


Effect of climatic drought on surface soil salinity in Kashan Plain

Mahdieh Afsharina¹, Fatemeh Panahi^{2*} 

¹Ph.D. Student, Department of Desert Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan

²Assistant Professor, Department of Desert Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan

Abstract

Introduction

Stability of soil structure is one of the most important indicators of land degradation sensitivity and soil quality. Also, soil salinization is among of the main causes of land degradation in arid and semi-arid regions and the critical factor limiting agricultural production (Arasto and Akhiani, 2018). Soil salinity affects plant growth and in this case, the importance of soil is determined due to increasing population growth and the emergence of new needs for more food (Karam et al., 2018). Drought as a natural disaster and inevitable phenomenon has been seen in a wide range of countries, especially countries located in arid and dry regions of the world (Saeidipour et al., 2018).

Materials and Methods

In order to investigate the role of drought in intensifying soil salinity in Kashan Plain, drought periods were studied by standardized precipitation index (SPI) in six time periods in the statistical period 2000 to 2017. The results indicated that the years 2000, 2008, 2015, and 2016 were the reference years with the maximum intensity of drought. Salinity changes in reference years were analyzed using the salinity index (SI) obtained from satellite images, ETM⁺ sensors through ENVI software (version 7.4). Then, the ground reality map of soil salinity was obtained by field sampling, laboratory studies, and interpolation in ArcGIS software (version 10.4.1). According to the root-mean-square error (RMSE) criterion, the inverse distance weighting (IDW) method was selected as the most suitable interpolation method in spatial mapping of drought intensity.

Results and Discussion

The results of the correlation analysis showed that there is a significant relationship between the actual and intermediate salinity values at the level of 1% with a correlation coefficient of 0.968. This suggests that the obtained model is a good estimator for soil salinity prediction. The results also showed a significant correlation at the 1% level between drought and EC using the Spearman method. The results showed that increasing drought will increase the salinity amount, although this relationship was found inverse for 2016.

Conclusion

The characteristic arid zone has a variable climate; so that these climatic fluctuations have made it prone to high sensitivity. Over the past few years, reduced rainfall and increased temperature in the Kashan Region have been the main causes of soil salinity. Along with the occurrence of meteorological drought, over exploitation of groundwater and the entry of solutes through precipitation are intensified the soil salinity over the study area.

Keywords: Arid Areas, Dry and Wet Periods, Remote Sensing, Saline Soils, Water and Soil Management

Article Type: Research Article

Citation: Afsharinia, M., & Panahi, F. (2021). Effect of climatic drought on surface soil salinity in Kashan Plain. *Water and Soil Management and Modeling*, 1(2), 40-52.

*Corresponding Author, E-mail: fpanahi@kashanu.ac.ir

Water and Soil Management and Modeling, 2021, Vol. 1, No. 2, 40-52

DOI: [10.22098/mmws.2021.8982.1018](https://doi.org/10.22098/mmws.2021.8982.1018)

Received: 29 May 2021; Accepted: 14 July 2021

© Authors





تأثیر خشک‌سالی اقلیمی بر شوری خاک سطحی در دشت کاشان

مهديه افشاری‌نیا^۱، فاطمه پناهی^{۲*}

^۱ دانشجوی دکتری، گروه علوم مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان
^۲ استادیار، گروه علوم مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان

چکیده

شور شدن خاک از جمله عوامل اصلی تخریب خاک به‌شمار می‌رود. طبیعتاً کاهش بارندگی و افزایش تنش ناشی از خشک‌سالی، افزایش شوری خاک را در پی خواهد داشت. به‌منظور بررسی نقش خشک‌سالی در تشدید شوری خاک در دشت کاشان، دوره‌های خشک‌سالی توسط شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، در شش بازه زمانی در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ بررسی شد. نتایج بررسی این شاخص حاکی از این بود که سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ به‌عنوان سال مرجع با حداکثر شدت خشک‌سالی بوده است. تغییرات شوری در سال‌های مرجع با استفاده از شاخص شوری خاک (SI) حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، سنجنده ETM⁺ از طریق نرم‌افزار ENVI (نسخه ۴.۷) بررسی شد. در پژوهش حاضر، نقشه واقعیت زمینی با روش نمونه‌برداری میدانی، مطالعات آزمایشگاهی و میان‌یابی در نرم‌افزار ArcGIS (نسخه ۱۰.۴.۱) به‌دست آمد. مناسب‌ترین روش میان‌یابی برای سال‌های با شدت خشک‌سالی بیش‌تر طبق میانگین کم‌ترین مربعات خطا (RMSE) ارائه و روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) انتخاب شد. نتایج نشان داد که میان مقادیر شوری واقعی و میان‌یابی شده ارتباط معناداری در سطح یک درصد با ضریب همبستگی ۰/۹۶ برقرار است. این موضوع بیان می‌کند مدل حاصل شده تخمین‌گر مناسبی جهت برآورد شوری خاک است. همچنین نتایج نشان‌دهنده وجود همبستگی معنادار در سطح یک درصد بین خشک‌سالی و شوری خاک (EC) با استفاده از روش اسپیرمن بود. نتایج نشان‌گر این امر بود که افزایش خشک‌سالی، افزایش شوری را در پی خواهد داشت، اگرچه این یک اصل نیست و در سال آماری ۲۰۱۶ این همبستگی معکوس به‌دست آمد و شاید به این علت است که اثر خشک‌سالی بر منابع آب و خاک با تأخیر بروز خواهد داد. بنابراین، لازم است در سیاست‌گذاری در جهت به‌کارگیری مدیریت ریسک خشک‌سالی به این موضوع توجه شود و از طریق توجه به این امر سبب کاهش اثرات خشک‌سالی شد.

