۳، چند ربعی^۴، اسپیلاین کششی^۵ و اسپیلاین با ضخامت کم^۶ استفاده شده است.

درون‌یاب عام GPI^8

درون‌یابی چند جمله‌ای برازش دهنده یک سطح همواری توسط توابع ریاضی بر روی نقاط ورودی می‌باشد. تغییرات سطح در چند جمله‌ای جهانی تدریجی است و اثرات تغییرات ناگهانی در داده‌ها کاهش می‌یابد.

نیم‌تغییرنما اساسی‌ترین ابزار در زمین‌آمار است که برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر به کار می‌رود. نیم‌تغییرنما، کمیتی برداری است که درجه همبستگی مکانی و شباهت بین نقاط اندازه‌گیری شده را بر حسب مربع تفاضل مقدار دو نقطه و با توجه به جهت و فاصله آن‌ها نشان می‌دهد:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i + h) - Z(X_i)]^2 \quad [1]$$

که در آن $Z(x_i)$ و $Z(x_i+h)$ مقادیر متغیر به ترتیب در نقاط x_i و x_i+h و $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته به ازای هر فاصله h می‌باشد. در بسیاری از موارد، وقتی h به سمت صفر میل می‌کند، مقدار نیم-تغییرنما صفر نمی‌شود. این مقدار که در واقع عرض از مبدا منحنی نیم‌تغییرنما است، اثر قطعه‌ای نام دارد. دامنه تاثیر، فاصله مکانی یا زمانی بین نمونه‌ها است که پس از آن متغیر ناحیه‌ای در نقاط مجاور هم، تاثیر چندانی بر یکدیگر ندارند. این مقدار نسبتاً ثابت که تغییرات آن تصادفی است، آستانه نام دارد و مقدار آن برابر مجموع اثر قطعه‌ای C و بخش ساختاردار نیم‌تغییرنما C است و معادل با واریانس کلی متغیر مورد بررسی است (مهرشاهی و خسروی ۲۰۱۰).

روش‌های درون‌یابی

فاصله وزنی معکوس IDW^1

این روش با وزندهی به داده‌های اطراف نقطه مورد برآورد، کمیت مجهول را بدست آورده و درون-

2 - Radial Basis Function

3 - Completely Regularized Spline

4 - Inverse Multiquadric

5 - Multiquadric

6 - Spline with Tension

7 - Thin Plate Spline

8 - Global Polynomial Interpolation

1 - Inverse Distance Weighted

در شرایطی که هر دو مولفه‌ی تغییرپذیری (جبری و تصادفی)، همزمان در ساختار مکانی متغیر ناحیه‌ای وجود داشته باشند، رفتار و الگوی تغییرپذیری مربوط را می‌توان در قالب معادله زیر نشان داد:

$$Z(x) = \sum_{k=0}^k a_k f_k(x) + \varepsilon(x) \quad [4]$$

کریجینگ ساده^۵

در این نوع از کریجینگ، میانگین داده‌ها معلوم و مستقل از مختصات فرض می‌شود.

روش‌های ارزیابی صحت

به منظور انتخاب روش مناسب درونیابی، از روش ارزیابی متقابل استفاده شده است. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف می‌شود و با استفاده از سایر نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد می‌گردد. این کار برای تمامی نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به گونه‌ای که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت و در پایان با داشتن مقادیر واقعی و برآورد شده می‌توان خطا و انحراف روش استفاده شده را برآورد کرد. در این تحقیق به منظور ارزیابی و صحت‌سنجی داده‌های پیش‌بینی شده، سه معیار شاخص میانگین قدر مطلق خطای نسبی^۶ (MARE)، میانگین خطای اریبی انحراف^۷ (MBE)، درصد میانگین خطای مطلق^۸ (MAPE) و ریشه دوم میانگین

در درونیابی عام فقط یک چندجمله‌ای بر تمامی داده‌ها برازش می‌گردد. در این بررسی از این درونیابی با توان یک تا سه استفاده شد.

درونیاب موضعی^۱ LPI

این روش نیز همانند روش GPI از تابع چند جمله‌ای جهت درونیابی استفاده می‌کند و تنها تفاوت آن‌ها در این است که در این روش تعداد زیادی چندجمله‌ای بر داده‌های محدوده‌ای یک همسایگی معین، برازش داده می‌شود. در این تحقیق برای توان وزندهی از ۱ تا ۴ استفاده شده است.

کریجینگ^۲

کریجینگ معمولی^۳

کریجینگ تخمین‌زنی است که مقادیر یک متغیر را در نقاط نمونه‌برداری نشده به صورت ترکیب خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن در نظر می‌گیرد. برآورد مقدار Z در نقطه x به وسیله تخمین‌زن کریجینگ با معادله زیر بیان می‌شود.

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad [3]$$

که در آن Z^* مقدار متغیر مکانی برآورد شده، $z(x_i)$ مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه x_i و λ_i وزنی است که به نمونه x_i نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه‌ی i ام در برآورد است.

کریجینگ جامع^۴

⁵ - Simple kriging

⁶ -MARE: Mean Absolute Relative Error

⁷ -MBE: Mean Bias Error

⁸ - MAPE: Mean Absolute Percent Error

¹ - Local Polynomial Interpolation

² - Kriging

³ - Ordinary Kriging

⁴ -Universal Kriging

میانگین را نشان می‌دهد (ساداتی و همکاران ۲۰۰۹). لشنی زند و تلوری (۲۰۰۴) معتقدند چون طبقه‌بندی مک کی و همکارانش برای تعیین و پایش خشکسالی در منطقه کلرادو به کار گرفته شده است، بنابراین باید متناسب با ویژگی‌های اقلیمی و رژیم بارش برای هر منطقه طبقه‌بندی خاصی انتخاب گردد؛ لذا با توجه به موقعیت منطقه که اکثر ایستگاه‌ها در اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار دارد از طبقه‌بندی زیر که تغییرات بارش در محدوده ۱ تا ۱- را با دقت بیشتر نشان می‌دهد استفاده و یک طبقه به طبقه‌بندی مک کی اضافه شد (جمالی زاده و همکاران ۲۰۱۲).

نتایج و بحث

با توجه به استفاده از ۷۶ ایستگاه سینوپتیک و گسترش داده‌ها در سطح کل کشور و بررسی سه دوره زمانی ۱۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۷) حجم داده‌های ورودی بسیار زیاد بوده و به همین دلیل از مدل شاخص استاندارد (SPI) که برای برآورد دوره‌های ترسالی و خشکسالی متداول بوده استفاده گردید. برای تعیین رابطه بین پدیده‌های اقلیمی NAO و SOI بر روند تغییرات ریزش‌های جوی در کشور و تهیه نقشه‌های توزیع خشکسالی روش‌های ذیل برای تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.

