

Temporal changes in meteorological-hydrological drought (Case study: Guilan Province)

Mohammad Janbozorgi¹, Mahin Hanifeh Pour^{2*}, Hasan Khosravi³ 

¹Ph.D. Student, ARAS Campus, University of Tehran, Tehran, Iran

²Ph.D. Student, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran

³Associate Professor, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

Introduction

Drought is known as one of the environmental phenomena and it is also considered as a direct impact of climatic changes that can occur in any geographical area.

Materials and Methods

In this study, monthly and annual rainfall data of 17 rain gauge stations belonging to the Meteorological Organization from 1972 to 2017 in Guilan Province have been used to investigate the severity, duration, and extent of drought. To evaluate and compare the capabilities of meteorological and hydrological drought, the standardized precipitation index (SPI) and streamflow drought index (SDI) were calculated (Lui et al., 2012) for the whole province in the periods of three, six, nine, 12-month, and annual scale depending on the capability of the index, severity, and duration of drought spells.

Results and Discussion

To investigate the extent of drought, zoning maps were prepared using the inverse distance weighting method. According to statistics and information obtained from a statistical period from 1972 to 2017, the amount of the three-month SPI index is determined as a wet period. The results of drought severity zoning in Guilan Province showed that the SPI values in six, nine, and 12-month time scales were categorized as dry periods. In most of the cities of the study province, the drought was observed with the highest probability and had positive changes in the area of drought extent.

Conclusion

The maps obtained from SPI interpolating in four statistical periods showed that the value of standardized precipitation index has increased in 2017 compared with 1972, and most cities in the studied province are covered by more drought-prone areas. In addition, the main drought in the region is observed in the meteorological stations located in the south and southeast of the region. According to the SDI values, it can be concluded that most of the river gauge stations are without or with moderate drought.

Keywords: Drought Severity Zoning, SDI, SPI, Zoning Map

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: m.hanifehpoor@gmail.com

Citation: Janbozorgi, M., Hanifeh Pour, M., Khosravi, H. (2021). Temporal changes in meteorological-hydrological drought (Case study: Guilan Province). *Water and Soil Management and Modeling*, 1(2), 1-13.

DOI: 10.22098/MMWS.2021.1215

DOR: 20.1001.1.27832546.1400.1.2.1.1

Received: 27 April 2021, Accepted: 06 June 2021

Water and Soil Management and Modeling, Year 2021, Vol. 1, No. 2, pp. 1-13

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





تغییرات زمانی خشک سالی هواشناسی - هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: استان گیلان)

محمد جان بزرگی^۱، مهین حنیفه پور^{۲*}، حسن خسروی^۳

^۱ دانشجوی دکتری، پردیس بین المللی ارس، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲ دانشجوی دکتری، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۳ دانشیار، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

خشک سالی به عنوان یکی از پدیده های محیطی شناخته شده و در واقع بخش جدایی ناپذیری از تغییرات اقلیمی است که می تواند در هر منطقه جغرافیایی حادث شود. در این مطالعه برای بررسی شدت، مدت و وسعت خشک سالی از داده های ماهانه و متوسط بارندگی سالانه ۱۷ ایستگاه متعلق به سازمان هواشناسی کشور از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۶ واقع در استان گیلان استفاده شده است. به منظور بررسی و مقایسه قابلیت شاخص های خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی، شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص خشکی جریان رودخانه ای (SDI) بسته به قابلیت مقدار شاخص، شدت و مدت خشک سالی برای کل استان در مقیاس سالانه و دوره های سه، شش، نه و ۱۲ ماهه محاسبه شد. نقشه های پهنه بندی با روش وزن دهی معکوس فاصله (IDW) تهیه شد. نتایج حاصل از پهنه بندی شدت خشک سالی طی دوره آماری مورد مطالعه در استان گیلان نشان داد که طبق آمار و اطلاعاتی که از یک دوره آماری از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۶ در مقدار SPI سه ماهه به دست آمده، این شاخص رو به ترسالی نموده است، ولی در دوره های شش، نه و ۱۲ ماهه اکثر شهرهای استان گیلان رو به نرمالی بوده و خشک سالی با بیشترین درصد احتمالات در مساحت تغییرات مکانی که به صورت مثبت است مشاهده شد. همچنین نقشه هایی که از درون یابی مقدار SPI در چهار دوره آماری با بهترین برازش درون یابی به دست آمده است نشان می دهد که با نزدیک شدن به سال ۱۳۹۶ مقدار شاخص خشک سالی نسبت به ۱۳۵۱ بیش تر شده و اکثر شهرهای استان را محدوده خشک سالی بیش تری در بر گرفته است. همچنین بر اساس نقشه ها عمده خشک سالی در منطقه در ایستگاه های واقع در جنوب و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاده است. مقدار SDI نیز نشان داد که عمده ایستگاه ها فاقد خشک سالی و یا دارای خشک سالی متوسط هستند.

واژه های کلیدی: شدت خشک سالی، نقشه پهنه بندی، SPI، SDI

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.hanifehpoor@gmail.com

استناد: جان بزرگی، م.، حنیفه پور، م.، خسروی، ح. (۱۴۰۰). تغییرات زمانی خشک سالی هواشناسی - هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: استان گیلان).

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، (۲)، ۱-۱۳.

DOI: 10.22098/MMWS.2021.1215

DOR: 20.1001.1.27832546.1400.1.2.1.1

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۶

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۰، دوره ۱، شماره ۲، صفحه ۱ تا ۱۳

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱ - مقدمه

به‌منظور پایش دوره‌های خشک، مقادیر نقطه‌ای نمایه SPI ماهانه به سطح تعمیم داده شده و نقشه‌های شدت خشک‌سالی در مقیاس زمانی متفاوت تولید شد. (Raziei et al. 2011) با استفاده از SPI و کاربرد دو پایگاه جهانی NCEP/NCAR و GPCCC در تحلیل خشک‌سالی، خشک‌سالی کشور ایران را مورد بررسی قرار دادند. با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، کشور را به چند زیرمنطقه در دوره زمانی ۱۹۵۱-۲۰۰۵ تقسیم کردند.

هم‌چنین، Mozafari et al. (2011) در مطالعه‌ای به ارزیابی روش‌های زمین‌آمار برای تحلیل مکانی SPI و شاخص خشک‌سالی مؤثر پرداخته شد. در این مطالعه از روش‌های زمین‌آمار کریجینگ برای تهیه نقشه شاخص‌های خشک‌سالی در ۲۷ ایستگاه در Spline و IDW عادی، روش اول با توان دو برای تحلیل مکانی استان بوشهر استفاده شد. نتایج نشان داد که SPI بسیار مناسب است و هم‌چنین روش کریجینگ عادی روشی مناسب برای تحلیل مکانی شاخص مؤثر خشک‌سالی است. نتایج مطالعات ارزیابی خشک‌سالی بر اساس SPI و SDI در هشت ایستگاه معیار واقع در حوزه آبخیز سد درودزن و در دوره آماری ۲۵ ساله (۱۳۶۴-۸۹) و در بازه‌های زمانی سه، شش، نه و ۱۲ ماهه و بازسازی داده‌ها با استفاده از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها و رگرسیون‌گیری نشان داد که SDI به‌دلیل لحاظ نمودن عامل جریان‌ات رودخانه‌ای، ابزار مناسبی برای شناسایی خشک‌سالی هیدرولوژیکی محسوب می‌شود، به‌نحوی که به‌طور دقیق‌تر و محسوس‌تر خشک‌سالی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی با مقایسه دو شاخص مشخص شد که در سال‌های ۶۸-۱۳۶۴ دوره کوتاه‌مدت خشک‌سالی وجود داشته که پس از آن خشک‌سالی در وضعیت نرمال قرار گرفت، اما در سال‌های اخیر (۸۸-۱۳۸۷) و (۸۹-۱۳۸۸) وضعیت تغییر نموده و خشک‌سالی در وضعیت شدیدتری به وقوع پیوسته است (Soltani and Mehrabi, 2012).