واژه‌های کلیدی: خاک‌های شور، دوره‌های خشک و مرطوب، سنجش از دور، مدیریت آب و خاک، مناطق خشک

نوع مقاله: پژوهشی

استناد: افشاری‌نیا، م.، و پناهی، ف. (۱۴۰۰). تأثیر خشک‌سالی اقلیمی بر شوری خاک سطحی در دشت کاشان. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱(۲)، ۴۰-۵۲.

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: fpanahi@kashanu.ac.ir

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۱۴۰۰، دوره ۱، شماره ۲، ۴۰-۵۲.

DOI: [10.22098/mmws.2021.8982.1018](https://doi.org/10.22098/mmws.2021.8982.1018)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۳

© نویسندگان



۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های حساسیت به تخریب اراضی^۱ و کیفیت خاک، پایداری ساختمان خاک است (Lal et al., 1997). شور شدن خاک به‌عنوان یکی از عوامل اصلی تخریب اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک و عامل اصلی محدودکننده تولید کشاورزی است (Arasto and Akhiani, 2018). شوری خاک رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در این صورت اهمیت خاک به‌دلیل رشد فزاینده جمعیت و بروز نیازهای جدید برای تأمین غذا بیش‌تر مشخص می‌شود (Karam et al., 2018). خشک‌سالی به‌عنوان بلایای طبیعی و پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر از دیرباز در پهنه وسیع کشورهای مختلف؛ به‌ویژه کشورهای مستقر در مناطق گرم و خشک دنیا دیده می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که ۸۰ درصد کشور ایران در بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ دچار خشک‌سالی بی‌سابقه بوده است (Saeidipour et al., 2018). خشک‌سالی به‌سبب تعداد، فراوانی، گستردگی و تبعات کوتاه و بلندمدت اقتصادی اجتماعی و محیط زیستی، از جمله مهم‌ترین حوادث طبیعی به‌شمار می‌رود و بر همین اساس نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریتی برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار دارد (Mostafazadeh and Zabihi, 2016). خشک‌سالی پدیده‌ای است که اساساً با کمبود بارش مرتبط است و بارندگی، دما، تبخیر، باد و رطوبت نسبی نقش به‌سزایی در تشدید وقوع، شدت و تداوم خشک‌سالی دارند. با وجود این، بارش مهم‌ترین عامل در تعیین شدت خشک‌سالی است (Mostafazadeh and Zabihi, 2016). شاخص‌های مختلفی از متغیرهای بارش و تبخیر و تعرق برای پایش خشک‌سالی؛ از جمله شاخص بارش استاندارد شده (SPI)^۲ بهره می‌گیرند (Karavitis et al., 2011; Bazrafshan et al., 2021). این شاخص توسط مک‌کی و همکاران در سال ۱۹۹۳ ابداع شد و در حال حاضر، به‌طور گسترده در امور تحقیقاتی و اجرایی جهت پایش خشک‌سالی استفاده می‌شود (Mosaedi and Ghabaei, 2011). ویژگی‌های خشک‌سالی ممکن است با گذشت زمان در اثر تغییرات اقلیمی دچار تغییر شود (Bazrafshan et al., 2016; Alahacoon et al., 2021).