تجزیه و تحلیل نیم تغییرنا

نیم‌تغییرنمای تجربی مقادیر شاخص استاندارد بارش (۳، ۵ و ۸ ماهه) و رابطه شاخص استاندارد بارش با نوسانات NAO و SOI ترسیم گردید. جدول ۲ انتخاب مناسب‌ترین مدل جهت برآزش بر روی نیم‌تغییر تجربی را با توجه به مقادیر RSS و استحکام ساختار

مربع خطا^۱ (RMSE) استفاده‌گردید که معادلات آن‌ها به شرح زیر است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{oi} - X_{ci})^2} \quad [5]$$

$$MARE = \left(\sum \frac{|X_{oi} - X_{ci}|}{X_{oi}} \right) / n \quad [6]$$

$$MBE = \sum_{i=1}^n (X_{oi} - X_{ci}) \quad [7]$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_{oi} - X_{ci}| \quad [8]$$

$$PE(t) = \frac{X_{oi} - X_{oi}}{X_{oi}} \times 100 \quad [9]$$

که در این روابط، X_{oi} مقدار داده مشاهده شده، X_{ci} مقدار داده محاسبه شده توسط مدل و n تعداد داده‌ها می‌باشند.

روش شاخص استاندارد (SPI)

نمایانه بارش استاندارد به وسیله مک کی و همکاران (۱۹۹۳) به منظور تعیین پایش خشکسالی ارائه گردید. آنها برای نشان دادن نمایانه بارش استاندارد شده از یک نظام طبقه‌بندی شده استفاده کردند. به گونه‌ای است که امکان تعیین کمی خشکسالی یا SPI طبیعت وقایع غیر عادی رطوبتی را در مقیاس زمانی مشخص روی هر منطقه‌ای از کره زمین که بارش آن ثبت شده است برای یک تحلیل‌گر ماهر فراهم می‌کند (خداقلی و همکاران ۲۰۱۴). از نظر مفهومی SPI نمره سیگمایی یا میزان انحراف استاندارد بالاتر یا پایین‌تر از

^۱- RMSE: Root Mean Square Error

فضایی و حداکثر همبستگی (R^2) نشان می‌دهد. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه را می‌توان برای ارزیابی ساختار مکانی داده‌ها مورد بررسی قرار داد. وقتی این نسبت کمتر از ۰/۲۵ دارای ساختار مکانی قوی و اگر بین ۰/۲۵ – ۰/۷۵ ساختار مکانی متوسط و هنگامی که بزرگتر از ۰/۷۵ باشد ساختار مکانی ضعیف است (نالدر و

همکاران ۱۹۹۸). در جدول ۱ نیم تغییرنمای تجربی و مدل برازش داده شده به متغیرهای مورد نظر را که در محیط نرم‌افزار GS+ محاسبه شده را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۱ همه پارامترهای مورد نظر دارای ساختار مکانی متوسط بوده است.

جدول ۱- خصوصیات واریوگرام شاخص‌های مختلف.

Nugget Co	Sill Co+c	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	R2	RSS	Model	Parameter
۱/۲۷۴	۲/۵۴۹	۲۸۲۷۰۰۰	۸۱۰۰۰	۰/۵	۰/۱۵۷	۰/۱۹۳	Exponential	SPI 1988-1997
۰/۹۰۲	۳/۵۰۴	۳۵۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۰/۷۴۳	۰/۹۰۳	۰/۲۷۶	Spherical	SPI 1998-2007
۰/۳۷۷	۱/۳۰۳	۵۳۸۰۰۰	۱۴۰۰۰	۰/۷۱۱	۰/۸۶۳	۰/۰۷۹۲	Exponential	SPI 2008-2017
۰/۰۱۵۷۷	۰/۰۳۱۶۴	۴۱۱۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۰/۵۰۲	۰/۰۲۳	۲/۱۰۲ E-۰۴	Exponential	SPI&SOI
۰/۰۱۲۱۴	۰/۰۲۴۳۸	۴۱۱۰۰۰۰	۱۸۷۲۸/۸	۰/۵۰۲	۰/۳۹۶	۳/۳۷ E-۰۵	Gaussian	SPI&NAO
۲/۳۹۲	۴/۷۸۵	۴۱۱۰۰۰۰	۱۸۷۲۸/۸	۰/۵	۰/۲۱۶	۳/۵۵	Gaussian	SPI 1988-1997
۲/۴۹۴	۴/۹۸۹	۴۱۱۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۰/۵	۰/۰۶۷	۲/۰۱	Exponential	SPI 1998-2007
۱/۶۸۱	۳/۳۶۳	۴۱۱۰۰۰۰	۱۸۷۲۸/۸	۰/۵	۰/۱۱۶	۰/۹۴۷	Gaussian	SPI 2008-2017
۰/۰۰۷۳۷	۰/۰۳۷۴۴	۱۳۳۵۰۰۰	۳۵۰۰۰	۰/۸۰۳	۰/۹۵۷	۳/۷۵ E-۰۵	Spherical	SPI&SOI
۰/۰۰۸۹	۰/۰۳۰۵	۹۲۳۰۰۰	۲۳۰۰۰	۰/۷۰۸	۰/۶۱۷	۰/۰۰۰۲۲۲	Spherical	SPI&NAO
۴/۳۵	۸/۷۰۱	۴۱۱۰۰۰۰	۱۸۷۲۸/۸	۰/۵	۰/۲	۴/۸۳	Gaussian	SPI 1988-1997
۵/۵۸	۱۱/۱۶۱	۴۱۱۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۰/۵	۰/۰۰۳	۸	Exponential	SPI 1998-2007
۴/۷۲	۹/۴۴۱	۴۱۱۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۰/۵	۰/۰۲۸	۸/۸۱	Exponential	SPI 2008-2017
۰/۰۲۱۳	۰/۰۴۲۷	۴۱۱۰۰۰۰	۱۸۷۲۸/۸	۰/۵۰۱	۰/۳۴۳	۰/۰۰۰۲۷۸	Gaussian	SPI&SOI
۰/۰۱۹۶۶	۰/۰۳۹۴۲	۴۱۱۰۰۰۰	۱۸۷۲۸/۸	۰/۵۰۱	۰/۰۱۸	۳/۶۶ E-۰۵	Exponential	SPI&NAO

