



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

Investigating temporal and spatial changes of meteorological drought (SPI) in Karun River Basin

Mozhgan Moradi ¹, Hamid Reza Moradi ^{2*}, Mehdi Vafakha ³

¹ M.Sc. Graduate, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, TarbiatModares University, Noor, Iran.

² Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

³ Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

Received:16.03.2023; Accepted:20.06.2023

Abstract

Drought is one of the main and repeated features of different climates and also one of the environmental events and an integral part of climate fluctuations. Monitoring systems are very important in developing plans to deal with drought and its management, and for this reason, available quantitative indicators are used to express this phenomenon. Since these indices are calculated pointwise, it is necessary to process them spatially. In this regard, mediation methods including geostatistics are used. The analysis and how the meteorological drought changes over time, as well as the ability of kriging, cokriging, image distance weighted (IDW) and radial function (RBF) methods, were evaluated in the spatial analysis of meteorological drought in the entire Karun large watershed. Drought analysis was done using rainfall data from 58 rain gauge stations and 11 synoptic stations with a statistical period of 30 years in the period from 1987 to 2016 using the standardized precipitation index (SPI). Then drought maps were prepared and evaluated. The obtained results showed that the lowest value of the root mean square error (RMSE) related to the cokriging method with a value of (0.32), and the radial function method with a value of (0.34), and this method is considered the best method for the year 2013 is Also, in the year 2008 most stations were involved in very severe drought and year 2000, most stations were involved in severe drought. The results showed that the Cokriging method has higher accuracy than other methods in drought zoning.

Keywords: geostatistics, SPI index, rain gauge station, drought, monitoring systems.

*Corresponding author, Email: hrmoradi@modares.ac.ir



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست"

دوره دوم، شماره اول

[http:// Nawee.gonbad.ac.ir](http://Nawee.gonbad.ac.ir)

بررسی تغییرات زمانی و مکانی خشک‌سالی هواشناسی (SPI) در حوزه آبخیز کارون

مژگان مرادی^{1*}، حمیدرضا مرادی²، مهدی وفاخواه³

¹دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، گروه حفاظت آب و خاک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

²استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

³استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: 1401/12/25؛ تاریخ پذیرش: 1402/03/30

چکیده

خشک‌سالی از ویژگی‌های اصلی و تکرارشونده‌ی اقلیم‌های مختلف و همچنین یکی از وقایع محیطی و بخش جدایی‌ناپذیر نوسانات اقلیمی است. سامانه‌های پایش در تدوین طرح‌های مقابله با خشک‌سالی و مدیریت آن از اهمیت بسیاری برخوردار است و به همین دلیل از شاخص‌های کمی موجود برای بیان این پدیده استفاده می‌گردد. از آنجاکه این شاخص‌ها به صورت نقطه‌ای محاسبه می‌گردد، لازم است که به صورت مکانی پردازش شود. در این راستا از روش‌های میان‌یابی و از جمله زمین‌آمار استفاده می‌شود. در این پژوهش تحلیل و چگونگی تغییرات زمانی خشک‌سالی هواشناسی و همچنین قابلیت روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ، عکس فاصله وزنی (IDW) و تابع شعاعی (RBF)، در تحلیل مکانی خشک‌سالی هواشناسی در کل حوزه آبخیز کارون مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل خشک‌سالی با استفاده از داده‌های بارندگی 58 ایستگاه باران‌سنجی و 11 ایستگاه سینوپتیک با طول دوره آماری 30 ساله در بازه زمانی 66-1365 تا 95-1394 با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) انجام گرفت. سپس نقشه‌های خشک‌سالی تهیه و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که کمترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) مربوط به روش کوکریجینگ با مقدار (0/32) و روش تابع شعاعی با مقدار (0/34) و این روش به عنوان بهترین روش برای سال (92-1391) است. همچنین سال (87-1386) بیشترین ایستگاه‌ها درگیر خشک‌سالی خیلی شدید و سال (79-1378) بیشترین ایستگاه درگیر خشک‌سالی شدید بودند. نتایج نشان داد که روش کوکریجینگ از دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها در پهنه‌بندی خشک‌سالی برخوردار است. کلمات کلیدی: زمین‌آمار، شاخص SPI، ایستگاه باران‌سنجی، خشک‌سالی، سامانه‌های پایش.

*نویسنده مسئول، Email: hrmoradi@modares.ac.ir

مقدمه

نسبت به سایر نواحی بیش‌تر است. (Vafakhah 2013 and Rajabi, 2013)، با استفاده از آمار ماهانه بارندگی در یک دوره 30 ساله (78-1349) در مقیاس‌های زمانی (1، 3، 6، 9، 12 ماهه) مربوط به 8 ایستگاه هواشناسی واقع در حوضه آبخیز دریاچه‌های بختگان، مهرلو و طشک به بررسی خشک‌سالی هواشناسی، با استفاده از نمایه‌های بارش استاندارد (SPI)، درصد نرمال (PNPI)، دهک‌های بارندگی (DPI)، ناهنجاری‌های بارش (RAI) و عدد Z (-Z) Score) پرداختند. طبق نتایج نمایه‌های دهک‌های بارندگی (DPI) و درصد نرمال بارندگی (PNPI) مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای خشک‌سالی شدید گزارش شد و این نمایه‌ها از انحراف معیار کم‌تری نسبت به سایر نمایه‌ها برخوردار بودند. (Soltani and Saadati, 2016) در پژوهشی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و روش‌های زمین‌آماری به پهنه‌بندی خشک‌سالی در استان اصفهان پرداختند. نتایج نشان‌دهنده خشک‌سالی‌های بسیار شدید در بخش‌های شرق و شمال شرقی استان و غرب شهرستان اصفهان است. (Raisi et al., 2018)، برای تحلیل خشک‌سالی هواشناسی را در سه استان ساحلی دریای خزر با استفاده از روش‌های میان‌یابی از جمله روش‌های عکس فاصله وزنی (IDW)، کریجینگ و کوکریجینگ انجام دادند. آنالیز واریوگرافی ضمن تأیید مکانی بودن شاخص SPI نشان داد در پهنه‌بندی خشک‌سالی روش کریجینگ از دقت بالاتری برخوردار است (Maleki Nejad et al., 2018). به بررسی دوره‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژی با استفاده از دو شاخص خشک‌سالی SPI و SWI در حوضه چغلوئندی واقع در استان لرستان پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش شدت و تداوم خشک‌سالی‌ها به‌ویژه خشک‌سالی هیدرولوژیک در سال‌های اخیر، وجود تأخیر زمانی متفاوت بین وقوع خشک‌سالی هیدرولوژیک و هواشناسی آب‌های زیرزمینی و سطحی است (Leshni Zand et al., 2013). در مطالعه‌ای به بررسی تطابق خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژی در حوضه آبخیز سراب صیدعلی در طی یک دوره سی‌ساله پرداختند. نتایج نشان داد که رابطه مستقیم و معناداری