پژوهش‌های متعددی در ارتباط با شوری خاک و نیز خشک‌سالی در کشور انجام شده است. برای نمونه، Arasto and Akhiani (2018)، با برآورد شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجش از دور چندطیفی بیان کردند که میان شوری خاک (EC) با تصاویر ماهواره‌ای و چند شاخص مستخرج از تصاویر، از قبیل

شاخص پوشش گیاهی، شاخص شوری و شاخص انتقال طیفی به اضافه هفت باند ماهواره‌ای، رابطه معناداری وجود دارد. علاوه بر این، Karam et al. (2018) با برآورد شوری خاک با استفاده از داده‌های دورسنجی و آمار مکانی در منطقه سبزوار اذعان داشتند که روش‌های دورسنجی و مدل‌های پیش‌بینی کننده از توانایی مناسبی برای تخمین شوری سطحی خاک برخوردار است. Ensafi Moghaddam (2007) با ارزیابی شاخص خشک‌سالی اقلیمی و انتخاب مناسب‌ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک بیان نمود که SPI و نیز دهک‌ها (DPI)، مقارن با سال کمبود بارندگی‌هاست و این شاخص‌ها، کارایی بیش‌تری نسبت به سایر شاخص‌ها دارند. Bahreini et al. (2018) به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر پوشش گیاهی به خشک‌سالی با استفاده از سنجش از دور در استان بوشهر پرداختند و نشان دادند که همبستگی بین SPI و نیز شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) می‌تواند برای تشخیص خشک‌سالی کشاورزی مفید باشد. Yao et al. (2018) به بررسی خشک‌سالی، شدت و روند تخریب سرزمین چین طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۳ پرداختند و از چهار شاخص درصد ناهنجاری بارش (RAI)، SPI، شاخص استاندارد تبخیر و تعرق بارندگی (SPEI) و شاخص خشک‌سالی مؤثر (EDI) در چند بازه زمانی از یک هفته تا ۲۴ ماه استفاده کردند. یافته‌های ایشان نشان داد که SPI و SPEI عملکرد مناسب‌تری نسبت به شاخص خشک‌سالی مؤثر (EDI) دارند و بین SPI و SPEI همبستگی بالاتری وجود داشت. هم‌چنین تمام اطلاعات مربوط به مناطق یا ایستگاه‌های دارای وقایع خشک‌سالی شدید بودند. Katsanos et al. (2018) به بررسی دوره‌های مرطوب و خشک در قبرس با استفاده از شاخص‌های آب وهوایی پرداختند. تجزیه و تحلیل پایگاه داده‌های بارندگی روزانه برای جزیره قبرس با استفاده از یک دوره ۵۰ ساله صورت گرفت. در مجموع به‌منظور بررسی تفاوت‌های وقوع دوره‌های مرطوب و خشک، نتایج حاکی از افزایش وقوع بارندگی شدید و نیز کاهش کمی در زمان خشک‌سالی شدید است. در یک جمع‌بندی کلی از پیشینه پژوهش می‌توان چنین بیان کرد که نوع و دقت روش انتخاب شده با توجه به ویژگی‌های عمومی منطقه مطالعاتی، هدف، تعداد و عوامل مؤثر آن‌ها متفاوت است و نتایج متفاوتی حاصل می‌شود. این پژوهش به‌منظور پایش تغییرات شوری خاک توسط شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در یک دوره ۱۸ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷) با استفاده از سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌اندست جهت برنامه‌ریزی و مدیریت مطلوب در قالب یک مطالعه موردی انجام شده است. پژوهش حاضر سعی کرده است با استفاده از مطالعات میدانی و داده‌های دورسنجی به بررسی وضعیت شوری