۳ ماهه

۵ ماهه

۸ ماهه

بررسی روش‌های درونیابی

به منظور برآورد منطقه‌ای مقادیر شاخص استاندارد بارش (۳، ۵ و ۸ ماهه) و ارتباط این شاخص با نوسانات NAO و SOI درونیابی با روش‌های مذکور صورت پذیرفت. آنگاه ارزیابی خطا از روش‌های مختلف

با معیارهای ارزیابی صحت مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است که به طور مختصر نتایج برای هر متغیر شرح داده خواهد شد. از جدول ۲ می‌توان استنباط نمود از بین همه مدل‌ها برای دوره‌های ۳، ۵ و ۸ ماهه به ترتیب Rational Quadratic – Universal Kriging- Tetraspherical simple kriging و

نمود. انتخاب مناسبترین روش براساس ضریب همبستگی (R)، MARE، RMSE، MBE و MAPE و تعیین و نقشه‌های توزیع خشکسالی در محیط نرم‌افزار ArcGIS برای تلفیق و پردازش وارد شدند (جدول ۲).

simple kriging- Exponential بهترین مدل با حداکثر همبستگی و حداقل RMSE بوده که می‌توان از این روش‌ها به عنوان بهترین مدل‌های زمین آمار برای پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی استاندارد و ارتباط این شاخص‌ها با نوسانات بزرگ مقیاس اقلیمی استفاده

جدول ۲- مقادیر خطا برای شاخص‌های شاخص استاندارد بارش (SPI) سالانه، برای دوره ۳، ۵ و ۸ ماهه.

MBE	RMSE	MARE	R	MAPE	مدل	روش	
۰/۰۶۳	۰/۸۰۰	۲/۲۵۹	۰/۶۰۴۸۹	۲۷۲۵/۸۶۱	۲	IDW	
۰/۰۰۸	۰/۸۴۶	۵/۹۳۶	۰/۵۶۷۱۶	۵۹۳/۵۹۱	۴	GPI	
۰/۰۰۴	۰/۷۷۹	۲/۲۹۴	۰/۶۴۲۳۷	۲۲۹/۴۱۹	۱	LPI	
۰/۰۲۲	۰/۷۷۲	۲/۸۸۴	۰/۶۳۷۶۲	۲۸۸/۳۵۷	Spline with Tension	RBF	۳ ماهه
۰/۰۰۹	۰/۷۷۱	۲/۵۶۹	۰/۶۳۷۵۸	۲۵۶/۸۶۶	K-Bessel	OK	
۰/۰۳۷	۰/۷۵۲	۳/۵۹۵	۰/۶۶۶۹۰	۳۵۹/۴۷۰	Rational Quadratic	SK	
۰/۰۰۹	۰/۷۷۱	۲/۵۶۹	۰/۶۳۷۵۸	۲۵۶/۸۶۶	K-Bessel	UK	
۰/۱۰۱	۱/۱۰۳	۱/۵۷۳	۰/۵۸۰۳۳	۱۵۷/۳۳۳	۲	IDW	
۰/۰۰۱	۱/۲۸۰	۱/۴۳۴	۰/۴۱۸۸۱	۱۴۳/۳۷۳	۴	GPI	
۰/۰۳۶	۱/۰۵۳	۲/۰۶۲	۰/۶۲۸۶۰	۲۰۶/۱۸۷	۱	LPI	
۰/۰۴۶	۱/۰۴۵	۷/۳۴۰	۰/۶۳۵۴۰	۷۳۳/۹۵۳	Completely Regularized Spline	RBF	۵ ماهه
۰/۰۱۵	۱/۰۳۷	۲/۰۱۸	۰/۶۳۹۴۴	۲۰۱/۷۶۰	Tetraspherical	OK	
۰/۰۵۵	۱/۰۰۰	۳/۶۴۵	۰/۶۸۱۷۰	۳۶۴/۵۳۴	Rational Quadratic	SK	
۰/۰۱۵	۱/۰۳۷	۲/۰۱۸	۰/۶۳۹۴۴	۲۰۱/۷۶۰	Tetraspherical	UK	
۰/۱۵۲	۱/۶۶۱	۱/۵۷۰	۰/۷۰۷۵۴	۱۵۷/۰۲۵	۲	IDW	
۰/۰۲۴	۲/۱۰۵	۲/۰۹۰	۰/۴۴۷۹۵	۲۰۸/۹۷۳	۴	GPI	
۰/۰۹۹	۱/۵۸۱	۱/۸۲۹	۰/۷۳۷۹۱	۱۸۲/۹۱۳	۱	LPI	
۰/۰۶۵	۱/۴۵۹	۴/۲۹۳	۰/۷۸۱۶۶	۴۲۹/۲۸۷	Completely Regularized Spline	RBF	۸ ماهه
-۰/۰۵۹	۱/۴۸۱	۱/۴۹۸	۰/۷۷۷۵۴	۱۴۹/۷۸۹	J-Bessel	OK	
۰/۰۸۰	۱/۳۸۱	۲/۲۸۰	۰/۸۱۲۵۳	۲۲۷/۹۹۱	Exponential	SK	
-۰/۰۵۹	۱/۴۸۱	۱/۴۹۸	۰/۷۷۷۵۴	۱۴۹/۷۸۹	J-Bessel	UK	

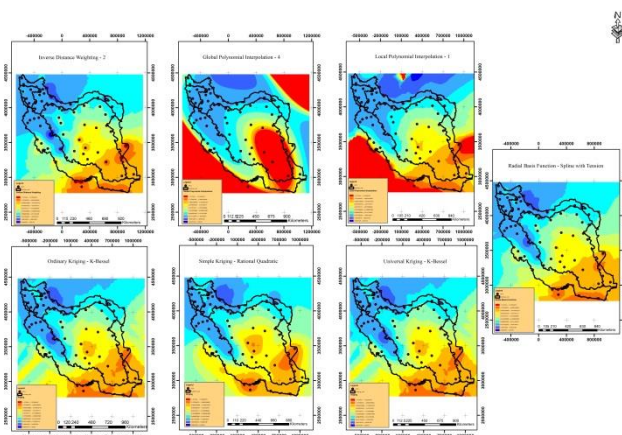
شاخص استاندارد بارش ۳ ماهه

برای تعیین اثر پدیده SOI بر وقوع خشکسالی و ترسالی در کشور پس از تعیین شدت خشکسالی در ایستگاه‌های کشور، ماتریس همبستگی برای بررسی تأثیر پدیده SOI بر وقوع دوره‌های خشکسالی و ترسالی در ایران تشکیل و سپس مدل‌های زمین آمار