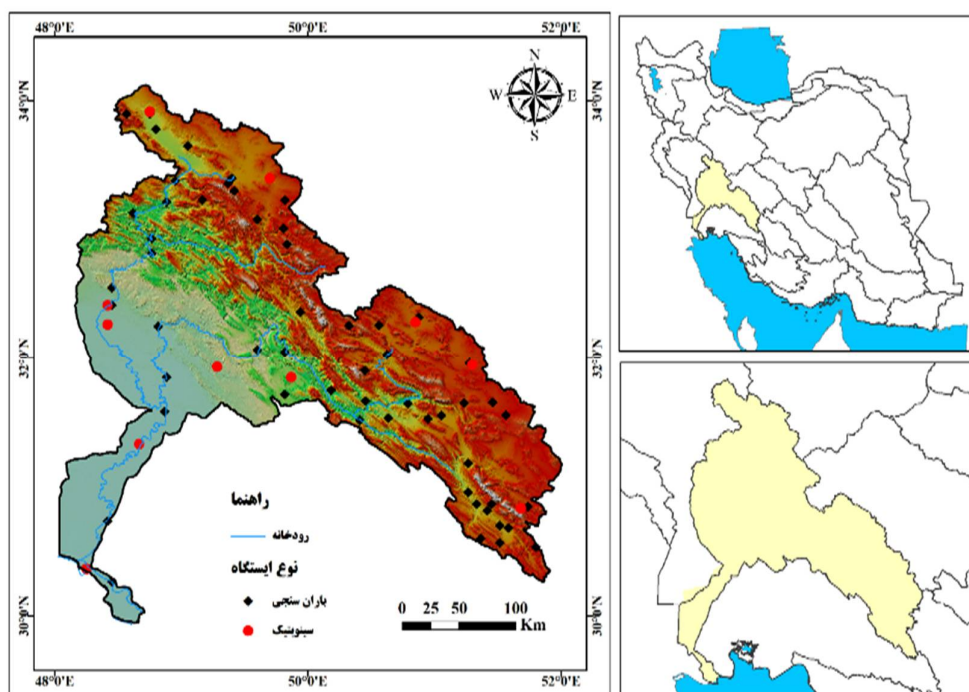
خشک‌سالی پدیده‌ای پویا می‌باشد که در طول زمان و مکان تغییر می‌کند؛ بنابراین تجزیه و تحلیل کامل پدیده خشک‌سالی نیازمند مطالعه گستره مکانی و زمانی خشک‌سالی است (Sirdas and Sen, 2003). خشک‌سالی به دلیل تعداد، فراوانی، گستردگی و تبعات بلندمدت و کوتاه‌مدت اقتصادی - اجتماعی و محیط‌زیستی، از جمله مهم‌ترین حوادث طبیعی به شمار می‌رود (Bagheri and Mohammadi, 2012). در دهه‌های اخیر خشک‌سالی‌های محیطی به‌خاطر مداخله بیش از حد انسان در طبیعت، بدتر و وخیم‌تر است (Banglapedia, 2003). کاهش بارندگی تأثیرات متفاوتی روی اجزاء مختلف چرخه هیدرولوژیکی مانند رواناب، آب زیرزمینی و ترکیب‌های بیوسفر مانند اکوسیستم‌های طبیعی و انسان دارد (Hisdal and Tallaksen, 2000). در این میان یک تعریف تقریباً جامع و کامل که بیانگر خشک‌سالی باشد وجود ندارد. یکی از بهترین تعریف‌ها برای خشک‌سالی مربوط به پالمر است که بیان می‌کند خشک‌سالی: کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی است. واژه مستمر حالت کمبود و واژه غیرطبیعی به انحراف شاخص موردنظر از شرایط طبیعی یا میانگین اطلاق می‌گردد، به‌عبارت‌دیگر دوره‌ای که در آن مقدار رطوبت و یا هر شاخص دیگری نسبت به شرایط میانگین منطقه از ناهنجاری منفی برخوردار شود، به‌عنوان خشک‌سالی تلقی می‌گردد (Palmer, 1965). خشک‌سالی به چهار دسته مختلف هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی تقسیم می‌شود (Wilhite and Glantz, 1985., Gibbs and Maher 1967., Dracup and Lee 1980., Singh and Mishra 2010., Hays, 2011., Zengchao 2015) در زمینه خشک‌سالی و تبعات آن تحقیقاتی در ایران و جهان با روش‌های مختلف انجام‌گرفته است. (Moradi et al, 2016) در پژوهشی، با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) بر اساس بارندگی ماهانه 26 ایستگاه باران‌سنجی در طی دوره آماری 32 ساله (1378-1342)، به مطالعه تغییرات مکانی خشک‌سالی‌ها در سطح استان فارس با استفاده از روش میان‌یابی کریجینگ و روش‌های تحلیل روند رگرسیون خطی و آزمون ناپارامتری من - کندال، پرداختند. نتایج نشان داد که شدت خشک‌سالی‌ها در نواحی مرکزی استان

زیادی از خشک‌سالی‌های طبیعی به دلیل بهره‌برداری شدید از منابع آب سطحی و زیرسطحی به خشک‌سالی‌های اصلاح‌شده تبدیل شده‌اند. در این پژوهش به دلیل اینکه حوضه آبخیز کارون در استان‌های چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویر احمد، لرستان و خوزستان، اصفهان و فارس را شامل می‌شود و همچنین به دلیل دارا بودن اقلیم‌های مختلف، تغییرات مکانی و زمانی خشک‌سالی هواشناسی با استفاده از روش‌های زمین‌آماری کریجینگ، کوکریجینگ، تابع شعاعی و معکوس وزنی فاصله در کل حوضه آبخیز کارون مورد بررسی قرار گرفت.

خصوصیات منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کارون در جنوب غربی ایران و در جنوب حوزه آبخیز رودخانه کرخه و چین‌خوردگی‌های زاگرس میانی قرار دارد، این حوضه شامل: استان‌های چهارمحال بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، لرستان و خوزستان، اصفهان و فارس است. حوزه آبخیز کارون در محدوده عرض جغرافیایی $29^{\circ}56'$ تا $34^{\circ}07'$ شمالی و محدوده طول جغرافیایی $48^{\circ}02'$ تا $52^{\circ}21'$ شرقی قرار دارد. 67 درصد این حوضه را مناطق کوهستانی و 33 درصد آن را دشت‌های مرتفع در برمی‌گیرد که از مساحت کل کشور حدود 5 درصد است. در این حوضه اقلیم‌های مختلف شامل سرد و نیمه‌مرطوب و گرم و خشک وجود دارد تا جایی که در قسمت‌های مختلف از این حوضه در هر زمان، چهار فصل مختلف سال قابل مشاهده است. وسعت زیاد حوزه آبخیز کارون باعث شده است که این حوزه آبخیز از دیدگاه آب‌وهوایی (وضعیت اقلیمی، دما، میزان بارندگی) دامنه تغییرات زیادی داشته باشد تا جایی که میانگین بارندگی سالیانه در ایستگاه‌های آبادان، اهواز و دزفول که در دشت واقع شده‌اند، به ترتیب: 168، 245 و 404 میلی-متر و میانگین بارندگی بخش کوهستانی 1400-800 میلی‌متر است. در بخش کوهستانی حوزه آبخیز کارون از نظر تغییرات دما نسبت به دشت خوزستان تفاوت زیادی وجود دارد و دامنه تغییرات دما زیاد است. (شرکت مهندسی مشاور جاماب، 1384). شکل (1) موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در حوضه آبخیز کارون نشان می‌دهد.