¹Land Degradation²Standardized Precipitation Index

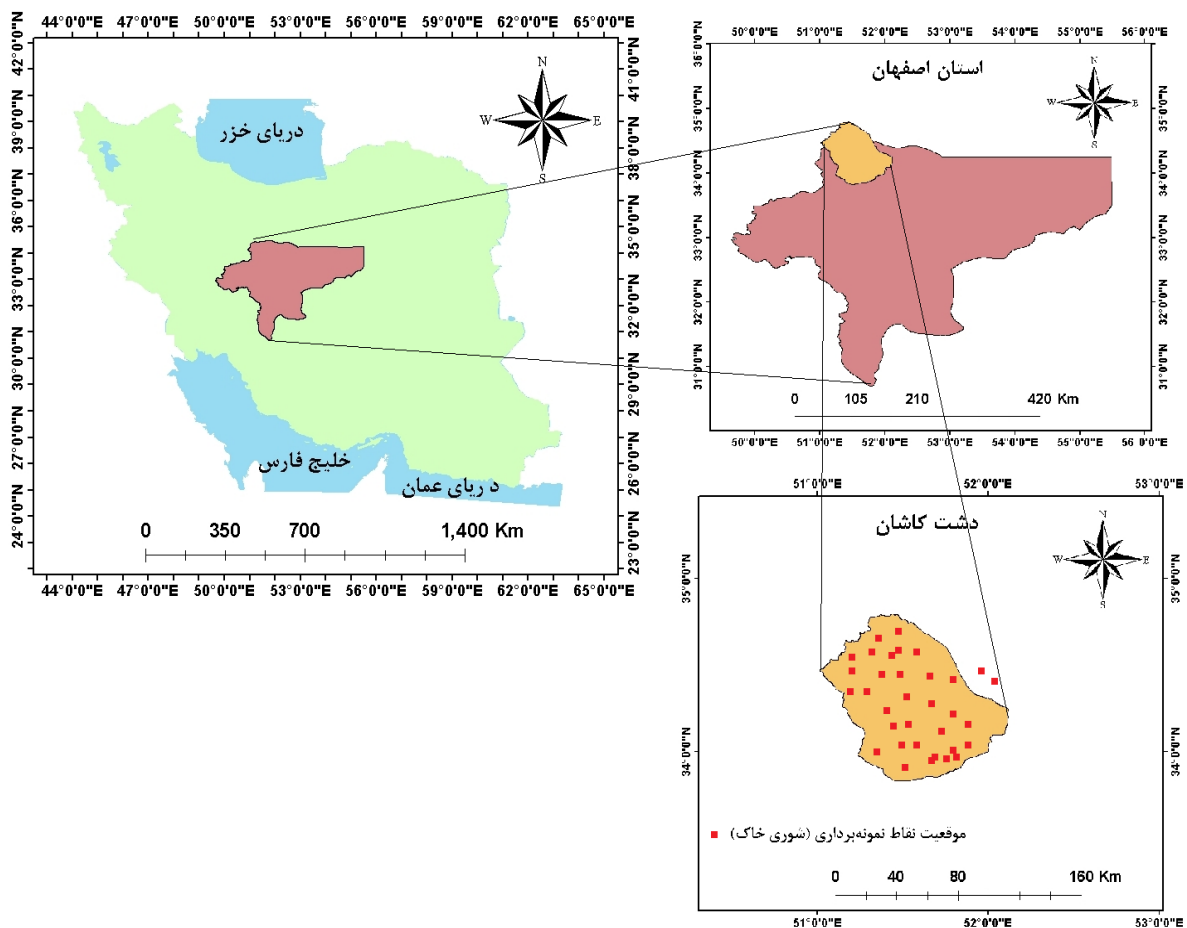
ساله، میانگین بارش سالانه ۱۳۲/۹۳ میلی‌متر است. همچنین، تیر با متوسط ۳۳/۲۵ درجه سانتی‌گراد و دی با متوسط ۳/۵۱ درجه سانتی‌گراد به ترتیب گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال هستند (Gharaati Jahromi, 2013). دشت کاشان در محدوده جنوب و غرب در بین سلسله کوه‌های مرکزی ایران واقع شده است. بخشی از منطقه مورد مطالعه شامل اراضی کشاورزی است که دارای خاک حاصل‌خیز با قابلیت کشاورزی بالا است، ولی به دلیل کمبود بارش در سال‌های اخیر در معرض فرسایش خاک قرار گرفته است (Gharaati Jahromi, 2013). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است.

خاک بردارد تا از این طریق اثرات خشک‌سالی مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دشت کاشان واقع در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه و ۳۹ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۶ دقیقه و ۳ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۶ دقیقه و ۳۴ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه و ۶ ثانیه است. همچنین از نظر پهنه‌بندی اقلیمی در پهنه اقلیمی با زمستان‌های نسبتاً سرد و تابستان‌های گرم و خشک است. طبق آمار و داده‌های ایستگاه هواشناسی کاشان برای دوره آماری ۱۸



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در سطح کشور و استان

Figure 1- Geographical location of the study area in the country and province

مناسب را در منطقه مطالعاتی داشته باشد. بدین‌منظور پس از تهیه گل اشباع، EC عصاره اشباع توسط دستگاه سنجش^۱ EC به‌دست آمد.

۲-۲- مطالعات عرصه‌ای و آزمایشگاهی

به‌منظور تهیه نقشه واقعیت زمینی و بررسی شاخص شوری خاک (SI)، ۳۲ نمونه خاک، در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه برداشت و به منطقه مورد نظر بسط داده شد. برداشت نمونه‌های خاک به‌صورت تصادفی و به‌گونه‌ای بود که پراکنش کافی و

^۱ Electrical Conductivity Meter

۳-۲- شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

در تحقیق حاضر، داده‌های بارندگی ۱۱ ایستگاه هواشناسی در محدوده و اطراف منطقه مورد مطالعه با داده‌های ۱۸ ساله (جدول ۱)؛ مشابه با تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در بخش ارزیابی شوری خاک) برای محاسبه SPI توسط نرم‌افزار^۱ DIP^۱ استفاده شد (رابطه ۱).

$$SPI = P - (ik)P - \frac{i}{\delta} - i \quad (1)$$

در معادله فوق P_{ik} مقادیر بارش در ایستگاه i به میلی‌متر و P_i میانگین بارش بلندمدت و δ_i نیز انحراف معیار داده‌های بارش بلندمدت است (Bahreini et al., 2018).