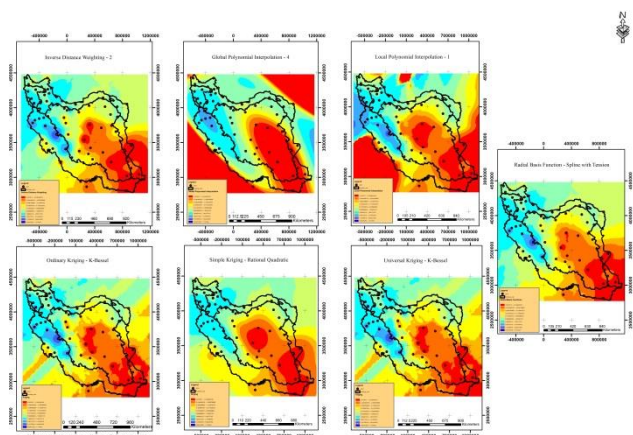
با توجه به شکل‌های ۲ تا ۴ مشخص می‌شود که بیشترین خشکسالی در دهه دوم اتفاق افتاده که در دهه سوم نیز این روند همچنان با شدت کمتر در حال وقوع بوده و کمترین خشکسالی در دهه اول می‌باشد.

بر وقوع خشکسالی و ترسالی در کشور پس از تعیین شدت خشکسالی در ایستگاه‌های کشور، ماتریس همبستگی برای بررسی تأثیر پدیده NAO بر وقوع دوره‌های خشکسالی و ترسالی در ایران تشکیل و سپس مدل‌های زمین آمار برای توصیف این اثرات اجرا گردید. نتایج حاصل ماه‌های مارس، آوریل و مه (بازه زمانی ۳ ماهه) نشان می‌دهد تعداد کمی از ایستگاه‌های ایران تحت تأثیر بارش‌های بهاره با پرفشار جنب حاره ضعیف و همچنین کم‌فشار ضعیف ایسلند (گرادیان فشار پایین) ارتباط داشته، و بیشتر سطح ایران تحت تأثیر فشار بیش‌ازحد معمول در پرفشار آزور و فشار کمتر از حد معمول در کم‌فشار ایسلند (گرادیان فشار بالا بین دو مرکز) قرار دارد (شکل ۶).

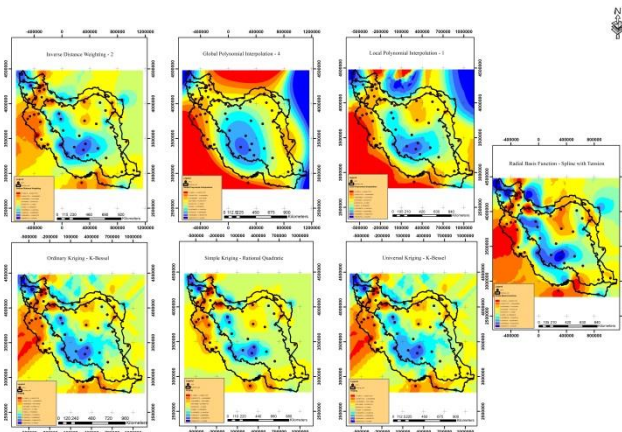
برای توصیف این اثرات اجرا گردید. نتایج حاصل ماه‌های مارس، آوریل و مه (بازه زمانی ۳ ماهه) نشان می‌دهد شاخص SPI در بازه ۳ ماهه، تعداد کمی از ایستگاه‌های ایران تحت تأثیر بارش بهاره با شدت جریان‌های واکر (لانینا) بوده که بیشتر شمال غربی و جنوب شرق ایران را به خود اختصاص می‌دهد و مناطق تحت تأثیر ضعیف شدن جریان‌های واکر (النینو) نیز در پهنه‌ی شمال شرق تا جنوب غرب ایران بیشتر تحت تأثیر می‌باشند. در مجموع با بررسی ایستگاه‌های مورد مطالعه و مدل‌های پهنه‌بندی می‌توان بیان نمود که علائم SOI بر روی خشکسالی‌های سالانه نشان از تأثیر کم پدیده لانینا بر ایران و به همین نسبت می‌توان بیان کرد که بیشتر پدیده النینو بر خشکسالی‌ها و بارش‌های ایران تأثیرگذار می‌باشد (شکل ۵). برای تعیین اثر NAO



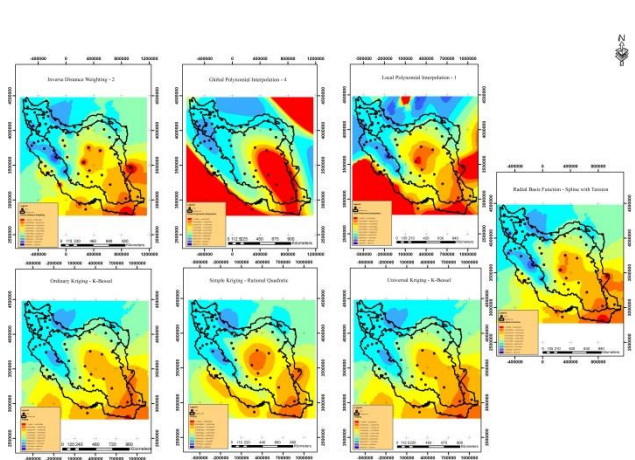
شکل ۳- توزیع مکانی شاخص استاندارد بارش ۳ ماهه (ماه‌های مارس، آوریل و مه) در دوره زمانی ۱۹۹۸-۲۰۰۷.



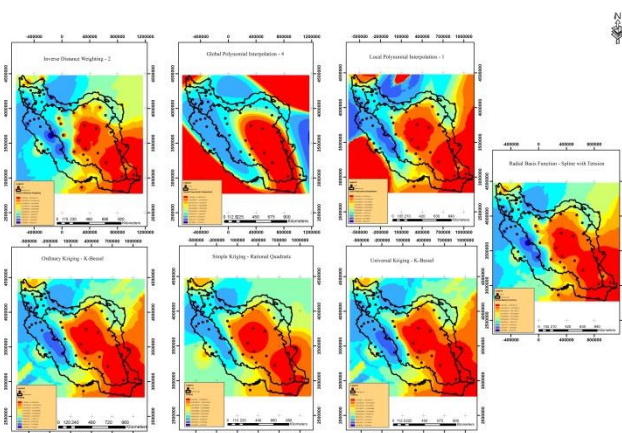
شکل ۲- توزیع مکانی شاخص استاندارد بارش ۳ ماهه (ماه‌های مارس، آوریل و مه) در دوره زمانی ۱۹۹۷-۱۹۹۸.