نتایج (Hao and AghaKouchak 2013) و Quiring et al. (2007) نشان داد که تنها با بررسی و پیش‌بینی خشک‌سالی با استفاده از یک شاخص نمی‌توان الگوی مناسبی از منطقه به‌دست آورد و نیاز به این دارد که از شاخص‌های متعددی استفاده شود. Herweijer et al. (2013) خشک‌سالی آمریکا را بررسی نمودند. آن‌ها دریافتند که یک الگوی جهانی وجود دارد که خشک‌سالی‌های کل کره زمین به‌جز اروپا را تعیین می‌کند و هنگامی که در نواحی غیرگرمسیری خشک‌سالی رواج دارد، نواحی گرمسیری خشک‌سالی ندارند. Tabari et al. (2013) خشک‌سالی هیدرولوژیکی را با استفاده از SDI در شمال‌غرب ایران ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد

خشک‌سالی پدیده‌ای جهانی است که می‌تواند در هر جایی رخ دهد و خسارت‌های قابل توجهی به انسان و بوم‌سازهای طبیعی وارد کند (Soltani and Saadati, 2007). این پدیده آب و هوایی جزء یکی از بزرگ‌ترین پدیده‌های مخرب طبیعی به‌شمار می‌آید که با وسعتی از کمبود بارش، افزایش دما در هر وضعیت اقلیمی با انواع مختلفی ممکن است رخ دهد و از طرف دیگر، نبود تعریف دقیق و قابل قبول جهانی، خشک‌سالی را به یک موضوع پیچیده و مبهمی نزدیک می‌کند و در حالت کلی خشک‌سالی هواشناسی یا آب و هوایی ناشی از کمبود بارندگی است که در صورت تداوم، منجر به خشک‌سالی هیدرولوژیکی و کشاورزی می‌شود.

خشک‌سالی نه تنها در کشور ایران بلکه در سراسر دنیا به‌عنوان یک مشکل اساسی در نظر گرفته می‌شود (Kampragou et al., 2011). در سال‌های اخیر فراوانی و شدت سیل و خشک‌سالی با توجه به تغییرات آب‌وهوایی افزایش یافته است. به‌همین منظور برای پایش و پیش‌بینی خشک‌سالی جهت پیدا کردن اقداماتی متقابل برای مقابله با خشک‌سالی‌های شدید در یک مقیاس طولانی‌مدت بررسی‌هایی روی تغییرات آب‌وهوایی صورت گرفته است که روش‌های متداول برای پایش و پیش‌بینی خشک‌سالی نیاز به داده‌های مشاهداتی بارندگی هواشناسی و خروجی گرفتن از مدل‌های آب‌وهوایی (GCM) و مدل‌های هیدرولوژیکی است. این داده‌های هواشناسی برای شاخص‌های خشک‌سالی شامل شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص خشکی جریان رودخانه‌ای (SDI) برای پیش‌بینی خشک‌سالی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Liu et al., 2012).

خشک‌سالی‌های روزانه در اقلیم‌های مختلف ایران نیز با استفاده از شاخص خشک‌سالی مؤثر بررسی و بیان شد که جدای از ویژگی‌های اقلیمی منطقه، شاخص یاد شده برای شناخت وضعیت خشک‌سالی در مقیاس روزانه مناسب است. هم‌چنین شاخص منابع آب قابل دسترس، اثرات خشک‌سالی را به‌عنوان تابعی از افت روزانه حاصل از تأثیر بارندگی بر منابع آب منطقه به وضوح نشان داد (Nosrati and Younes, 2011). علاوه بر این، Wu et al. (2001) با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه، به ارزیابی تغییرات SPI، CZI و شاخص Z در مقیاس‌های زمانی یک، سه، شش، نه و ۱۲ ماهه برای مناطق خشک و مرطوب کشور چین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این سه شاخص همبستگی مناسبی با هم دارند. در ادامه، Bodagh Jamali et al. (2003) جهت پایش خشک‌سالی استفاده نمودند. آن‌ها روش کریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) را برای درون‌یابی شدت دوره‌های خشک، مناسب تشخیص دادند.

آماری گذشته تا به حال و پیدا کردن مکان‌های مستعد خشک‌سالی که نیاز به پیش‌گیری و کاهش خشک‌سالی در سال‌های آتی دارند، بوده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان گیلان از جنوب‌شرق با استان مازندران، از جنوب با استان قزوین، از غرب با استان‌های زنجان و اردبیل و از شمال با کشور جمهوری آذربایجان دارای مرز مشترک است. استان گیلان با مختصات جغرافیایی $34^{\circ} 36'$ تا $27^{\circ} 38'$ عرض شمالی و بین $48^{\circ} 36'$ تا 50° طول شرقی و با وسعت 13952 کیلومتر مربع، هشت درصد از مساحت کشور ایران را تشکیل می‌دهد. این استان بر اساس آخرین تغییرات در تقسیمات کشوری دارای 16 شهرستان، 43 بخش، 109 دهستان و 49 شهر است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی آن را نشان می‌دهد.

استان گیلان مرطوب‌ترین استان کشور و همچنین مرطوب‌ترین منطقه از سواحل جنوبی دریای خزر است. ارتفاعات البرز مانند یک سد کوهستانی از انتقال رطوبت دریای خزر به سمت فلات داخلی ایران جلوگیری می‌کنند و موجب افزایش رطوبت و بارندگی در این ناحیه می‌شوند. توزیع رطوبت هوا در بخش ساحلی استان که به شدت تحت تاثیر رژیم اقلیمی دریای خزر قرار دارند، با مناطق دور از ساحل و کوهستانی استان متفاوت است. میانگین رطوبت نسبی در استان گیلان حدود 80 درصد است که این مقدار می‌تواند به حداکثر 96 درصد در مهر (اکتبر) و حداقل 55 درصد در تیر (ژوئیه) برسد. رطوبت نسبی در استان گیلان در پاییز و زمستان به حداکثر می‌رسد و در تابستان و بهار کم‌تر می‌شود، هر چند در تابستان به دلیل گرمای زیاد، شرحی بودن هوا بیش‌تر احساس می‌شود (Mehdipour and Abdollahi, 2015).