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد بررسی در دشت

کاشان

Table 1- Details of the study stations in Kashan Plain

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع متوسط (متر)	بارندگی سالانه (میلی‌متر)	SPI سالانه
قم	50° 51'	34° 36'	877.4	135.23	0.64
اردستان	52° 22'	33° 21'	1252.4	128.19	0.58
کاشان	51° 31'	33° 20'	982.3	132.83	0.61
سلفچگان	49° 36'	33° 49'	1380.5	181.89	0.74
نائین	53° 06'	32° 51'	1549	93.98	-1.21
نطنز	51° 54'	33° 30'	1684.9	186.52	1.27
گرمسار	52° 20'	35° 12'	899.9	114.08	0.47
شرق اصفهان	51° 42'	32° 38'	1543	101.45	0.39
میمه	51° 10'	33° 26'	1980	152.82	0.74
خوروبیابانک	54° 42'	33° 40'	845	77.60	-1.01
فرودگاه امام	51° 09'	35° 24'	990.2	151.45	0.72

۴-۲- شاخص شوری خاک

در تحقیق حاضر، معیار ارزیابی شوری خاک به‌عنوان ملاکی جهت تعیین خشک‌سالی منطقه مطالعاتی استفاده شده است (Afsharina, 2019). بدین‌منظور برای تهیه نقشه شوری خاک، شاخص شوری خاک (SI) انتخاب شد و با استفاده از تصاویر سنجنده مورد نظر و اعمال فرمول SI در نرم‌افزار ENVI (نسخه ۴.۷) در محیط نرم‌افزار ArcGIS (نسخه ۱۰.۴.۱) میانگین ارزش پیکسل‌ها در تمام نقاط منطقه مورد

مطالعه حاصل شد و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت (Afsharina, 2019).

در پژوهش حاضر، از داده‌های سنجنده^۲ ETM⁺ ماهواره Landsat 7 به شماره گذر ۱۶۴ و ردیف ۳۶ طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ میلادی (۲۶ فوریه ۲۰۰۰، ۳ فوریه ۲۰۰۸، ۲۴ ژانویه ۲۰۱۵ و ۱۱ ژانویه ۲۰۱۶) استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای از پایگاه اطلاعاتی^۲ USGS دریافت شد. ضمن این‌که از باندهای یک تا پنج با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شد. همچنین قبل از هر گونه استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای، انجام عملیات پیش‌پردازش ضروری است (Afsharina, 2019). لذا به‌منظور آماده‌سازی و پردازش داده‌ها، تصحیح رادیومتری برای بهبود کیفیت رادیومتری تصاویر و افزایش وضوح توسط نرم‌افزار ENVI (نسخه ۴.۷) انجام شد (Dashtekian et al., 2008). برای انجام تصحیحات رادیومتری دستور Radiometric Calibration اجرا شد تا مقدار ارزش رقومی (DN)^۳ به رادیانس تبدیل شود (Uossef, 2021). به‌علت وجود ذرات معلق در اتمسفر، طول موج‌های کوتاه‌تر تحت تأثیر قرار می‌گیرند و در اتمسفر منتشر می‌شوند و در نتیجه علاوه بر بازتاب‌های سطح زمین، بخشی از بازتاب‌های رسیده به سنجنده مربوط به اتمسفر خواهد بود که برای رفع اثر آن تصحیحات اتمسفری انجام شد (Dashtekian et al., 2008). به‌منظور انجام تصحیحات اتمسفری، دستور FLAASH در نرم‌افزار ENVI (نسخه ۴.۷) اجرا شد (Uossef Gomrokchi et al., 2021).

در مرحله پردازش شاخص شوری (رابطه ۲) روی تصاویر پیش‌پردازش شده اعمال شد و میزان شوری از روی نقشه‌ها به‌دست آمد و در نهایت همبستگی میان شوری حاصل از تصاویر و داده‌های زمینی ارزیابی شد (Dashtekian et al., 2008). رابطه ۲ شاخص شوری خاک را نشان می‌دهد:

$$SI = \sqrt{B1 \times B3} \quad (2)$$

طبق معادله فوق، $B1$ و $B3$ به‌ترتیب بیان‌گر مقادیر عددی اطلاعات رقومی باندهای ۱ و ۳ است (Dashtekian et al., 2008).