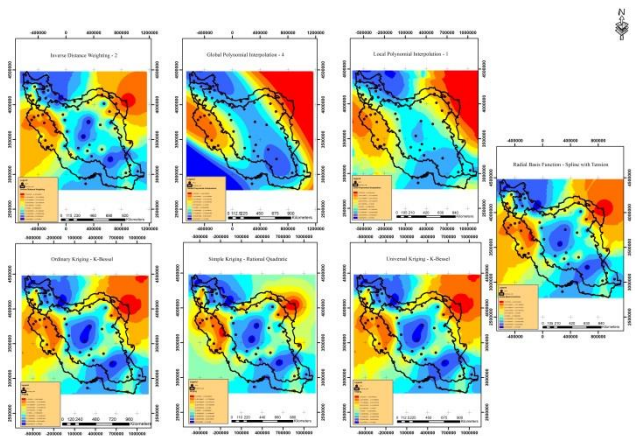
شکل ۵- توزیع مکانی ارتباط بین شاخص استاندارد بارش و SOI ۳ ماهه (ماه‌های مارس، آوریل و مه) در دوره زمانی ۱۹۸۸-۲۰۱۷.



شکل ۴- توزیع مکانی شاخص استاندارد بارش ۳ ماهه (ماه‌های مارس، آوریل و مه) در دوره زمانی ۲۰۰۸-۲۰۱۷ شاخص استاندارد بارش ۵ ماهه



شکل ۷- توزیع مکانی شاخص استاندارد بارش ۵ ماهه (ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و مه) در دوره زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۷.



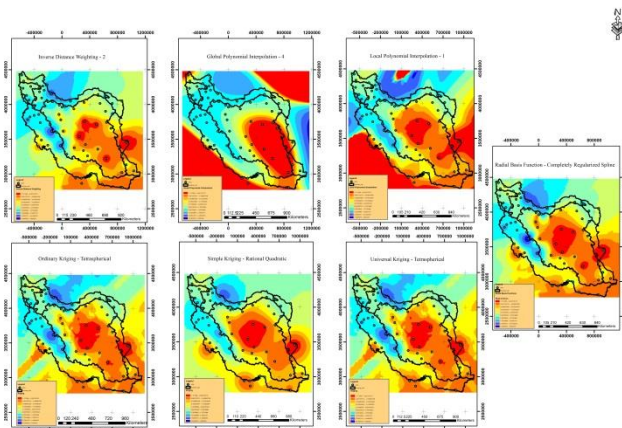
شکل ۶- توزیع مکانی ارتباط بین شاخص استاندارد بارش و NAO ۳ ماهه (ماه‌های مارس، آوریل و مه) در دوره زمانی ۱۹۸۸

وقوع بوده و کمترین خشکسالی در دهه اول می‌باشد. برای تعیین اثر پدیده SOI بر وقوع خشکسالی و ترسالی در کشور پس از تعیین شدت خشکسالی در ایستگاه‌های کشور، ماتریس همبستگی برای بررسی

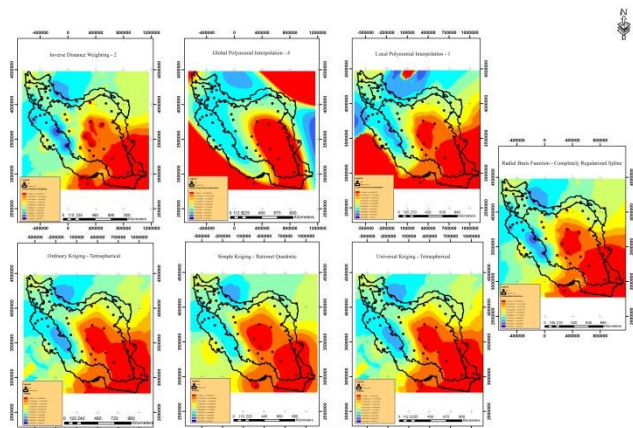
با توجه به شکل‌های ۷ تا ۹ مشخص می‌شود که بیشترین خشکسالی در دهه دوم اتفاق افتاده که در دهه سوم نیز این روند همچنان با شدت کمتر در حال

بارش‌های ایران تاثیرگذار می‌باشد (شکل ۱۰). برای تعیین اثر NAO بر وقوع خشکسالی و ترسالی در کشور پس از تعیین شدت خشکسالی در ایستگاه‌های کشور، ماتریس همبستگی برای بررسی تأثیر پدیده NAO بر وقوع دوره‌های خشکسالی و ترسالی در ایران تشکیل و سپس مدل‌های زمین آمار برای توصیف این اثرات اجرا گردید. نتایج حاصل ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و مه (بازه زمانی ۵ ماهه) نشان می‌دهد سطح وسیعی از ایران تحت تاثیر بارش‌های اول سال میلادی (اول زمستان) تا انتهای بهار با پرفشار جنب حاره ضعیف و همچنین کم‌فشار ضعیف ایسلند (گرادیان فشار پایین) ارتباط داشته و کم‌ترابریان تحت تاثیر فشار بیش‌ازحد معمول در پرفشار آזור و فشار کمتر از حد معمول در کم‌فشار ایسلند (گرادیان فشار بالا بین دو مرکز) قرار دارد (شکل ۱۱).

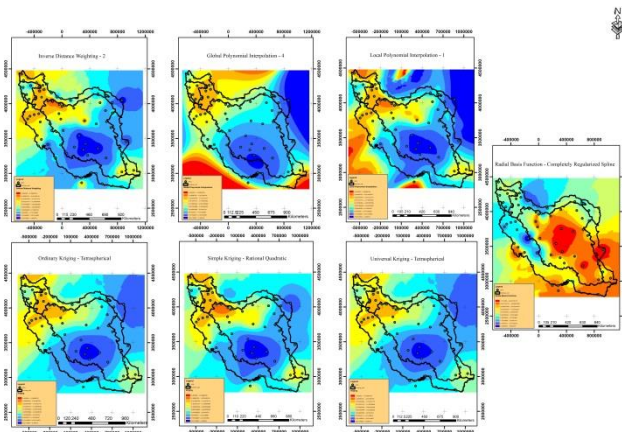
تأثیر پدیده SOI بر وقوع دوره‌های خشکسالی و ترسالی در ایران تشکیل و سپس مدل‌های زمین آمار برای توصیف این اثرات اجرا گردید. نتایج حاصل ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و مه (بازه زمانی ۵ ماهه) نشان می‌دهد شاخص SPI در بازه ۵ ماهه، تعداد کمی از ایستگاه‌های ایران تحت تاثیر بارش‌های اول سال میلادی (اول زمستان) تا انتهای بهار با شدت جریان‌های واکر (لانینا) بوده که بیشتر جنوب غربی تا جنوب شرق ایران را به خود اختصاص می‌دهد و مناطق تحت تاثیر ضعیف شدن جریان‌های واکر (النینو) نیز در پهنه‌ی شمال شرق تا شمال غرب و مرکز ایران بیشتر تحت تاثیر می‌باشند. در مجموع با بررسی ایستگاه‌های مورد مطالعه و مدل‌های پهنه‌بندی می‌توان بیان نمود که علائم SOI بر روی خشکسالی‌های سالانه نشان از تاثیر کم پدیده لانینا بر ایران و به همین نسبت می‌توان بیان کرد که بیشتر پدیده النینو بر خشکسالی‌ها و