۲-۲- روش پژوهش

برای بررسی روند تغییرات مکانی خشک‌سالی هواشناسی در مقیاس زمانی مختلف داده‌های بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی از سازمان مدیریت منابع آب ایران دریافت و سپس 17 ایستگاه باران‌سنجی در استان گیلان انتخاب شد. این ایستگاه‌ها به دلیل این‌که پوشش کامل و مناسب اقلیمی را در استان در بر گیرند، در سرتاسر استان قرار دارند و از نظر زمانی یک دوره آماری 46 ساله را شامل می‌شوند. پس از تعیین ایستگاه‌های مد نظر اقدام به تکمیل نمودن آمار مربوطه در این دوره شد. در این زمینه می‌توان به روش‌های مختلفی مانند روش‌های درون‌یابی و برون‌یابی،

که تقریباً تمام ایستگاه‌ها تحت تاثیر خشک‌سالی شدید هستند. همچنین، Azareh et al. (2014) ارتباط بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک را با استفاده از SPI و SDI بررسی کردند. به طوری که این ارتباط در مقیاس سه ماهه حداکثر رابطه معنی‌داری را نشان داد. (Chunping et al. 2015) تغییرات زمانی و مکانی خشک‌سالی را با استفاده از شاخص تبخیر و تعرق استاندارد بارش (SPEI) و SPI در شرایط تغییر اقلیم در منطقه‌ای در چین بررسی کردند. نتایج حاصل از این ارزیابی نشان داد SPEI در شرایط تغییر اقلیم نسبت به SPI قابلیت بهتری در نشان دادن وضعیت خشک‌سالی دارد. بر اساس نتایج شاخص SPEI شدت، مدت و فراوانی خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه به صورت یک ماهه و سه ماهه افزایش یافته است. همچنین از نظر گسترش مکانی، خشک‌سالی از شمال به سمت جنوب منطقه افزایش یافته است. (Pathak and Dodamani 2016) دو شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیک شامل شاخص رواناب استاندارد شده (SRI) و SDI را در مقیاس‌های زمانی مختلف برای ارزیابی خشک‌سالی در حوزه رودخانه کریشنا در یک دوره آماری 36 ساله ($1972-2007$) مقایسه کردند. نتایج این مقایسه نشان داد همبستگی خوبی (67 درصد) بین دو شاخص در مقیاس نه ماهه وجود دارد که با افزایش مقیاس زمانی به 12 ماهه این ارتباط بیش‌تر می‌شود.

مقایسه‌ای برای تعیین دوره‌های خشک‌سالی و طول دوره‌ها بین شاخص‌های SDI و SRI در حوضه آبریز رودخانه گاتا‌پراها در کشور هند انجام شد. این پژوهش نشان داد که دو شاخص در یک دوره 36 ساله شبیه یکدیگرند (Pathak and Dodamani, 2016). در مطالعه‌ای که در یک منطقه خشک و نیمه‌خشک در چین انجام شد، شاخص جریان سطحی استاندارد شده (SSI) و SPI مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که روند خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک تابع فصل است که این تأخیر زمانی در فصل تابستان و بهار کوتاه و در فصل پاییز و زمستان طولانی است (Huang et al., 2017). همچنین، Moghimi et al. (2020) توانایی مدل‌های مختلف سری زمانی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی خشک‌سالی فصلی بر اساس شاخص خشک‌سالی شناسایی (RDI) در جنوب ایران را مورد ارزیابی قرار دادند. برای این منظور، از داده‌های اقلیمی 16 ایستگاه سینوپتیک از سال 1980 تا 2010 استفاده شد. (Zarei et al. 2021) رابطه بین درصد افت عملکرد سالانه گندم زمستانه و سه شاخص SPEI، RDI و SPI و دقت آن‌ها را در مقیاس‌های زمانی یک، سه، شش، نه و 12 ماهه ارزیابی نمودند.

بر اساس مرور منابع و ضرورت انجام مطالعات گسترده‌تر، هدف از این پژوهش بررسی روند خشک‌سالی در مقیاس ماهانه و بررسی وسعت احتمالاتی افزایش خشک‌سالی نسبت به دوره

شود. SPI کوتاه‌مدت شرایط رطوبت کوتاه‌مدت را منعکس و برآورد فصلی از بارندگی را مشخص می‌نماید و در این مدل تغییرات بیش‌تری وجود دارد و نشان‌گر آن است که SPI کوتاه‌مدت، حساسیت بیش‌تری به تغییرات شرایط رطوبت دارد. جهت استفاده از SPI یک طبقه‌بندی وجود دارد (جدول ۱) که ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها را مشخص می‌کند. خشک‌سالی وقتی رخ می‌دهد که SPI آن از -۱ کم‌تر و ترسالی وقتی است که SPI از +۱ بیش‌تر شود. در این روش مقادیر SPI با استفاده از رابطه ۱ استخراج و با توجه به جدول ۱ شدت‌های مختلف خشک‌سالی و ترسالی را به‌دست می‌آورند:

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (1)$$

$$SPI = - \left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right], \quad 0 < H(x) \leq 0.5$$

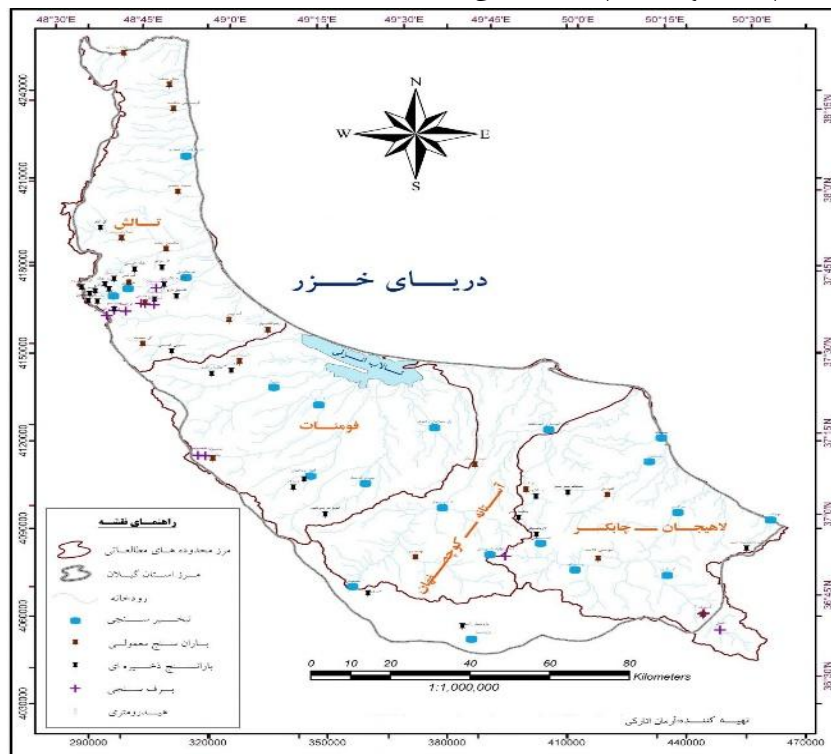
$$SPI = - \left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right], \quad 0.5 < H(x) \leq 1$$

که در این رابطه، P_i میانگین بارندگی سالانه، \bar{P} میانگین بارندگی در کل سال و مقدار SD انحراف معیار در کل سال است. برای محاسبه شاخص SPI می‌توان بارندگی ماهانه و یا مجموع بارندگی در هر محدوده زمان دلخواه را با استفاده از یک توزیع مناسب گاما و یا پیرسون تیپ سه برازش داد (Boradi et al., 2004).