بین دبی و بارش به‌صورت روزانه، ماهانه و فصلی وجود دارد. (Hijazizadeh, et al 2017)، در مطالعه‌ای به مقایسه کارایی شاخص‌های خشک‌سالی و شناسایی بهترین شاخص در منطقه جنوب شرق ایران پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد شاخص بارش استاندارد (SPI) در بازه زمانی 6 و 12 ماهه بهترین عملکرد را در مقیاس ماهانه جهت بررسی خشک‌سالی جنوب شرق کشور را داشته است. (Hejazizadeh and Joyzadeh, 2018)، با استفاده از داده‌های بارندگی 84 ایستگاه منتخب سینوپتیک در بازه زمانی 30 ساله (1985-2014) به تحلیل فضایی و بررسی خشک‌سالی در ایران با استفاده از روش‌های زمین‌آمار پرداختند. از آماره موران جهت تبیین الگوی حاکم بر خشک‌سالی در ایران استفاده گردید. نتایج به این صورت بود که مقادیر مربوط به سال‌های مختلف در طول آماره دارای ضریب مثبت و نزدیک به یک بودند. (Arabi and Badraghnejad, 2021)، در پژوهشی در استان‌های چهارمحال بختیاری، مرکزی، اصفهان و قم جهت تحلیل دوره خشک‌سالی با استفاده از داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در منطقه، تصاویر ماهواره TERA سنجیده مودیس، شاخص‌های سنجش‌ازدور همانند وضعیت پوشش گیاهی، سلامت پوشش گیاهی، وضعیت درجه حرارت در بازه زمانی 17 ساله (مادیس) و 20 ساله (بارش، جهت صحت سنجی) و همچنین آشکارسازی تغییرات رخ داده به مطالعه پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده بین ماه‌های موردسنجش واقع شده در قسمت شرقی این استان‌ها، بیشترین روند رو به خشکی مشاهده شد که بیش از 50 درصد این استان‌ها را شامل می‌شود (Lopez Moreno et al, 2009., 2011., Max et al, 2016) Moradi et al, با استفاده از شاخص‌های SDI و SPI به ترتیب خشک‌سالی هیدرولوژی و هواشناسی و مشخصات آن‌ها را محاسبه کردند (Maher and Gibbs, 1967, Guttman, 1999, Mckee et al 1993, Sadeghi et al 2008) به مطالعه خشک‌سالی با استفاده از شاخص (SPI) پرداختند (Kakaei et al 2019). در پژوهشی در دو حوضه آبخیز ایران شرایطی را شبیه‌سازی کردند که دخالت و عدم دخالت انسان برای تعیین کمیت انواع مختلف خشک‌سالی‌های طبیعی و انسانی در شرایط اقلیمی متفاوت مورد آزمایش قرار دادند. نتایج نشان داد که تعداد



شکل 1- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در حوزه آبخیز کارون

(داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی از سایت شرکت مدیریت منابع آب ایران و داده‌های مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک از سایت سازمان هواشناسی کشور)

نرم‌افزار SPSS همبستگی داده‌ها گرفته شد، تمام ایستگاه‌های ناقص بازسازی شدند. تمام داده‌ها از نظر نرمال بودن، مورد بررسی قرار گرفتند و چون تعداد داده‌های مورد استفاده 30 سال بود، نرمال در نظر گرفته شدند. با استفاده از نرم‌افزار DIC شاخص SPI 12 ماهه برای تمام ایستگاه‌های هواشناسی محاسبه گردید؛ سپس برای تعیین ساختار مکانی داده‌ها و بهترین روش قابل استفاده، مشخصات نیم‌تغییرنا داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار GS+ استخراج گردید. داده‌ها به نرم‌افزار ArcGIS انتقال و با استفاده از افزونه Analyst Geo statistic اقدام به پهنه‌بندی خشک‌سالی با روش‌های درون‌یابی شد. با استفاده از مدل نیم‌تغییرنا و پارامترهای آن عملیات میان‌یابی، روش‌های کریجینگ معمولی با نیم‌تغییرناهای کروی، نمایی، کوکریجینگ با نیم‌تغییرنا کروی، نمایی، گوسی، تابع پایه‌ای شعاعی (اسپلاین بدون روند و مدل چندمربعی یا مولتی‌کوادریک) و معکوس وزنی فاصله انجام گرفت. جدول شماره (1) مشخصات ایستگاه‌های

روش پژوهش

داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه از سایت شرکت مدیریت منابع آب ایران³ و داده‌های مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک از سایت سازمان هواشناسی⁴ کشور دریافت شد. تمام ایستگاه‌های باران‌سنجی به تعداد 165 و ایستگاه سینوپتیک به تعداد 21 ایستگاه مورد بررسی قرار گرفتند. ایستگاه‌هایی که دارای طول دوره آماری کوتاه‌مدت بودند حذف شدند و در نهایت 58 ایستگاه باران‌سنجی (باران‌سنج معمولی و تبخیر سنجی) و 11 ایستگاه سینوپتیک دارای طول دوره آماری مناسب انتخاب شدند. سپس برای اجرای روش‌های درون‌یابی داده‌های بارش در محدوده زمانی 1365-66 تا 1394-95 با طول دوره آماری 30 ساله مربوط به 69 ایستگاه در داخل حوزه آبخیز کارون استخراج گردید. با استفاده از

³ <http://wrs.wrm.ir/amar/login.asp>

⁴ <https://www.irimo.ir>

هواشناسی منتخب در حوزه آبخیز کارون را نشان می‌دهد.

جدول 1- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در حوزه آبخیز کارون

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول دوره آماری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
1	آب باریک الیگودرز	باران سنج معمولی	27	49.81	33.23	2470
2	آب ترکی	باران سنج معمولی	30	49.94	32.36	1712
3	آبفا خرمشهر	باران سنج معمولی	43	48.45	30.26	2
4	ارمند	باران سنج معمولی	47	50.78	31.64	1295
5	آلونی	باران سنج معمولی	33	51.05	31.55	1865
6	آورگان	باران سنج معمولی	32	50.45	31.90	2380
7	بارز	باران سنج معمولی	47	50.40	31.51	989
8	بتوند - شور	باران سنج معمولی	51	48.81	32.25	100
9	بروجن	باران سنج معمولی	46	51.27	31.96	2245
10	بطاری	باران سنج معمولی	50	51.33	30.86	1560
11	بهشت‌آباد	باران سنج معمولی	30	50.62	32.03	1705
12	پاتاوه	باران سنج معمولی	36	51.26	30.95	1540
13	تنگ زردآلو	باران سنج معمولی	34	51.45	31.65	2252
14	چم بیت	باران سنج معمولی	51	48.95	33.38	1290
15	چم زمان	باران سنج معمولی	50	49.4	33.4	1830
16	حرمله	باران سنج معمولی	47	48.86	31.58	28
17	درخزینه	باران سنج معمولی	51	49.16	33.23	34
18	دره تخت	باران سنج معمولی	50	49.36	33.36	1890
19	دزک آباد	باران سنج معمولی	33	50.32	32.25	2261
20	دشت روم	باران سنج معمولی	33	51.51	30.56	2105
21	ده کهنه	باران سنج معمولی	33	51.8	30.53	2200
22	دهکده شهید	باران سنج معمولی	50	51.73	30.84	2256
23	رحیم‌آباد	باران سنج معمولی	33	48.8	33.78	1490
24	زرد فهره	باران سنج معمولی	35	49.80	33.01	2392
25	زرین درخت	باران سنج معمولی	32	50.94	31.52	1789
26	سازمان آب بروجرد	باران سنج معمولی	42	48.75	33.9	1540
27	سپیدار	باران سنج معمولی	38	51.36	30.6	2100
28	سکانه	باران سنج معمولی	36	49.60	33.08	1750
29	سولگان	باران سنج معمولی	40	51.23	31.64	2159
30	سیبک	باران سنج معمولی	35	49.83	32.88	2536
31	شاه مختار	باران سنج معمولی	50	51.51	30.7	1740
32	شهرکرد	باران سنج معمولی	41	50.87	32.32	2058
33	سی سخت	باران سنج معمولی	42	51.45	30.86	2140
34	فارسان	باران سنج معمولی	32	50.56	32.25	2074