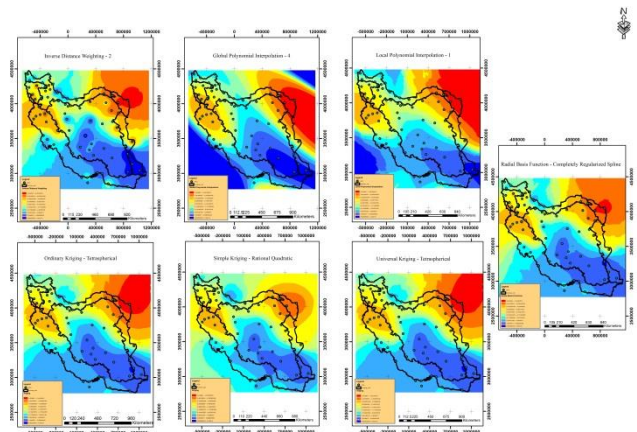
شکل ۹- توزیع مکانی شاخص استاندارد بارش ۵ ماهه (ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و مه) در دوره زمانی ۲۰۰۸-۲۰۱۷ شاخص استاندارد بارش ۸ ماهه.



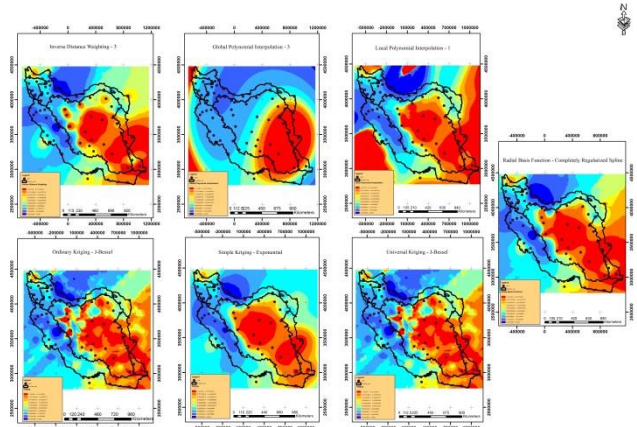
شکل ۸- توزیع مکانی شاخص استاندارد بارش ۵ ماهه (ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و مه) در دوره زمانی ۲۰۰۷-۱۹۹۸.



شکل ۱۱- توزیع مکانی ارتباط بین شاخص استاندارد بارش و SOI ۵ ماهه (ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و مه) در دوره زمانی ۱۹۸۸-۲۰۱۷.



شکل ۱۰- توزیع مکانی ارتباط بین شاخص استاندارد بارش و SOI ۵ ماهه (ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و مه) در دوره زمانی ۱۹۸۸-۲۰۱۷.



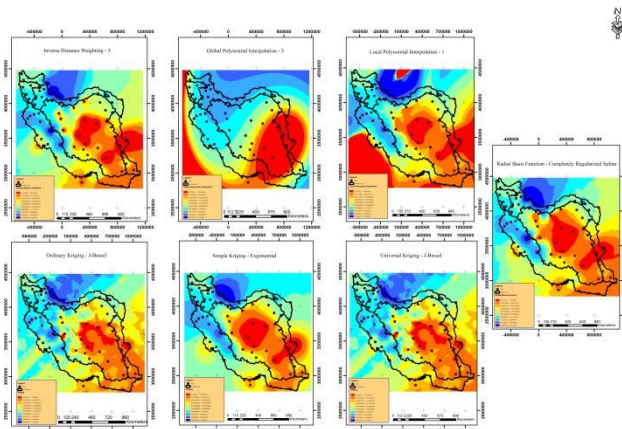
شکل ۱۲- توزیع مکانی شاخص استاندارد بارش ۸ ماهه (ماه‌های مه، آوریل، مارس، فوریه، ژانویه، دسامبر، نوامبر و اکتبر) در دوره زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۷.

ایستگاه‌های کشور، ماتریس همبستگی برای بررسی تأثیر پدیده SOI بر وقوع دوره‌های خشکسالی و ترسالی در ایران تشکیل و سپس مدل‌های زمین آمار برای توصیف این اثرات اجرا گردید. نتایج حاصل ماه‌های مه، آوریل، مارس، فوریه، ژانویه، دسامبر، نوامبر و اکتبر (بازه زمانی ۸ ماهه) نشان می‌دهد

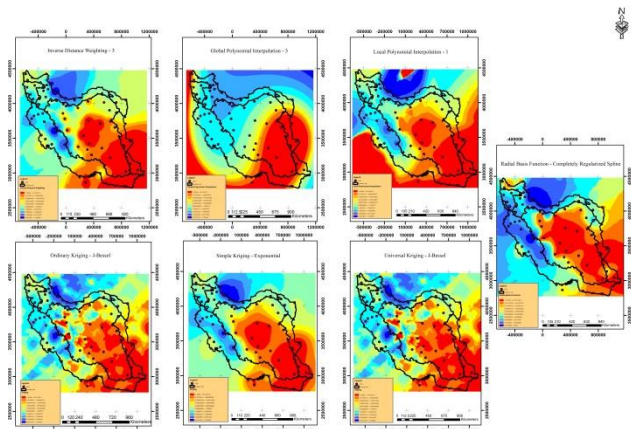
با توجه به شکل‌های ۱۲ تا ۱۴ مشخص می‌شود که بیشترین خشکسالی در دهه دوم اتفاق افتاده که در دهه سوم نیز این روند همچنان با شدت کمتر در حال وقوع بوده و کمترین خشکسالی در دهه اول می‌باشد. برای تعیین اثر پدیده SOI بر وقوع خشکسالی و ترسالی در کشور پس از تعیین شدت خشکسالی در

ایستگاه‌های کشور، ماتریس همبستگی برای بررسی تأثیر پدیده NAO بر وقوع دوره‌های خشکسالی و ترسالی در ایران تشکیل و سپس مدل‌های زمین آمار برای توصیف این اثرات اجرا گردید. نتایج حاصل ماه‌های مه، آوریل، مارس، فوریه، ژانویه، دسامبر، نوامبر و اکتبر (بازه زمانی ۸ ماهه) نشان می‌دهد سطح کمی از ایران تحت تأثیر بارش‌های سالانه با پرفشار جنب حاره ضعیف و همچنین کم‌فشار ضعیف ایسلند (گرادیان فشار پایین) ارتباط داشته، و سطح وسیعی از ایران تحت تأثیر فشار بیش‌ازحد معمول در پرفشار آزور و فشار کمتر از حد معمول در کم‌فشار ایسلند (گرادیان فشار بالا بین دو مرکز) قرار دارد (شکل ۱۶).