روش‌های تفاضل‌ها و نسبت‌ها، روش‌های میانگین‌گیری و روش‌های نموداری اشاره نمود. روش‌های آماری دقیق‌تری نیز وجود دارد که با استفاده از معادلات آماری و ریاضیاتی به تخمین بهتری از داده‌ها می‌رسند، روش استفاده شده در این پژوهش، شامل روش EM الگوریتم یا روش همبستگی پیرسون بوده، که با کمک نزدیک‌ترین داده‌ها به ایستگاه مبنا در نرم‌افزار SPSS مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲-۱- شاخص استاندارد شده بارش (SPI)

این شاخص برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگی‌های طولانی‌مدت آن محاسبه می‌شود. یکی از بهترین کاربردهای شاخص خشک‌سالی، تهیه گزارش شدت و وسعت خشک‌سالی است. شاخص خشک‌سالی وسیله‌ای است که با خلاصه نمودن اطلاعات خشک‌سالی به صورت دوره‌ای، اطلاعات شرایط رطوبتی در منطقه را نشان می‌دهد. مقیاس زمانی دوره‌تداوم خشک‌سالی می‌تواند از روز و ماه تا سال تفاوت کند. هر اندازه دوره‌تداوم خشک‌سالی طولانی‌تر شود، میزان ذخایر آب منطقه تحت خطر جدی قرار گرفته، به همین جهت می‌تواند شدت خشک‌سالی رخ داده را افزایش دهد. در پژوهش حاضر به منظور تعیین خشک‌سالی استان گیلان شاخص بارش استاندارد (SPI) مورد تحلیل قرار گرفت. این شاخص به دو صورت کوتاه‌مدت (سه، شش و نه ماهه) و بلندمدت (۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) محاسبه می‌-



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های استان گیلان

Figure 1- Location of Guilan Province stations

۳- نتایج و بحث

با توجه به روش های محاسباتی شاخص ها در نرم افزار SPI, DPI در چهار دوره ۱۰ ساله برآورده شده و همچنین مقدار مساحت تغییر یافته آن نسبت به این دوره آماری با توجه به محدوده خشک سالی که در برگرفته شده است به صورت احتمالاتی برآورد و سپس به صورت نقشه پهنه بندی شد. همچنین در شکل ۲ تغییرات SPI و SDI به نمایش گذاشته شده است.

نقشه های به دست آمده از طریق نرم افزار Arc GIS که با توجه به داده های SPI در چهار دوره آماری با روش های مختلف درون یابی برازش شده و بهترین مدل از درون یابی به صورت زیر نمایش گذاشته شده است (شکل ۳). مناطقی که با رنگ قرمز مشاهده می شود بیش تر میزان ترسالی را به نمایش می گذارد و مناطق با رنگ آبی بیش ترین خشک سالی را نشان می دهد. همچنین مقادیر SDI در جدول ۳ برای تمام ایستگاه ها به صورت کیفی به نمایش گذاشته شده است.

مقدار SPI در بازه های زمانی مورد مطالعه و میزان تغییرات مساحت هر یک از ایستگاه ها با توجه به دوره آماری ۴۶ ساله در جدول های ۴ تا ۷ به نمایش گذاشته شده است. میزان خشک سالی و ترسالی این ایستگاه ها در دوره آماری ماهانه نشان می دهد که اکثر ایستگاه ها مقدار کیفی نزدیک به نرمال دارند، فقط ایستگاه منجیل و بارش محله به ترتیب در مقیاس زمانی نه و شش ماهه در سال ۱۳۹۶ و ۱۳۶۳ یک دوره خشک سالی را سپری نموده است. بر اساس داده های بارش و دبی موجود در ایستگاه های منطقه مورد مطالعه، وقوع خشک سالی هواشناسی بیش ترین تأثیر را در وقوع خشک سالی هیدرولوژیک دارد که با نتایج Azareh et al. (2014) برای حوضه سد کرج، Eskandari et al. (2015) برای استان تهران و Tabuzadeh et al. (2013) در حوضه آبریز دریاچه بختگان مطابقت دارد.

جدول ۱- طبقه بندی شاخص بارش استاندارد شده (Jain et al., 2015)
Table 1- Classification of Standardized Precipitation Index (SPI) (Jain et al., 2015)

طبقه	ارزش SPI
ترسالی بسیار شدید	>2
ترسالی شدید	(1.5) - (1.99)
ترسالی متوسط	(1) - (1.49)
ترسالی ملایم	(0) - (0.99)
خشک سالی ملایم	(-0.99) - (0)
خشک سالی متوسط	(-1) - (-1.49)
خشک سالی شدید	(-1.5) - (-1.99)
خشک سالی بسیار شدید	<-2

۲-۲-۲- شاخص خشکی جریان رودخانه (SDI)

این شاخص مشابه SPI محاسبه می شود، در این روش فرض بر این است که مقدار i حجم رودخانه است و زمان مربوط به سال هیدرولوژیکی است و از رابطه ۲ مقدار آن محاسبه و با توجه به جدول ۲ مقدار کیفی آن برآورد می شود:

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad (2)$$

$i = 1, 2, \dots \quad j = 1, 2, \dots, 12 \quad K = 1, 2, 3, 4$

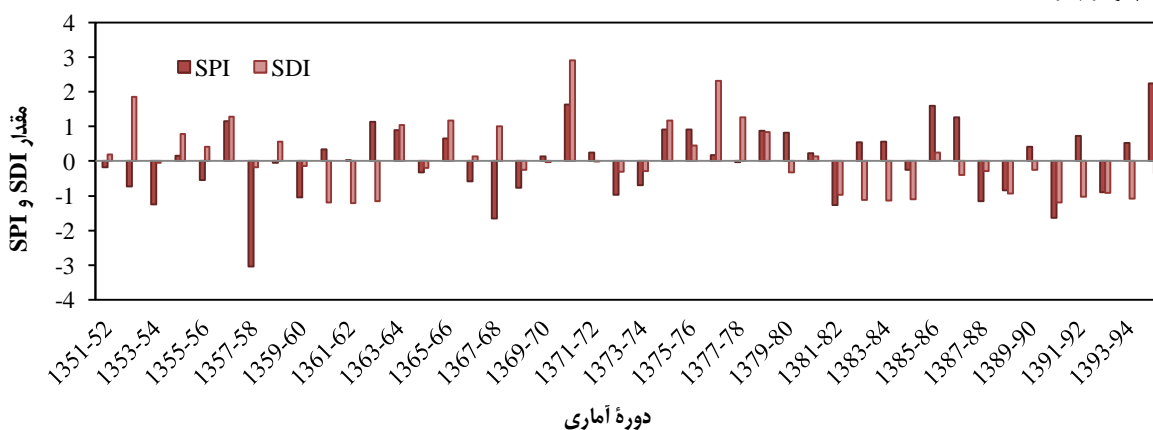
جدول ۲- ترسالی و خشک سالی با توجه به مقدار SDI (Nalbantis and Tsakiris, 2009)

Table 2- Wet and dry status according to the SDI value (Nalbantis and Tsakiris, 2009)