۵-۲- عملیات میان‌یابی

روش‌های متفاوتی برای میان‌یابی وجود دارند که می‌توان به روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) اشاره کرد. میان‌یابی فرآیند به‌دست آوردن نقاط مجهول توسط نقاط معلوم است (Afsharina, 2019). در روش IDW، مقادیر پیکسل‌های

² United States Geological Survey

³ Digital Number

¹ Drought Index Package

خشک‌سالی زیاد است. جهت پهنه‌بندی دشت کاشان از سری زمانی کوتاه‌مدت سه‌ماهه تا بلندمدت ۴۸ ماهه استفاده شده است. نتایج محاسبه این نمایه در جدول ۲، ارائه شده است. بیش‌ترین مقدار خشک‌سالی بر اساس SPI شش ماهه مربوط به سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ است. این چهار سال به‌عنوان مرجع برای بررسی اثرات خشک‌سالی مورد مطالعه قرار گرفته شد (شکل ۲).

نتایج حاصل از پایش SPI نشان داد که بیش‌ترین مقدار خشک‌سالی مربوط به سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ به‌ترتیب با میانگین $-۱/۳۸۱$ ، $-۱/۴۴$ ، $-۱/۱۹$ و $-۱/۷۳$ است که بر اساس سری زمانی شش ماهه برآورد شد. بر اساس سری زمانی شش ماهه در سال ۲۰۰۰، ۷۸ درصد در حالت نرمال، سه درصد در حالت ترسالی شدید، دو درصد در حالت ترسالی و چهار درصد خشکی بود. در سال ۲۰۰۸، سه درصد در وضعیت خشکی شدید، ۴۵ درصد در وضعیت خشکی متوسط و ۶۷ درصد خشکی نرمال بود. هم‌چنین در سال ۲۰۱۵، دو درصد در خشک‌سالی شدید و ۸۷ درصد در وضعیت خشک‌سالی متوسط بود. در سال ۲۰۱۶، چهار درصد خشک‌سالی شدید، ۶۰ درصد خشک‌سالی متوسط، ۶۹ درصد نرمال و ۱۴ درصد ترسالی متوسط بود. هم‌چنین به‌منظور کنترل مراحل کار و تعیین ماه‌های تر از روش باکس‌پلات در نرم‌افزار اکسل استفاده شد که یک دوره شش ماهه به‌عنوان دوره ترسالی لحاظ شد، به‌طوری که بارندگی از اواخر پاییز تا اوایل بهار صورت گرفته که به‌صورت غیرمداوم و کم است.

۲-۳- شاخص شوری خاک

به‌منظور ارزیابی ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه از نظر EC، بر اساس RMSE به‌دست آمده برای روش‌های مختلف (جدول ۳)، میان‌یابی با استفاده از IDW با کم‌ترین میزان RMSE انجام شد. طبق جدول ۳، از بین روش‌های Kriging-Universal، Kriging-Ordinary و IDW-Power2 بهترین روش میان‌یابی برای تمامی سال‌های با شدت خشک‌سالی بیش‌تر بر اساس RMSE، روش IDW است.

میان مقادیر شوری واقعی و برآورد شده همبستگی معناداری در سطح یک درصد وجود دارد و ضریب همبستگی آن $۰/۹۶$ است (جدول ۴). این امر نشان می‌دهد که مدل به‌دست‌آمده بر اساس اطلاعات ماهواره‌ای تخمین‌گر خوبی برای برآورد شوری خاک سطحی است. نتایج به‌دست آمده از ارزیابی دقت بیان می‌کند که روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) نسبت به سایر مدل‌ها از اعتبار بیش‌تری برخوردار است و مناسب‌ترین

مجهول از طریق میانگین‌گیری مقادیر نقاط معلوم در نزدیکی هر پیکسل تخمین زده می‌شود و مقادیری که نزدیک‌تر به مرکز پیکسل هستند در تخمین مقدار نامعلوم اثر بیش‌تری دارند (Afsharinia, 2019). در تحقیق حاضر، جهت ارزیابی توزیع مکانی متغیرهای مورد نظر که شامل ارتباط میان EC و SPI است، روش مناسب میان‌یابی بر اساس میانگین کم‌ترین مربعات خطا (RMSE) انتخاب شد.

۲-۶- همبستگی

به‌منظور انتخاب نوع ضریب همبستگی باید نوع روش پارامتریک و یا غیرپارامتریک تعیین شود. بدین‌منظور باید نوع توزیع داده‌ها بررسی شود (Afsharinia, 2019). برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها روش‌های متفاوتی وجود دارد که یکی از آن‌ها روش کلموگروف اسمیرنوف است. اگر آزمون رد شود، داده‌ها دارای توزیع نرمال هستند و می‌توان از آزمون‌های آماری پارامتریک استفاده کرد و بالعکس اگر تأیید شود، یعنی داده‌ها دارای توزیع نرمال نیستند و باید از آزمون‌های ناپارامتریک استفاده کرد (Afsharinia, 2019). طبق بررسی‌های انجام شده داده‌های مرتبط با EC و SPI از توزیع نرمال^۱، یکنواخت^۲ و پواسون^۳ پیروی نمی‌کنند و فقط از توزیع نمایی^۴ پیروی کرده؛ بنابراین، به‌علت این‌که داده‌ها طبق آزمون کولموگروف اسمیرنوف از توزیع نرمال پیروی نکرده است، پس نمی‌توان از روش‌های پارامتریک جهت بررسی رابطه میان داده‌ها استفاده کرد؛ زیرا شرط بهره‌گرفتن از روش‌هایی مانند تجزیه واریانس و روش پیرسون نرمال بودن توزیع داده‌هاست. از میان ضریب‌های همبستگی، ضریب همبستگی اسپیرمن به‌دلیل تبعیت نمودن داده‌ها از توزیع غیرنرمال با هدف تعیین رابطه میان داده‌ها انتخاب شد (Afsharinia, 2019).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- وضعیت خشک‌سالی