1550	31.18	51.26	45	باران سنج معمولی	کتا	35
1700	30.81	51.41	33	باران سنج معمولی	کریک	36
770	33.13	48.61	51	باران سنج معمولی	کشور	37
1930	33.3	49.41	50	باران سنج معمولی	کمندان	38
949	31.66	50.45	38	باران سنج معمولی	مرغک	39
1560	33.65	49.05	33	باران سنج معمولی	مروک	40
18	31.33	48.35	50	باران سنج معمولی	ملائانی	41
1452	31.53	50.63	48	باران سنج معمولی	منج	42
2474	31.55	51.56	46	باران سنج معمولی	مهرگرد	43
2000	33.9	48.56	49	باران سنج معمولی	ونایی	44
1821	30.68	51.58	46	باران سنج معمولی	ياسوج	45
970	33.21	48.88	50	تبخیرسنجی	سپیددشت سزار	46
100	32.25	48.81	51	تبخیرسنجی	گتوند	47
33	31.85	48.88	35	تبخیرسنجی	عرب حسن اسد	48
142	32.41	48.45	45	تبخیرسنجی	سد تنظیمی دزفول	49
840	31.75	50.18	27	تبخیرسنجی	رکعت نعل کنان	50
600	32.05	49.81	37	تبخیرسنجی	سوسن	51
525	32.55	48.45	46	تبخیرسنجی	سد دز	52
820	32.06	49.6	48	تبخیرسنجی	سد شهید عباس پور	53
540	32.93	48.76	50	تبخیرسنجی	تنگ پنج بختیاری	54
440	32.81	48.76	51	تبخیر سنجی	تله زنگ	55
825	31.71	49.81	46	تبخیر سنجی	بارانگرد	56
764	31.52	49.86	47	تبخیرسنجی	ایذه	57
5	30.73	48.41	51	تبخیر سنجی	اهواز	58
7	30.37	48.25	70	همیدی	آبادان	59
23	33.31	48.67	70	همیدی	اهواز	60
2022	33.40	49.70	35	همیدی	الیگودرز	61
767	31.85	49.87	28	همیدی	ایذه	62
1629	33.92	48.75	32	همیدی	بروجرد	63
143	32.40	48.38	60	همیدی	دزفول	64
83	32.27	48.42	34	همیدی	صفی آباد	65
2049	32.28	50.85	66	همیدی	شهرکرد	66
321	31.93	49.28	36	همیدی	مسجد سلیمان	67
1832	30.83	51.68	34	همیدی	ياسوج	68
2197	31.95	51.30	33	همیدی	بروجن	69

مواد و روش‌ها

واریوگرام

نیم‌تغییرنما اساسی‌ترین ابزار در زمین‌آمار است که برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر به کار می‌رود. رابطه (1) بیانگر معادله نیم‌تغییرنما است.

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

که در این رابطه: $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به کاررفته در معادله، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده‌شده‌ی که در فاصله h از یکدیگر قرار دارند، $Z(x_i + h)$ مقدار مشاهده‌ی Y متغیر که به فاصله h از $Z(x_i)$ قرار دارد و $\gamma(h)$ نیم‌تغییرنما است.

روش کریجینگ⁵

روش کریجینگ برای برآورد نقطه ناشناخته به هر یک از نمونه‌های اندازه‌گیری شده، وزنی را نسبت می‌دهد. کریجینگ یک برآوردگر خطی است. رابطه (2) بیانگر معادله کریجینگ می‌باشد.

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

که در این رابطه: Z^* مقدار متغیر مکانی برآورد شده، $Z(x_i)$ مقدار متغیر مکانی مشاهده‌شده در نقطه x_i و λ_i وزن آماری که به نمونه x_i نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه i ام در برآورد است.

روش کوکریجینگ⁶

روش کوکریجینگ، مانند روش کریجینگ است. با این تفاوت که روش کوکریجینگ با در نظر گرفتن رابطه‌ی فضایی بین این متغیر و متغیر دیگری که از آن به‌خوبی نمونه‌گیری شده باشد، مقادیر مجهول را تخمین می‌زند. رابطه (3) بیانگر معادله کوکریجینگ است.

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) + \sum_{j=1}^m \lambda'_j Z'(x_j) \quad (3)$$

که در این رابطه: $Z'(x_j)$ متغیر مکانی کمکی، $Z(x_i)$

متغیر مکانی اصلی، $Z^*(x_0)$ مقدار نامعلوم متغیر در نقطه‌ی $Z(x_0)$ ، n تعداد نقاط نمونه‌برداری متغیرهای اصلی و m تعداد نقاط نمونه‌برداری متغیرهای کمکی و همچنین λ_i و λ'_j وزن‌های آماری داده‌شده به متغیرهای اصلی و کمکی می‌باشند. در این روش از متغیر کمکی ارتفاع برای درون‌یابی استفاده شد.

روش معکوس وزنی فاصله⁷ (IDW)

فرض اساسی این روش بر آن است که با افزایش فاصله میزان تأثیر پارامترها در برآورد سطح کاهش می‌یابد. رابطه (4) بیانگر معادله روش معکوس وزنی فاصله است.

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{d_i^a}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^a}} \quad (4)$$

که در این رابطه: d_i فاصله بین نقطه مشاهداتی و محاسباتی، a توان (عدد صحیح)، Z^* مقدار محاسباتی و n تعداد نقاط مشاهداتی می‌باشند.

روش توابع پایه‌ای شعاعی⁸

روش تابع پایه‌ای شعاعی از جمله روش‌های درون‌یابی است که در آن سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌کند. این روش از مدل‌های مختلف (اسپلاین کاملاً منظم⁹، اسپلاین با کشش¹⁰، مولتی کوادریک¹¹، مولتی کوادریک معکوس¹² و اسپلاین صفحه نازک¹³) تشکیل شده است. شاخص استاندارد شده بارش (SPI) نمایه‌ای است که به احتمال بارش برای هر زمان و با هر مقیاس بستگی دارد و برای مقیاس‌های زمانی مختلف، قابل محاسبه است. این شاخص در راستای هشدار اولیه جهت پایش خشک‌سالی و ارزیابی شدت آن مفید است. این شاخص در سال 1993 توسط McKee et al ارائه

³ Inverse Distance Weighting

⁸ Radial Basis Function

⁹ Completely Regularized Spline

¹⁰ Spline with Tension

¹¹ Multiquadric

¹² Inverse Multiquadric

¹³ Thin Plate Spline

⁵ Kriging

² Cokriging

می‌گردد.