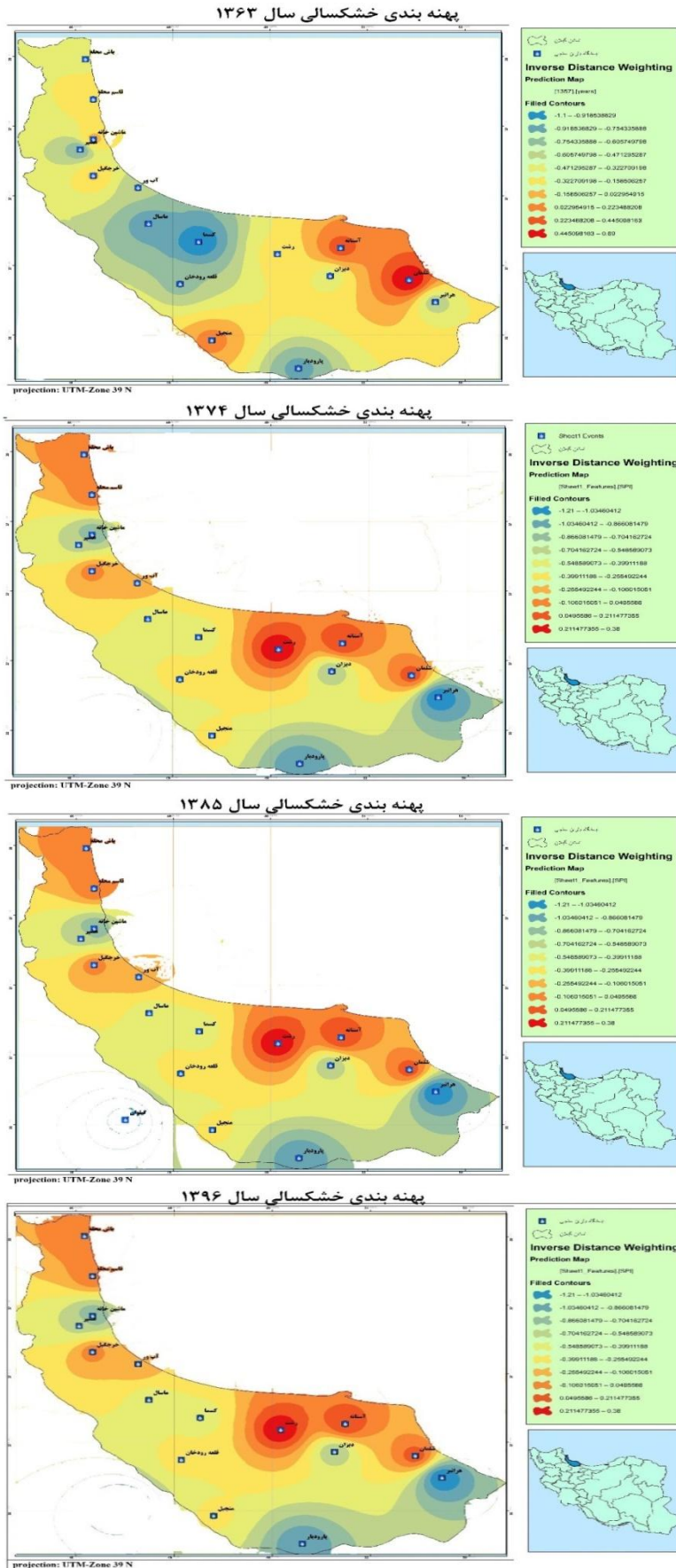
محدوده	وضعیت خشک سالی	حالت
SDI ≤ 0	فاقد خشک سالی	0
-1 < SDI ≤ 1	خشک سالی ملایم	1
-1.5 < SDI ≤ -1	خشک سالی متوسط	2
-2 < SDI ≤ -1.5	خشک سالی شدید	3
SDI < -2	خشک سالی خیلی شدید	4

۳-۲-۲- پهنه بندی خشک سالی

برای ارائه نتایج حاصل از خشک سالی به دست آمده از نتایج SPI به صورت نقشه از روش درون یابی وزن دهی معکوس فاصله (IDW) و نرم افزار ArcMap 10.3 استفاده شد.



شکل ۲- تغییرات مقادیر SPI و SDI در دوره آماری ۱۳۹۶-۱۳۵۱
Figure 2- Changes in SPI and SDI values in the statistical period of 1972-2017

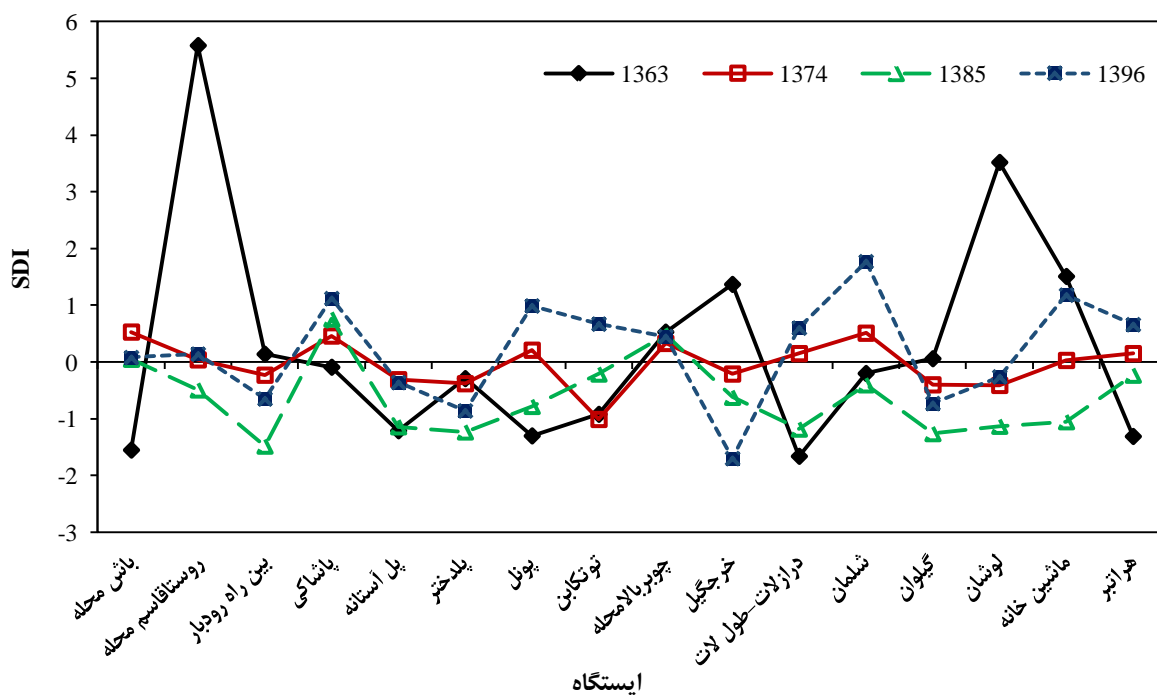


شکل ۳- پهنه‌بندی SPI در چهار دوره ۱۰ ساله در طول دوره آماری ۱۳۵۱-۱۳۹۶
 Figure 3- SPI zoning in four 10-year periods during the statistical period of 1972-2017