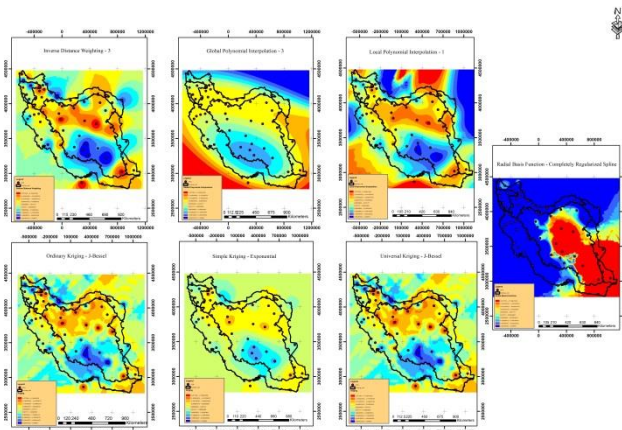
شاخص SPI در بازه ۸ ماهه، تعداد کمی از ایستگاه‌های ایران تحت تأثیر شدت جریان‌های واکر (لانینا) بوده که بیشتر شمال و جنوب شرق ایران را به خود اختصاص می‌دهد و مناطق تحت تأثیر ضعیف شدن جریان‌های واکر (النینو) نیز در پهنه‌ی شمال شرق تا جنوب غرب و مرکز ایران بیشتر تحت تأثیر می‌باشند. در مجموع با بررسی ایستگاه‌های مورد مطالعه و مدل‌های پهنه‌بندی می‌توان بیان نمود که علائم SOI بر روی خشکسالی-های سالانه نشان از تأثیر کم پدیده لانینا بر ایران و به همین نسبت می‌توان بیان کرد که بیشتر پدیده الینو بر خشکسالی‌ها و بارش‌های ایران تأثیرگذار می‌باشد (شکل ۱۵). برای تعیین اثر NAO بر وقوع خشکسالی و ترسالی در کشور پس از تعیین شدت خشکسالی در



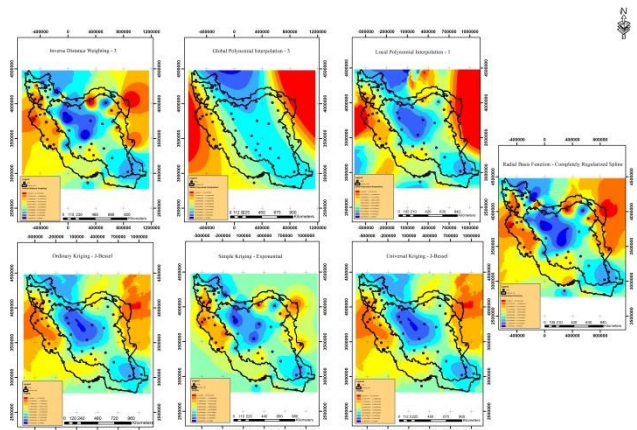
شکل ۱۴- توزیع مکانی شاخص استاندارد بارش ۸ ماهه (ماه‌های مه، آوریل، مارس، فوریه، ژانویه، دسامبر، نوامبر و اکتبر) در دوره زمانی ۲۰۰۸-۲۰۱۷.



شکل ۱۳- توزیع مکانی شاخص استاندارد بارش ۸ ماهه (ماه‌های مه، آوریل، مارس، فوریه، ژانویه، دسامبر، نوامبر و اکتبر) در دوره زمانی ۱۹۹۸-۲۰۰۷.



شکل ۱۶- توزیع مکانی ارتباط بین شاخص استاندارد بارش و NAO ۸ ماهه (ماه‌های مه، آوریل، مارس، فوریه، ژانویه، دسامبر، نوامبر و اکتبر) در دوره زمانی ۱۹۸۸-۲۰۱۷.



شکل ۱۵- توزیع مکانی ارتباط بین شاخص استاندارد بارش و SOI ۸ ماهه (ماه‌های مه، آوریل، مارس، فوریه، ژانویه، دسامبر، نوامبر و اکتبر) در دوره زمانی ۱۹۸۸-۲۰۱۷.

نتیجه‌گیری کلی

(LPI) نسبت به دو روش دیگر (IDW, GPI) نتایج بهتری ارائه کرده است که این نتیجه با نتایج عیوضی و مساعدی (۲۰۱۱) و همچنین میثاقی و محمدی (۲۰۰۶) مطابقت دارد. در مورد روش توابع شعاعی روش درون‌یابی چندربعی در مورد همه متغیرها به جز بارش با دوره ۳ ماهه کمترین میزان همبستگی را داشته است. روش‌های کریجینگ در مقایسه با روش IDW نتایج بهتری را داده است که این نتیجه با نتایج ذبیحی و همکاران (۲۰۱۰) و سلیمانی و همکاران (۲۰۰۶) همخوانی دارد. در مورد روش‌های کریجینگ، روش کریجینگ ساده (درجه دوم منطقی) در درون‌یابی متغیرهای بارش میانگین، بارش با دوره ۳ و ۵ ماهه، روش کریجینگ ساده (نمایی) در درون‌یابی متغیرهای بارش میانگین بارش با دوره ۸ ماهه بهترین روش زمین‌آمار بوده است. همان‌طور که از جدول و توضیحات فوق مشخص است روش کریجینگ نتایج نسبتاً دقیق‌تری را ارائه کرده است که این نتیجه با نتایج میرموسوی و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. نتایج