را به یک روش محاسبه کرد؛ همچنین از توزیع گاما جهت محاسبه این شاخص برای برازش داده‌های بلندمدت بارش استفاده می‌شود، شاخص SPI پس از انجام محاسبه‌های لازم و تعیین پارامتر مربوط محاسبه می‌شود (مرادی و همکاران، 1386). جدول شماره (2) طبقات مختلف خشک‌سالی با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش (SPI) را نمایش می‌دهد.

$$SPI = \frac{Pi - \bar{P}}{S} \quad (5)$$

که در این رابطه: Pi مقدار بارش در دوره مورد نظر، P میانگین درازمدت بارش برای دوره مورد نظر و S انحراف معیار، مقدار بارش می‌باشد. مقادیر SPI به این صورت که از داده‌های بلندمدت بارش برای یک دوره زمانی مورد نظر محاسبه می‌گردد از یک توزیع نرمال تبعیت می‌کند که دارای میانگین صفر و انحراف از معیار یک می‌باشد. این مسئله باعث می‌گردد که بتوان سال‌های مرطوب و خشک

جدول شماره 2- طبقات مختلف خشک‌سالی با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش (SPI)

SPI	طبقه خشک‌سالی	SPI	طبقه خشک‌سالی
0 تا 0/99-	خشک‌سالی ملایم	بالاتر از 2	ترسالی خیلی شدید
-1 تا -1/49	خشک‌سالی متوسط	1/5 تا 1/99	ترسالی شدید
-1/5 تا -1/99	خشک‌سالی شدید	1 تا 1/49	ترسالی ملایم
-2 و کمتر	خشک‌سالی خیلی شدید	0 تا 0/99	نرمال

(منبع: McKee et al 1993)

خصوصیات آماری نمایه بارش استاندارد شده بارش مطابق جدول (3) مورد بررسی قرار گرفت. میانگین خشک‌سالی در طول دوره آماری 30 ساله برای کل حوزه آبخیز کارون با مقدار SPI (0/5 -) بود که بیانگر خشک‌سالی ملایم در درازمدت در این حوضه می‌باشد. با توجه به نتایج جدول خصوصیات آماری نمایه بارش استاندارد شده بارش (SPI) 12 ماهه، سال‌های 69-1368، 74-1373، 84-1383 و 93-1392 دارای کشیدگی و چولگی بالا هستند که دلیل این موضوع تغییرات بارش است، در ادامه نیم تغییر نما تجربی داده‌ها در GS+ تعیین گردید. بهترین نیم تغییر نما برای روش کربجینگ و کوکربجینگ مدل Eeponatial و برای روش تابع شعاعی مدل Spherical انتخاب گردید. بعد از انجام خصوصیات آماری خشک‌سالی ایستگاه‌های هواشناسی مطابق جدول (4) مقدار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) روش میان‌یابی کربجینگ، کوکربجینگ، معکوس وزنی فاصله و تابع شعاعی مشخص شد نتایج به دست آمده نشان داد که کم‌ترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) مربوط به روش کوکربجینگ با مقدار (0/32) و روش تابع شعاعی با مقدار (0/34) می

سیس، به منظور انتخاب مناسب‌ترین روش درون‌یابی از معیار مجذور میانگین مربع خطا (RMSE)¹⁰ استفاده شد. رابطه (6) نحوه محاسبه RMSE را نمایش می‌دهد. در این تحقیق به منظور مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده، از معیارهای مجذور میانگین مربع خطا (RMSE)، برای همه‌ی روش‌های قطعی و زمین‌آماری طبق رابطه 6 محاسبه شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (6)$$

که در این رابطه: A_t مقدار برآورد شده متغیر مورد نظر، F_t مقدار اندازه‌گیری شده متغیر مورد نظر و n تعداد نقاط می‌باشند از نظر تئوری هرگاه این دو معیار برابر صفر شوند، نمایانگر این است که دقت روش صد درصد بوده و مقدار تخمین زده شده یک کمیت، دقیقاً برابر مقدار واقعی آن می‌باشد

یافته‌ها

در پژوهش حاضر، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار DIC خشک‌سالی دوره آماری 30 ساله 69 ایستگاه هواشناسی مطابق روش McKee et al محاسبه شد و در مرحله بعد

(RMSE) را به خود نشان دادند که در بین این چهار روش، روش تابع شعاعی (RBF) به‌عنوان بهترین روش برای سال‌های (1375-76 و 1392-93) و در روش کوکریجینگ سال (1391-92) به‌عنوان بهترین روش برای خشک 12 ماهه ماهه با توجه به 69 ایستگاه مورد بررسی و با بازه زمانی 30 ساله به‌عنوان مناسب‌ترین روش تشخیص داده شد. نقشه‌های پهنه‌بندی خشک‌سالی هواشناسی مطابق شکل (2) تهیه شد، در روش کریجینگ (خشک‌سالی خیلی شدید، سال 1386-87)، خشک‌سالی شدید روش کوکریجینگ (خشک‌سالی شدید، سال 79-1378)، خشک‌سالی متوسط و ملایم (خشک‌سالی متوسط، 76-1375 و ملایم، 1392-93) روش تابع شعاعی با کمترین مقدار RMSE به‌عنوان بهترین روش شناخته شد و نمودار جعبه‌ای مربوط به خشک‌سالی ایستگاه‌های هواشناسی قرار گرفته در شمال، جنوب، غرب و شرق به‌عنوان نمونه مطابق شکل (3) تهیه شد.

باشد. نتایج حاصل از فراوانی، شدت و تداوم وقوع خشک‌سالی ایستگاه‌های هواشناسی در طول دوره مورد مطالعه پژوهش حاضر در جدول (5) نشان می‌دهد که در سال آبی 1386-87 شدیدترین خشک‌سالی فراگیر در طول دوره آماری مورد مطالعه در منطقه به وقوع پیوسته است. به‌گونه‌ای که از 69 ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه، 40 ایستگاه در سال مذکور درگیر خشک‌سالی خیلی شدید بودند؛ همچنین یک مورد خشک‌سالی فراگیر شدید و یک مورد خشک‌سالی فراگیر متوسط و یک مورد خشک‌سالی فراگیر ملایم به ترتیب در سال‌های (79-1378)، (1375-76)، (1392-93) و (1370-71) رخ داده است. در مقابل سال آبی (1371-72) مواجه با شرایط اقلیمی خیلی مرطوب در تقریباً کل حوضه است. از بین روش‌های استفاده شده در هر چهار روش، کریجینگ، کوکریجینگ، تابع پایه شعاعی، معکوس وزنی فاصله برای سال‌های (1391-92)، (81-1380)، (85-1384)، (90-1389)، کمترین مقدار میانگین مربعات خطا