جدول ۳- ارزش کیفی SDI طی دوره آماری ۱۳۹۶-۱۳۶۳

Table 3- Qualitative value of SDI during the statistical period of 1984-2017

ایستگاه	1363	محدوده	1374	محدوده	1385	محدوده	1396	محدوده
باش محله	-1.55	خشک سالی شدید	0.53	فاقد خشک سالی	0.05	فاقد خشک سالی	0.08	فاقد خشک سالی
روستاقاسم محله	5.58	فاقد خشک سالی	0.04	فاقد خشک سالی	-0.49	خشک سالی ملایم	0.14	فاقد خشک سالی
بین راه رودبار	0.14	فاقد خشک سالی	-0.23	خشک سالی ملایم	-1.48	خشک سالی متوسط	-0.65	خشک سالی ملایم
پاشاکی	-0.09	خشک سالی ملایم	0.46	فاقد خشک سالی	0.76	فاقد خشک سالی	1.12	فاقد خشک سالی
پل آستانه	-1.21	خشک سالی متوسط	-0.31	خشک سالی ملایم	-1.14	خشک سالی متوسط	-0.36	خشک سالی ملایم
پلدختر	-0.29	خشک سالی ملایم	-0.38	خشک سالی ملایم	-1.23	خشک سالی متوسط	-0.86	خشک سالی ملایم
پونل	-1.30	خشک سالی متوسط	0.21	فاقد خشک سالی	-0.78	خشک سالی ملایم	0.99	فاقد خشک سالی
توتکابن	-0.92	خشک سالی ملایم	-1.01	خشک سالی متوسط	-0.21	خشک سالی ملایم	0.67	فاقد خشک سالی
چوبریالامحله	0.53	فاقد خشک سالی	0.33	فاقد خشک سالی	0.48	فاقد خشک سالی	0.45	فاقد خشک سالی
خرجگیل	1.37	فاقد خشک سالی	-0.21	خشک سالی ملایم	-0.62	خشک سالی ملایم	-1.70	خشک سالی متوسط
درازلات-طول لات	-1.66	خشک سالی متوسط	0.15	فاقد خشک سالی	-1.18	خشک سالی متوسط	0.60	فاقد خشک سالی
شلمان	-0.20	خشک سالی ملایم	0.51	فاقد خشک سالی	-0.4	خشک سالی ملایم	1.77	فاقد خشک سالی
گیلوان	0.06	فاقد خشک سالی	-0.40	خشک سالی ملایم	-1.26	خشک سالی متوسط	-0.73	خشک سالی ملایم
لوشان	3.52	فاقد خشک سالی	-0.41	خشک سالی ملایم	-1.13	خشک سالی متوسط	-0.26	خشک سالی ملایم
ماشین خانه	1.51	فاقد خشک سالی	0.03	فاقد خشک سالی	-1.05	خشک سالی متوسط	1.18	فاقد خشک سالی
هراتبر	-1.31	خشک سالی متوسط	0.15	فاقد خشک سالی	-0.23	خشک سالی ملایم	0.66	فاقد خشک سالی



شکل ۴- ارزش کیفی SDI طی دوره آماری ۱۳۹۶-۱۳۶۳

Figure 4- Qualitative value of SDI during the statistical period of 1984-2017

جدول ۴- مقدار SPI سه ماهه با تغییرات احتمالاتی مساحت هر ایستگاه طی دوره آماری ۱۳۶۳-۱۳۹۶

Table 4- Value of the three-month SPI with probabilistic changes in each station area during the statistical period of 1984-2017

ایستگاه	احتمال تغییرات مساحت (درصد)					SPI سه ماهه
	1396	1385	1374	1363	1363-1396	
استانه	ترسالی	نزدیک نرمال	نزدیک نرمال	نزدیک نرمال	نزدیک نرمال	-10.38
باش محله	1.14	0.44	-0.29	-0.24	0.57	-83.33
پارودبار		0.75	-0.54	0.16	-0.36	-25.75
خرجگیل		0.98	0.2	-0.28	0.03	+40
دیزان		0.45	-0.68	-0.04	0.89	-25
رشت	1.22		-0.23	-0.27	0.45	-46.66
شلمان	1.28		-0.58	-0.009	0.56	-10
قاسم محله		0.98	0.45	0.12	-0.77	-16.66
قلعه رودخان		0.88	-0.52	0.16	0.41	+90
کسما	1.07		-0.23	-0.28	0.54	+20
گیلوان		0.61	-0.31	0.13	0.55	-50
ماشین خانه		0.69	-0.51	-0.16	0.42	-10
منجیل		0.68	-0.66	0.34	0.5	+22.72
هراتیر	1.30		-0.109	0.08	-0.13	+70
هشتپر	1.18		-0.05	0.089	-0.17	-10

جدول ۵- مقدار SPI شش ماهه با تغییرات احتمالاتی مساحت هر ایستگاه طی دوره آماری ۱۳۶۳-۱۳۹۶

Table 5- Value of the six-month SPI with probabilistic changes in each station area during the statistical period of 1984-2017

ایستگاه	احتمال تغییرات مساحت (درصد)					
	1396	1385	1374	1363	1363-1396	SPI شش ماهه
استانه	ترسالی متوسط	نزدیک نرمال	نزدیک نرمال	ترسالی متوسط	نزدیک نرمال	احتمال تغییرات مساحت (درصد)
باش محله	1.12	0.006	-0.109	-0.34	0.66	-15.71
پارودبار		0.42	-0.2	0.02	-1.04	+7.14
خرجگیل	1.35		0.11	-0.47	0.33	+69
دیزان		-0.06	-0.54	0.06	1.19	-30
رشت	1.35		-0.13	-0.21	0.37	0
شلمان	1.39		-0.19	-0.17	0.38	+63.33
قاسم محله		0.71	0.89	-0.35	-0.92	+30
قلعه رودخان		0.12	0.004	-0.003	0.35	+16
کسما		0.84	-0.2	-0.4	1	+20
گیلوان		0.32	-0.04	0.15	0.025	-20
ماشین خانه		0.79	0.1	-0.049	0.65	-30
منجیل		-0.41	-0.59	0.61	0.59	+35
هراتیر	1.23		-0.49	0.56	-0.4	+25
هشتپر	1.14		0.22	-0.26	-0.11	+4

جدول ۶- مقدار SPI نه ماهه با تغییرات احتمالاتی مساحت هر ایستگاه طی دوره آماری ۱۳۹۶-۱۳۶۳

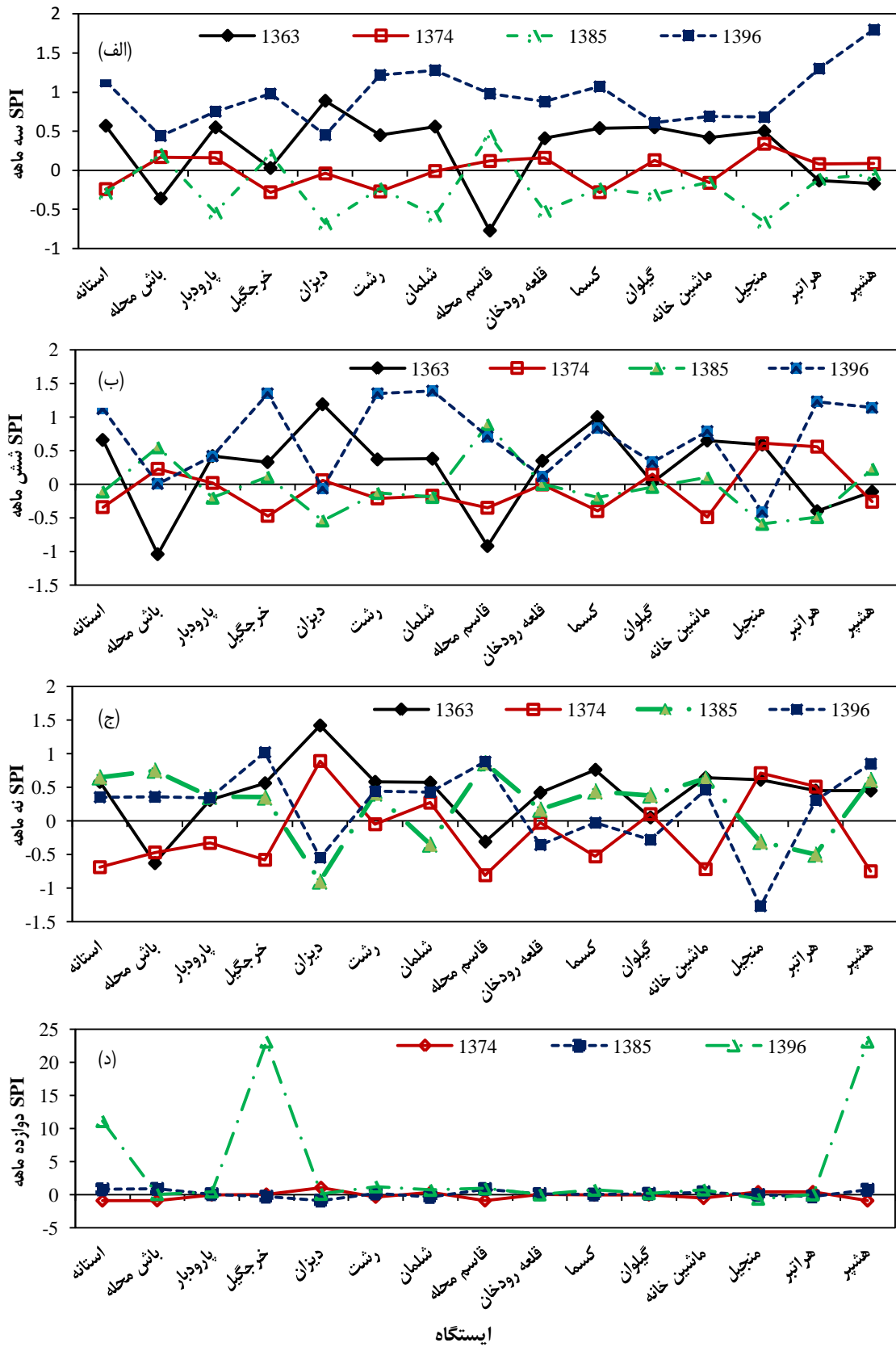
Table 6- Value of the nine-month SPI with probabilistic changes in each station area during the statistical period of 1984-2017