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، با استفاده از میزان بارندگی در یک دوره زمانی و نوسانات بارندگی نسبت به حالت نرمال، خشک‌سالی و نیز ترسالی منطقه بر اساس SPI سه ماهه، شش، نه، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ با استفاده از اطلاعات آماری ۱۱ ایستگاه در منطقه مطالعاتی حاصل شده است (جدول ۲). در این پهنه‌بندی بالاترین مقدار SPI بیان‌گر خشک‌سالی کم یا ترسالی است و نیز کم‌ترین مقدار آن گویای

^۱ Normal

^۲ Uniform

^۳ Poisson

^۴ Exponential

جدول ۲- مقادیر میانگین SPI برای دوره‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ در دشت کاشان

Table 2 - Average SPI for periods of 3, 6, 9, 12, 24, and 48-month during 2000 to 2017 in Kashan Plain

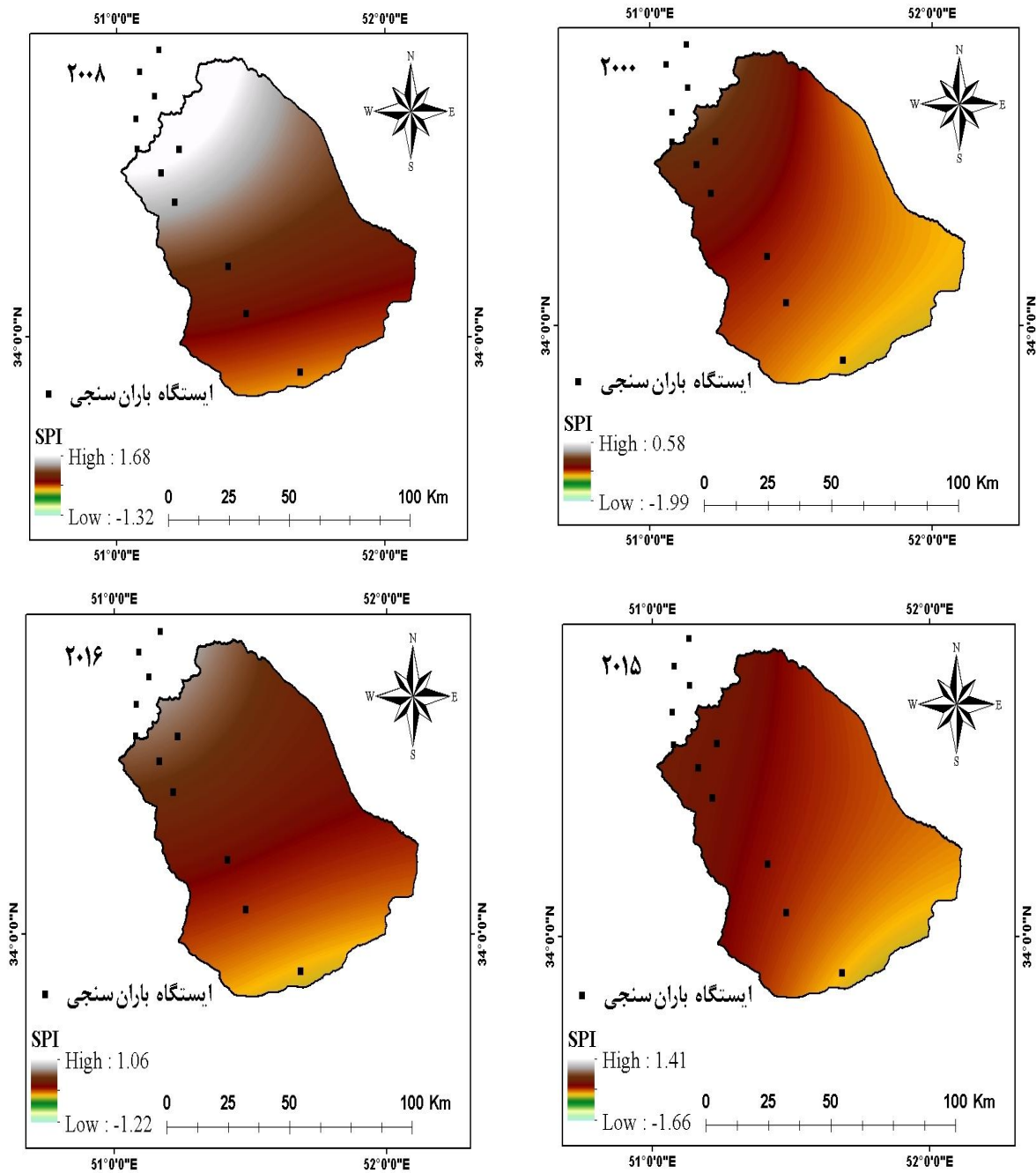
سال	SPI_3	SPI_6	SPI_9	SPI_12	SPI_24	SPI_48
2000	-0.32	-1.38	-0.32	0.98	-	-
2001	0.15	0.47	0.79	1.09	0.52	-
2002	0.58	0.78	1.16	0.84	1.28	-
2003	0.28	0.51	0.83	1.22	1.54	1.57
2004	0.53	0.47	0.47	0.56	1.30	2.17
2005	-0.20	-0.35	-0.21	-0.03	0.34	1.54
2006	0.01	-0.32	-0.63	-0.80	-0.60	0.57
2007	0.30	0.39	0.49	0.34	-0.30	-0.15
2008	-0.10	-1.44	-0.75	-0.65	-0.18	-0.82
2009	0.75	0.87	0.95	0.85	0.20	-0.22
2010	-0.24	-0.39	-0.57	-0.49	0.27	-0.10
2011	0.47	0.36	0.39	0.37	-0.18	-0.12
2012	0.37	0.10	-0.13	-0.19	0.03	0.07
2013	0.18	0.28	0.39	0.42	0.11	-0.20
2014	0.31	0.54	0.72	0.75	0.76	0.54
2015	0.12	-0.19	-0.74	-0.75	0.02	-0.03
2016	-0.44	-1.73	-1.12	-1.37	-1.47	-0.16
2017	-0.51	-0.79	-0.99	-1.13	-1.83	-1.61