جدول 3- خصوصیات آماری نمایه بارش استاندارد شده بارش (SPI) 12 ماهه

ردیف	سال	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	کشیدگی	چولگی
1	66-1365	-2/10	1/15	0/15	0/68	3/91	-1/14
2	67-1366	-2/43	1/81	-0/08	0/81	3/71	-0/57
3	68-1367	-2/31	0/94	-1/06	0/60	3/73	0/52
4	69-1368	-4/07	0/81	-0/49	0/70	10/42	-1/93
5	70-1369	-2/49	1/02	-0/84	0/83	2/51	0/10
6	71-1370	-1/72	1/48	0/54	0/58	5/04	-1/22
7	72-1371	-1/99	2/21	0/89	0/73	5/27	-1/28
8	73-1372	-2/32	0/76	-1/22	0/81	2/05	0/39
9	74-1373	-2/34	1/54	0/47	0/57	9/31	-1/65
10	75-1374	-2/80	0/88	-0/07	0/64	5/66	-1/23
11	76-1375	-2/98	1/75	-0/92	0/82	4/28	0/87
12	77-1376	-1/89	1/43	0/25	0/79	3/18	-0/79
13	78-1377	-4/73	0/47	-0/96	0/80	7/59	-1/38
14	79-1378	-2/27	0/18	-1/55	0/51	4/19	1/07
15	80-1379	-3/02	0/71	-0/84	0/68	3/33	-0/24
16	81-1380	-1/30	1/39	0/47	0/56	3/44	-0/74
17	82-1381	-2/39	0/56	-0/42	0/59	4/44	-0/99
18	83-1382	-1/12	1/41	0/14	0/50	3/05	0/14
19	84-1383	-3/70	1/01	-0/19	0/63	15/03	-2/32
20	85-1384	-1/86	1/20	0/23	0/58	4/03	-0/70
21	86-1385	-2/84	1/06	-0/13	0/72	5/32	-1/35

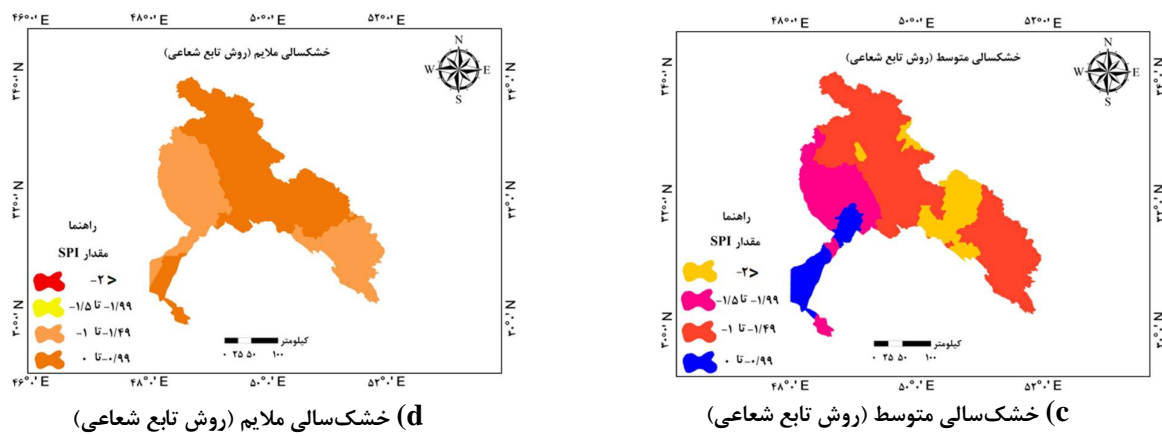
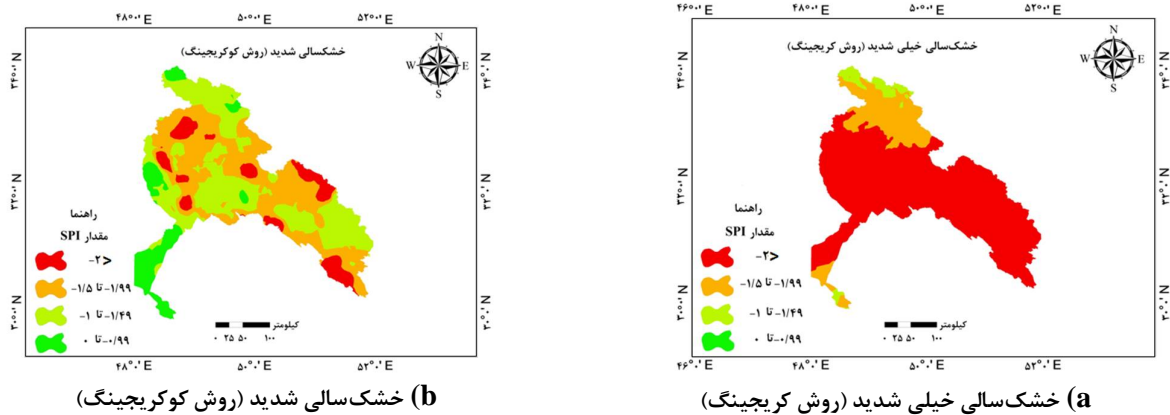
-0/26	2/37	0/59	-2/12	1/02	-3/62	87-1386	22
0/51	3/36	0/62	-1/24	0/54	-2/81	88-1387	23
-0/93	4/07	0/47	-0/36	0/30	-1/88	89-1388	24
-0/21	3/89	0/50	-1/10	0/40	-2/57	90-1389	25
-0/49	2/25	0/69	-0/84	0/16	-2/79	91-1390	26
-0/18	2/39	0/42	-0/36	0/47	-1/28	92-1391	27
-1/10	6/83	0/43	-0/76	0/11	-2/59	93-1392	28
0/15	2/79	0/64	-0/82	0/82	-2/23	94-1393	29
-0/27	3/12	0/88	-0/57	1/39	-2/86	95-1394	30

جدول 4- مقدار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) روش میان‌یابی کریجینگ، کوکریجینگ، معکوس وزنی فاصله و تابع شعاعی

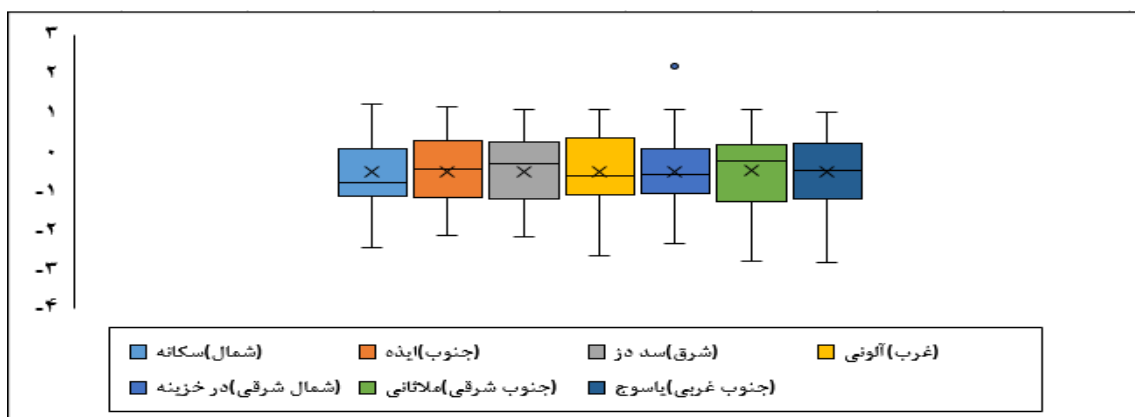
ردیف	سال	کریجینگ	کوکریجینگ	معکوس وزنی فاصله	توابع پایه شعاعی
1	1365-66	0/64	0/64	0/63	0/65
2	1366-67	0/90	0/87	0/97	0/80
3	1367-68	0/64	0/65	0/65	0/60
4	1368-69	0/77	0/80	0/84	0/71
5	1369-70	0/78	0/71	0/84	0/74
6	1370-71	0/61	0/59	0/62	0/55
7	1371-72	0/74	0/72	0/77	0/72
8	1372-73	0/74	0/75	0/81	0/69
9	1373-74	0/63	0/61	0/64	0/59
10	1374-75	0/59	0/62	0/73	0/60
11	1375-76	0/81	0/83	0/90	0/80
12	1376-77	0/74	0/77	0/79	0/72
13	1377-78	0/73	0/76	0/77	0/74
14	1378-79	0/49	0/48	0/50	0/48
15	1379-80	0/60	0/64	0/66	0/60
16	1380-81	0/44	0/45	0/45	0/42
17	1381-82	0/63	0/62	0/68	0/58
18	1382-83	0/50	0/53	0/52	0/46
19	1383-84	0/65	0/63	0/68	0/64
20	1384-85	0/43	0/44	0/45	0/42
21	1385-86	0/75	0/80	0/93	0/71
22	1386-87	0/48	0/53	0/60	0/50
23	1387-88	0/55	0/57	0/60	0/57
24	1388-89	0/52	0/56	0/59	0/49
25	1389-90	0/47	0/47	0/48	0/45
26	1390-91	0/60	0/62	0/65	0/58
27	1391-92	0/34	0/32	0/37	0/34
28	1392-93	0/50	0/52	0/54	0/45
29	1393-94	0/60	0/54	0/68	0/62
30	1394-95	0/77	0/78	0/82	0/74