1396		1385		1374		1363		1363-1396		SPI نه ماهه
ترسالی متوسط	نزدیک نرمال	نزدیک نرمال	نزدیک نرمال	ترسالی متوسط	نزدیک نرمال	ترسالی متوسط	نزدیک نرمال	احتمال تغییرات مساحت (درصد)	ایستگاه	
	0.35	0.65	-0.69		0.58			-20	استانه	
	0.36	0.75	-0.47		-0.63			-12.5	باش محله	
	0.34	0.36	-0.33		0.31			+1	پارودبار	
1.02		0.35	-0.58		0.56			+10	خرجگیل	
	-0.55	-0.9	0.89	1.42				-40	دیزان	
	0.44	0.41	-0.051		0.58			+3	رشت	
	0.43	-0.35	0.27		0.57			+10	شلمان	
	0.88	0.86	-0.81		-0.31			+21	قاسم محله	
	-0.36	0.17	-0.03		0.42			-7	قلعه رودخان	
	0.026	0.44	-0.53		0.76			+10	کسما	
	-0.28	0.38	0.1		0.05			-10	گیلوان	
	0.46	0.63	-0.72		0.64			-3	ماشین خانه	
-1.27		-0.31	0.71		0.61			+20	منجیل	
	0.3	-0.5	0.51		0.45			-5	هراتبر	
	0.85	0.61	-0.75		0.45			-15	هشتپر	

جدول ۷- مقدار SPI دوازده ماهه با تغییرات احتمالاتی مساحت هر ایستگاه طی دوره آماری ۱۳۹۶-۱۳۶۳

Table 7- Value of the 12-month SPI with probabilistic changes in each station area during the statistical period of 1984-2017

1396		1385		1374		1374-1396		SPI دوازده ماهه		
ترسالی متوسط	نزدیک نرمال	نزدیک نرمال	نزدیک نرمال	ترسالی متوسط	نزدیک نرمال	ترسالی متوسط	نزدیک نرمال	احتمال تغییرات مساحت (درصد)	ایستگاه	
11.1			0.81		-0.9			+2	استانه	
	0.08		0.88		-0.88			-10	باش محله	
	0.47		0.08		0.01			-5	پارودبار	
23.1			-0.29		0.05			-3	خرجگیل	
	0.11		-0.88		1.06			+31.75	دیزان	
	1.24		0.2		-0.33			-8	رشت	
	0.72		-0.32		0.33			+3	شلمان	
	0.95		0.86		-0.89			+5	قاسم محله	
	0.03		0.1		0.061			-21.34	قلعه رودخان	
	0.74		0.03		-0.02			-15	کسما	
	0.21		0.14		0.011			+7	گیلوان	
	0.78		0.37		-0.52			+15	ماشین خانه	
	-0.62		-0.04		0.42			+8	منجیل	
	0.03		-0.25		0.43			+3	هراتبر	
23.1			0.75		-0.9			+1	هشتپر	



شکل ۵- مقدار شاخص SPI سه ماهه (الف)، SPI شش ماهه (ب)، SPI نه ماهه (ج) و SPI دوازده ماهه (د) با تغییرات احتمالاتی مساحت هر ایستگاه طی دوره آماری ۱۳۶۳-۱۳۹۶

Figure 5- Value of the 12-month SPI with probabilistic changes in each station area during the statistical period of 1995-2017

۴- نتیجه‌گیری

هم‌چنین مقدار SDI نشان می‌دهد که بیش‌تر ایستگاه‌ها از ترسالی به فاقد خشک‌سالی (نرمال) و خشک‌سالی ملایم و کاهش مقدار بارندگی و دبی آب پایه کم‌تر شده است که این عوامل ممکن است از قطع درختان، برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی، برداشت بیش‌تر از آب رودخانه‌ها، افزایش گرمایش جهانی و کاهش بارندگی باشد. تأثیر هم‌زمان وقوع خشک‌سالی هواشناسی بر خشک‌سالی هیدرولوژیکی منطقه بیان‌گر عکس‌العمل هیدرولوژیکی سریع منطقه و زیرحوضه‌های آن است که این شرایط شاید به دلیل وجود شرایط توپوگرافی و فیزیوگرافی منطقه باشد. خشک‌سالی که یکی از بلاهای طبیعی است، طی سال‌های اخیر موجب بر هم خوردن تعادل اقلیمی و بروز پیامدهای اقتصادی و اجتماعی در کشور شده است. بنابراین، نیاز بر این دارد که برای این استان در سال‌های آینده جهت کاهش خشک‌سالی برنامه‌ریزی‌هایی انجام شود تا از خشک‌سالی‌های غیر متعارف و ناگهانی جهت کاهش خسارات جلوگیری شود.

در این مطالعه بررسی عملکرد شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در ارزیابی خشک‌سالی و پهنه‌بندی آن در استان گیلان انجام شد. طبق آمار و اطلاعاتی که از یک دوره آماری از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۶ در مقدار SPI سه ماهه به‌دست آمده، این شاخص رو به ترسالی نموده است ولی در دوره‌های ۶ مه و ۱۲ ماه اکثر شهرهای استان گیلان رو به نرمالی بوده و خشک‌سالی با بیش‌ترین درصد احتمالات در مساحت تغییراتی مکانی‌ها مشاهده می‌شود، هم‌چنین نقشه‌هایی که از درون‌یابی مقدار SPI در چهار دوره آماری با بهترین برازش درون‌یابی به‌دست آمده، نشان می‌دهد که هر چه مقدار این دوره به سال ۱۳۹۶ پیش می‌رود نسبت به سال‌های ۱۳۵۱ مقدار شاخص خشک‌سالی بیش‌تر شده و بیش‌تر شهرهای استان را محدوده خشک‌سالی بیش‌تری در برگرفته است.