تعیین مناسب‌ترین روش الگوی گسترش بارندگی و برازش بهترین تابع توزیع به داده‌های بارش متوسط سالانه از بین روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین آماری و همچنین بررسی کارایی روش‌های مختلف درون‌یابی، انتخاب مدلی بهینه برای پهنه‌بندی مقادیر بارش در دوره‌های زمانی مختلف اهداف این تحقیق بوده‌اند. در راستای ارزیابی نتایج حاصل از روش‌ها و مدل‌های بکاربرده شده در تعیین توزیع بارندگی در پریودهای زمانی ۱۰ ساله در نقاط فاقد آمار از شاخص‌های میانگین قدر مطلق خطای نسبی (MARE)، میانگین خطای اریبی انحراف (MBE)، درصد میانگین خطای مطلق (MAPE) و ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده گردیده است. در مجموع با استفاده از خطاهای فوق در دوره سه ماهه، پنج ماهه و ۸ ماهه در بین روش‌های درون‌یابی قطعی، روش توابع پایه‌ای شعاعی (RBF) و درون‌یابی چندجمله‌ای محلی

است. طبق نتایج بدست آمده در مناطق مختلف و در مورد پارامترهای مختلف روش واحدی به عنوان مناسبترین روش نمی‌تواند انتخاب شود و انتخاب مناسبترین روش درونیابی پارامترهای هواشناسی به خصوصیات منطقه‌ای نیز بستگی دارد.

حاصل از تحلیل روش‌های قطعی نشان می‌دهد که دو روش GPI و IDW دارای کمترین همبستگی نسبت به روش‌های RBF و LPI بوده و از کارایی مناسبی برخوردار نمی‌باشند. مدل‌سازی در این دو روش بر اساس برازش توابع چندجمله‌ای بر داده‌های مکانی

منابع مورد استفاده

- Clark ME, Rose KA, Levine DA and Hargrove WW, 2001. Predicting climate change effects on Appalachian trout: Combining GIS and individual-based modeling. *Ecological Applications* 11(1): 161-178.
- Eivazi M and Mosaedi A, 2011. An investigation on spatial pattern of annual precipitation in Golestan province by using deterministic and geostatistics models. *Journal of Water and Soil* 26(1): 53-64. (In Persian with English abstract)
- Habibi V, Ahmadi A and Fattahi MM, 2009. Modeling spatial variability of ground water chemical properties using geostatistical methods. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering* 3 (7):23-34. (In Persian with English abstract)
- Isaaks EH and Serivastava RM, 1998. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, 561P.
- Jamalizadeh N and Borna R, 2012. Investigation the frequency of drought condition based on SPI and GIS in Khozestan Province. *Quarterly of Geography (Regional Planning)* 2:176-157. (In Persian with English abstract)
- Khodaghali M, Saboohi R and Eskandari Z, 2014. Analysing drought past trend and forecasting its future in Isfahan Province. *Journal of Water and Soil Science* 18 (67):367-379. (In Persian with English abstract)
- Lashanyand M and Telvari A, 2004. Investigation the climate logical drought and the possibility forecast it in six areas of the west and northwest of Iran. *Geographical Researches* 72: 75-86. (In Persian with English abstract)
- Malekinezhad H and Karimi M, 2009. Investigation of long-term temporal and spatial changes of climatic drought and its zoning using GIS technique in Iran. *Second national conference on drought, Esfahan*. 15 -16 May, Isfahan, Iran. <https://civilica.com/doc/67316>. (In Persian with English abstract)
- Maryanaji Z and Abbasi H, 2017. Zoning of the occurrence probability of maximum daily precipitation in Hamedan Province. *Scientific -Research Quarterly of Geographical Data*, 25(4): 89-96 (In Persian with English abstract)
- McKee TB, Doesken NJ and Kleist J, 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Pp.179-184. *Eighth Conference on Applied Climatology*, January 17-22, Anaheim, California.
- Mehrshahi D and Khosravi I, 2010. Evaluation of kriging intermediation and linear regression methods based on digital elevation model for spatial distribution of annual rainfall (Case study: Isfahan province). *The Journal of Spatial Planning* 14 (4): 233-249. (In Persian with English abstract)
- Mirmousavi SH, Mazidi A and Khosravi Y, 2010. The determination of optimum geostatistics method for estimating precipitation distribution using GIS (Case study: Isfahan province), *Geographic Space* 10:105-120. (In Persian with English abstract)
- Misaghi F and Mohammadi M, 2006. Zonation of rainfall data using classical statistical methods and land statistics and comparison with artificial neural networks. *Journal of Agricultural Sciences* 9(4):1-13. (In Persian with English abstract)
- Nalder JA and Wein RW, 1998. Spatial interpolation of climate normal: test of a new method, *Canadian boreal forest. Agricultural and Forest Meteorology* 94:211-225.
- Nasseri S, Ghamarnia H, Khosravi R, Mohamadi Y and Sargordi F, 2020. Evaluation of the accuracy of different combined methods for estimating the potential evapotranspiration in different climates (case study: Iran). *Water and Irrigation Management* 10(3): 443-452. doi: 10.22059/jwim.2021.308145.813. (In Persian with English abstract)

- Nosrati K and Azarnivand H, 2002. Analysis of regional drought intensity - duration - return period by using rainfall data case study atrak watershed. *Desert* 7(1):49-62. (In Persian with English abstract)
- Price DT, Mckenny DW, Nelder IA, Hutchinsen MF and Kestevé JI, 2000. A comparison of two statistical method for interpolation, Canadian monthly mean climate data. *Agriculture and Forest Meteorology* 101: 81-94.
- Ramazani Gurabi B and Farahi S, 2011. Zonation of rainfall variation in Anzali wetland. *Journal of Natural ecosystems of Iran* 1(1): 9-17. (In Persian with English abstract)
- Saadati S, Soltani S and Eslamian S, 2009. Statistical analysis of return period of drought conditions in Isfahan province using the standardized precipitation Index. *Journal of range and watershed management. Iranian Journal of natural Resources* 62(2): 269-257. (In Persian with English abstract)
- Siabi N and Sanaeinejad SH, 2013. An investigation into using of combined geostatistical methods to increase precision in climatological classification and climatic parameters zoning in great Khorasan. *Journal of Climate Research* 15: 81-32. (In Persian with English abstract)
- Solaimani K, Habibnejad M, Abkar A and Bani- Asadi M, 2006. Analysis of depth-area-duration curves of rainfall in semi-arid and arid region using geostatistical methods (Case study: Sirjan). *Desert* 1: 31-42. (In Persian with English abstract)
- Tirandaz M and Eslami A, 2012. Zoning droughts and wetness trend in north of Iran: A case study of Guilan province. *African Journal of Agricultural Research* 7(15): 2320-2327.
- Zhang X and Srinivasan R, 2009. GIS-based spatial precipitation estimation: a comparison of geostatistical approaches. *Journal of the American Water Resources Association* 45(4): 894-906.