جدول 5- فراوانی، شدت و تداوم وقوع خشک‌سالی ایستگاه‌های هواشناسی در طول دوره مورد مطالعه

ردیف	سال	ترسالی			خشک‌سالی			سال	ردیف	
		خیلی شدید	شدید	ملايم	نرمال	ملايم	متوسط			شدید
-	66-1365	-	-	3	43	15	4	2	2	1
-	67-1366	-	2	4	27	28	3	2	3	2
-	68-1367	-	-	5	3	27	20	12	2	3
-	69-1368	-	-	3	8	44	8	2	4	4
-	70-1369	-	2	3	11	26	15	5	7	5
-	71-1370	-	1	4	53	9	-	1	1	6
2	72-1371	2	4	21	31	7	2	2	-	7
-	73-1372	-	-	2	12	18	15	14	8	8
-	74-1373	-	1	9	50	7	1	1	-	9
-	75-1374	-	-	2	32	26	6	2	1	10
1	76-1375	1	1	2	10	18	27	8	2	11
-	77-1376	-	1	4	43	11	2	4	4	12
-	78-1377	-	-	-	3	34	11	13	8	13
-	79-1378	-	-	1	-	12	18	31	7	14
-	80-1379	-	1	2	11	26	20	6	3	15
-	81-1380	-	-	12	44	12	1	-	-	16
-	82-1381	-	-	6	14	38	7	2	2	17
-	83-1382	-	-	2	40	20	1	3	3	18
-	84-1383	-	1	2	23	37	2	3	1	19
-	85-1384	-	1	7	42	16	1	1	1	20
-	86-1385	-	-	1	30	30	3	2	3	21
-	87-1386	-	-	-	-	-	6	23	40	22
-	88-1387	-	-	-	-	23	22	24	-	23
-	89-1388	-	-	4	12	45	3	3	2	24
-	90-1389	-	1	2	2	35	15	10	4	25
-	91-1390	-	-	1	3	32	12	11	10	26
-	92-1391	-	-	1	18	43	7	-	-	27
-	93-1392	-	-	3	3	49	9	3	2	28
-	94-1393	-	1	2	14	27	16	5	4	29
-	95-1394	-	-	3	20	26	13	3	4	30



شکل 2- نقشه های پهنه بندی خشکسالی 12 ماهه



نتیجه‌گیری

هواشناسی دزفول، مهرگرد، مروک و سد دز دارای فراوانی وقوع خشک‌سالی کم و از شدت بالایی برخوردار هستند. طبق نتایج ارائه‌شده در شکل (2) بیش‌ترین فراوانی وقوع خشک‌سالی مربوط به ایستگاه‌هایی می‌باشد که در قسمت‌های شرقی و جنوب شرقی حوزه آبخیز کارون و در زیر حوضه کارون یک قرار دارند. این بخش از حوضه در استان‌های چهارمحال بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد واقع می‌باشد. پهنه‌های گسترده‌ای از این حوضه توسط ارتفاعات زاگرس و قله‌های بلند کوه منار، مافون، میلی، کلار، هزار، دره، دولت قرین، چمبه، شگرک، کاجیان، چال کلاغ و کوه مروراید پوشانیده شده‌اند. این منطقه در محدوده اقلیمی نیمه مرطوب تا نیمه‌خشک سرد واقع شده است. یکی از دلایل فراوانی خشک‌سالی در این بخش از حوضه، نوسان شدید بارش در این مناطق می‌باشد. اگرچه میانگین بارش سالانه در این ایستگاه‌ها زیاد می‌باشد ولی مقدار این بارش در سال‌های مختلف، متفاوت است. پیشینه مطالعات نشان می‌دهد که مناطق مرطوب تا نیمه مرطوب در مقایسه با مناطق نیمه‌خشک و خشک، بیش‌تر در معرض وقوع خشک‌سالی قرار دارند. این نتیجه با نتایج حاصل از پژوهش (Sadeghi et al, McKee et al 1993, Soltani and Saadati, 2016) مطابقت دارد. این نتایج با یافته‌های مرادی (Moradi et al, 2016) مطابقت دارد. همان‌طور در شکل (3) مشاهده می‌گردد شرایط عمومی خشک‌سالی در چند ایستگاه هواشناسی در موقعیت‌های جغرافیایی مختلف که در ایستگاه سکانه در (شمال)، آلونی (غرب)، درخزین (شمال شرقی)، تفاوت فاحشی با سایر ایستگاه‌ها دارند. نکته قابل‌توجه آن است که میانه در ایستگاه‌های سکانه، آلونی و درخزین در مقایسه با ایستگاه‌های ایذه، سد دز، ملاثانی و یاسوج از ناهنجاری بیشتری برخوردار بوده و نسبت به شرایط میانگین دارای ناهنجاری بیشتری است که نشان‌دهنده تفاوت میزان بارش در موقعیت‌های مختلف حوزه آبخیز کارون است.