منابع

سلطانی، س.، و محرابی، م. (۱۳۹۱). ارزیابی خشک‌سالی با استفاده از شاخص جریان‌ات رودخانه‌ای (SDI) و شاخص بارش استاندارد (SPI) (مطالعه موردی حوزه سد درودزن در استان فارس). اولین همایش ملی بیابان (علوم، فنون و توسعه پایدار)، تهران.

مهدی‌پور، م.، و عبدالهی، ع. (۱۳۹۴). بررسی شاخص گرما و رطوبت استان گیلان. دومین همایش ملی گردشگری، سرمایه‌های ملی و چشم‌انداز آینده، اصفهان.

نصرتی، ک.، و کاظمی، ی. (۱۳۹۰). پایش روزانه خشک‌سالی و منابع آب در اقلیم‌های مختلف ایران. مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، ۶۴ (۱)، ۷۹-۹۴.

اسکندری دامنه، ح.، و زهتابیان، غ.، و خسروی، ح.، و آذر، ع. (۱۳۹۴). بررسی و تحلیل ارتباط زمانی و مکانی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در استان تهران. اطلاعات جغرافیایی، ۲۴ (۹۶)، ۱۱۳-۱۲۰.

بداق جمالی، ج.، و جوانمرد، س.، و شیرمحمدی، ر. (۱۳۸۱). پایش و پهنه‌بندی وضعیت خشک‌سالی استان خراسان با استفاده از نمایه استاندارد شده بارش. تحقیقات جغرافیایی، ۱۷ (۴) (پیاپی ۶۷)، ۴-۲۱.

تبوزاده، ش.، زارعی، ح.، و بذرافشان، ا. (۱۳۹۴). تحلیل شدت، مدت، فراوانی و گستره خشک‌سالی هواشناسی در حوضه آبریز بختگان. علوم و مهندسی آبیاری. ۳۸ (۴)، ۱۰۹-۱۲۳.

سلطانی، س.، و سعادت، س. (۱۳۸۶). پهنه‌بندی خشک‌سالی در استان اصفهان با استفاده از نمایه استاندارد بارش (SPI). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۲ (۱)، ۶۴-۶۷.

References

Azareh, A., Rahdari, M.R., Rafiei, E., & Azariya, F. (2014). Investigate the relationship between hydrological and meteorological droughts in Karaj dam Basin. *European Journal of Experimental Biology*, 4(3), 102- 107.

Bodagh Jamali, J., Javanmard, S., & Shirmohammady, R. (2003). Monitoring and zoning of drought condition in Khorasan Province using

standardized precipitation index. *Geographical Research*, 17(4), 11389-11406 (In Persian).

Bordi, I., & Sutera, A. (2004). Drought variability and its climatic implications. *Global and Planetary Change*, 40(1-2), 115-127

Celine, H., Richard, S., Edward, R.C., & Julien, E.G. (2013). North American droughts of the last millennium from a gridded network of tree-ring data. *Journal of Climate*, 20(7), 10.1175/JCLI4042.1.

- Chunping, T. Jianping, Y., & Man, L. (2015). Temporal-spatial variation of drought indicated by SPI and SPEI in Ningxia Hui Autonomous Region, China. *Journal of Atmosphere*, 6, 1399-1421.
- Eskandari Damaneh, H., Zehtabian, Gh., Khosravi, H., & Azareh, A. (2015). Study and analysis of temporal and spatial relationship between meteorological and hydrological drought in Tehran Province. *Quarterly Journal of Geographical Information*, 24(96), 113-120 (In Persian).
- Gholam Ali, M., Younes, KH., Esmail, A., & Fatemeh, T. (2011). Assessment of geostatistical methods for spatial analysis of SPI and EDI drought indices. *World Applied Sciences Journal*, 15(4), 474-482
- Hao, Z., & AghaKouchak, A. (2013). Multivariate standardized drought index: A multi-index parametric approach for drought analysis. *Advances in Water Resources*, 57, 12-18.
- Huang, Sh., Li, P., Huang, Q., Leng, G., Hou, B., & Ma, L. (2017). The propagation from meteorological to hydrological drought and its potential influence factors. *Journal of Hydrology*, 547, 184-95.
- Jain, V.K., Pandey, R.P., Jain, M.K. & Byun, H.R. (2015). Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River Basin. *Weather and Climate Extremes*, 8, 1-11.
- Kampragou, E., Apostolaki, S., Manoli, E. Froebrich, J., & Assimacopoulos, D. (2011). Towards the harmonization of water-related policies for managing drought risks across the EU. *Environmental Science and Policy*, 14(7), 815-824.
- Liu, L., Hong, Y., Bednarczyk, C.N., Yong, B., Shafer, M.A., Riley, R., & Hocker, J.E. (2012). Hydro-climatological drought analyses and projections using meteorological and hydrological drought indices: a case study in Blue River Basin, Oklahoma. *Water Resources Management*, 26(10), 2761-2779.
- Mehdipour, M., & Abdollahi, A. (2015). Survey of heat and humidity index of Guilan Province. The Second National Assets and Future Prospects. 14 May 2015, Isfahan, 6 p (in Persian).
- Moghimi, M.M., Zarei, A.R., & Mahmoudi, M.R. (2020). Seasonal drought forecasting in arid regions, using different time series models and RDI. *Journal of Water and Climate Change*, 11(3), 633-654.
- Nalbantis, I., & Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23, 881-897
- Nosrati, K., & Younes, K. (2011). Daily monitoring of drought and water resources in different climates of Iran. *Journal of Rangeland and Watershed Management (Iranian Journal of Natural Resources)*, 64(1), 79-94 (in Persian).
- Pathak, A.A., & Dodamani, B.M. (2016). Comparison of two hydrological drought indices. *Perspectives in Science*, 8, 626- 628.
- Quiring, S., Nielsen-Gammon, J., Srinivasan, R., Miller, T., & Narasimhan, B. (2007). Drought monitoring index for Texas. Tech. Rep. to Texas Water Development Board, Austin, TX, 262 pages.
- Raziei, T., Bordi, I., & Pereira, L.S. (2011). An application of GPCC and NCEP/NCAR datasets for drought variability analysis in Iran. *Water Resources Management*, 25, 1075-1086.
- Soltani, S., & Saadati, S. (2007). Drought zoning in Isfahan province using standard precipitation index (SPI). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 1(2), 64-67 (In Persian).
- Soltani, S., & Mehrabi, M. (2012). Drought assessment paper using river flow index (SDI) and standard precipitation index (SPI) (Case Study of Dorodzan Dam Basin in Fars Province), The First National Desert Conference, Tehran, 2012-06-16 (in Persian).
- Tabari, H., Nikbakht, J., & Talaei, P.H. (2013). Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI). *Journal of Water Resources Management*, 27, 137-151.
- Tabuzadeh, Sh., Zarei, A.A., & Bazrafshan, O. (2013). Analysis of severity, duration, frequency and zoning map of meteorological drought of Bakhtegan River Basin. *Quarterly Irrigation Sciences and Engineering (JISE) (Scientific Journal of Agriculture)*, 38(4), 109-123 (In Persian).
- Wu, H., Hayes, M.J., Weiss, A., & Hu, Q. (2001). An evaluation of the standardized precipitation index, the china-z index and the statistical z-score. *International Journal of Climatology*, 21, 745-758.
- Zarei, A.R., Shabani, A., & Moghimi, M.M. (2021). Accuracy assessment of the SPEI, RDI and SPI drought indices in regions of Iran with different climate conditions. *Pure and Applied Geophysics*, 178, 1387-140.