در ارتباط با چهار مشخصه اصلی خشک‌سالی، در پهنه‌بندی خشک‌سالی معمولاً مبحث سطح تحت‌تأثیر نمایش داده می‌شود. براین‌اساس از لحاظ مشخصه سطح ممکن است پدیده خشک‌سالی حالت محلی داشته و یا فراگیر باشد. در پژوهشی که توسط (Moradi et al 2020) انجام گرفت، مشخص گردید. هرگاه بیش از نیمی از ایستگاه‌های مورد مطالعه، پدیده خشک‌سالی را تجربه کرده باشند، به‌عنوان خشک‌سالی فراگیر شناسایی شدند. بدیهی است که این خشک‌سالی‌های فراگیر می‌تواند، از شدت‌های مختلفی برخوردار باشد. نتایج حاصل از پژوهش حاضر در جدول (5) نشان می‌دهد که در سال آبی 87-1386 شدیدترین خشک‌سالی فراگیر در طول دوره آماری مورد مطالعه در منطقه به وقوع پیوسته است. به‌گونه‌ای که از 69 ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه، 40 ایستگاه در سال مذکور درگیر خشک‌سالی خیلی شدید بودند. همچنین یک مورد خشک‌سالی فراگیر شدید و یک مورد خشک‌سالی فراگیر متوسط و یک مورد خشک‌سالی فراگیر ملایم به ترتیب در سال‌های (79-1378)، (76-1375)، (93-1392) و (71-1370) روی داده است. در مقابل سال آبی (72-1371) مواجه با شرایط اقلیمی خیلی مرطوب در تقریباً کل حوضه است. این نتایج نشان می‌دهد که وقوع خشک‌سالی‌های فراگیر در منطقه از فراوانی وقوع کمی برخوردار هستند. علت اصلی آن تفاوت‌های فاحش اقلیمی و توپوگرافی در سطح حوزه آبخیز کارون است که شرایط متفاوتی را برای بخش‌های مختلف حوضه رقم می‌زند. این نتایج با یافته‌های (Moradi et al, 2011) و (Kakaei et al 2019) مطابقت دارد. آن‌ها نشان دادند که در مناطق خشک و نیمه‌خشک شدت وقوع خشک‌سالی نسبتاً بالاست اما فراوانی وقوع آن کمتر است. در حالی که در مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب، معمولاً شدت خشک‌سالی پایین‌تر و فراوانی وقوع بیشتر است. این نتایج در حوضه مورد مطالعه نیز مشاهده می‌شود به‌گونه‌ای که در ایستگاه‌های هواشناسی درخزین، آلونی، رحیم‌آباد، زرین‌درخت، سازمان آب بروجرد، سپیدار، سی‌سخت، سکانه و دشت‌روم با بیشترین مقدار فراوانی وقوع، از شدت خشک‌سالی کمتری برخوردار بودند. در مقابل ایستگاه‌های

منابع

- Arabi Z., Badraghnejad A. 2021. Measurement and correlation analysis of drought time series based on Moody's satellite images and Standard Precipitation Climatic Index (SPI) in the eastern slope of Zagros. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, Year 8, 4 (3), pp. 71-88. (in Persian).
- Bagheri R., Mohammadi S. 2012. Investigating the spatial changes of drought using geostatistics in Kerman province in a 30-year statistical period (1970-2000), *Pasture and Desert Research of Iran*, 19(2) pp. 296-283. (in Persian).
- Banglapedia E. 2003. National Encyclopedia of Bangladesh, Islam, S. edited, Asiatic Society of Bangladesh.
- Dracup J.A., Lee K.S., 1980. Paulson Jr EG, On the statistical characteristics of drought events, *Water Resource Research*, 16(4):pp. 289-296.
- Gibbs W., J Maher. 1967. Rainfall Deciles as Drought Indicators, *Bureau of Meteorology Bulletin*, 48, Commonwealth of Australia, Melbourne.
- Gibbs W., Maher J. 1967. Rainfall Deciles as Drought Indicators, *Bureau of Meteorology Bulletin*, 48, Commonwealth of Australia, Melbourne.
- Guttman B N. 1999. Comparing the Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *J of American Water Resources Association*: 34(1), pp.113-121.
- Hayes M., Svoboda M., Wall N., Widhalm M. 2011. The lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended. *Bull. Am. Meteor. Soc.* 92 (4), pp.485-488.
- Hejazizadeh Z., Joyzadeh S. 2018. Analysis of spatial statistics of drought in Iran, *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*. Year 19, No. 53 (2): pp. 277-251 (in Persian).
- Hijazizadeh Z., Pejoh F., Shakiba H. 2017. Analyzing the accuracy of drought indices and determining the best climate index in the south. (Geography) scientific-research and international quarterly of the Geographical Society of Eastern Iran, 19th year, 68(1), pp. 5-21 (in Persian).
- Hisdal H., Tallaksen L.M. 2000. Drought Event Definition, Technical Report No. 6, Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe, Department of Geophysics, University of Oslo, Blindern, Norway.
- Kakaei E., Moradi H.R., Moghaddam Nia A., Van Lanen H.A.J. 2019. Quantifying Positive and Negative Human-Modified Droughts in the Anthropocene: Illustration with Two Iranian Catchments, *Water Journal*, 11 (884), pp.1 - 28.
- Leshni Zand M., Parvaneh B., Payamni K., Sepahvand A. 2013. Studying the compatibility of meteorological and hydrological drought in Sarab Said Ali basin. *Irrigation and water engineering scientific-research quarterly - third year*, 9 (3), pp. 1-11. (in Persian).
- Lopez-moreno J.I., Vicente-serrano S.M., Beguria S., Garcia-Rui M., Portela M.M., Almeida A.B. 2009. Dam effects on droughts magnitude and duration in a transboundary basin: The Lower River Tagus, Spain and Portugal, *Water Resources Research*, 45(2), pp.1-13.
- Maleki Nejad H., Soleimani Motlaq M. 2018. Investigation of the severity of meteorological and hydrological droughts in Chaglund basin, *Iranian Water Research Journal*, fifth year, 9 (4), pp. 61-72. (in Persian).
- Mckee T.B., Doesken N J., Kleist J. 1993, the Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scale, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, American Meteorological Society, pp. 179-184.
- Mckee T B., Doesken N J., Kleist J. 1993. "The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales". In: *Proc. 8th Conf. on Applied Climatology*, January 17 - 22, 1993. American Meteorological Society, Massachusetts, pp.179 - 184.
- Mishra A K., Singh V P. 2010. A review of drought concepts, *Journal of Hydrology*, 391(9):202-216.
- Mix K., W Groeger., A Lopes V. 2016. Impacts of dam construction on streamflows during drought periods in the Upper Colorado River Basin, Texas, Lakes and reservoirs, 21(4), pp. 329-337.
- Palmer, W.C. 1965. Meteorological drought. USWB, Res. Paper No.45.
- Moradi H., Rajabi M., Farajzadeh M. 2016. Analysis of the trends and spatial characteristics of the severity of droughts in Fars province. *Scientific-research quarterly of pasture and desert research in Iran*. No. 1(3), pp. 109-97. (in Persian).
- Moradi H.R., Rajabi M., Farajzadeh M. 2011. Investigation of meteorological drought characteristics in Fars province, Iran, *Catena*, 84(7), pp.35-46.
- Raisi, M. B., Vafakhah M. 2018. Spatial analysis of drought in three coastal provinces of the Caspian Sea, Iran's specialized scientific quarterly of natural ecosystems. First year (3) pp. 1-10. (in Persian).

Sadeghi S., Alijani B., Saligheh N., Ghahroudi T. 2008. Synoptical analysis of anti cyclones on the continuous drought in Khorasan Province. *Journal of geography and regional development*, (10), pp.105-118.

Sirdas S., Sen Z. 2003. Spatio-temporal drought analysis in the Trakya region.

Soltani S., Saadati SS. 2016. Drought zoning in Isfahan province using Standard Precipitation Index (SPI), *Scientific-Research Journal of Watershed Science and Engineering of Iran*, 1(2),pp 67-64 (in Persian).

Vafakhah M., Rajabi M. 2013. The effectiveness of meteorological drought profiles for monitoring and evaluating droughts in the Bakhtegan, Tashk and Maharlo lakes watershed. the desert. Volume 10, (1) 3, pp. 371-381.(in Persian).

Wilhite D A., Glantz M.H. 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10(3),pp.111-120.

Zengchao H., Singh VP. 2015. Drought characterization from a multivariate perspective. A review, *Journal of Hydrology*, 527(5), pp. 668–678