۷۰/۳۲ دسی‌زیمنس بر متر است می‌توان گفت میزان شوری در نواحی شمالی محدوده مطالعاتی زیاد است، که این نواحی منطبق بر جنوب تهران و قم است. در سال آماری ۲۰۰۸، با حداکثر مقدار EC که برابر با ۱۶۷/۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و حداقل مقدار آن که برابر با ۷۱/۸۲ دسی‌زیمنس بر متر است که می‌توان گفت میزان شوری در نواحی جنوب شرقی محدوده مطالعاتی منطبق بر شرق بادرود و انارک زیاد است. در سال آماری ۲۰۱۵ می‌توان گفت میزان شوری در نواحی شمال و شمال غربی محدوده مطالعاتی زیاد است که منطبق بر جنوب تهران و قم است. در سال آماری ۲۰۱۶، با حداکثر مقدار EC که برابر با ۱۸۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و حداقل مقدار آن که برابر با ۳۸/۴۳ دسی‌زیمنس بر متر است می‌توان گفت میزان شوری در نواحی شمالی محدوده مطالعاتی زیاد است که منطبق بر جنوب تهران و قم است.

روش میان‌یابی پراکنش مقادیر شوری است. تجزیه و تحلیل توسط نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۰۱۶) و نیز میزان R^2 نشان دادند که انتخاب این مدل صحیح است.

طی چند سال گذشته کاهش فراوان بارندگی و زیاد شدن خشک‌سالی در منطقه کاشان از علل اصلی شوری خاک است (Gharaati Jahromi, 2013). هر چند عوامل متعددی از قبیل بالا آمدن املاح محلول در آب‌های زیرزمینی در نتیجه تبخیر شدید، ورود املاح با آب آبیاری لب شور در اراضی تحت آبیاری و ورود املاح از طریق نزولات جوی در شوری خاک دخیل هستند (Zehtabian et al., 2006). دشت کاشان از جمله مناطقی است که به جهت قرارگیری در حوزه آبخیز مرکزی و شرایط محیطی نامطلوب، قابلیت تولید ناچیزی دارد.

در سال آماری ۲۰۰۰، با حداکثر مقدار EC که برابر با ۱۶۲/۰۷ دسی‌زیمنس بر متر و حداقل مقدار آن که برابر با



شکل ۲- پهنه بندی شاخص بارش استاندارد شده شش ماهه در سال های ۲۰۰۸، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ در دشت کاشان
 Figure 2- Zoning of SPI 6-month for years 2000, 2008, 2015, and 2016 in Kashan Plain

جدول ۳- مقادیر RMSE به دست آمده برای روش های مختلف میان یابی

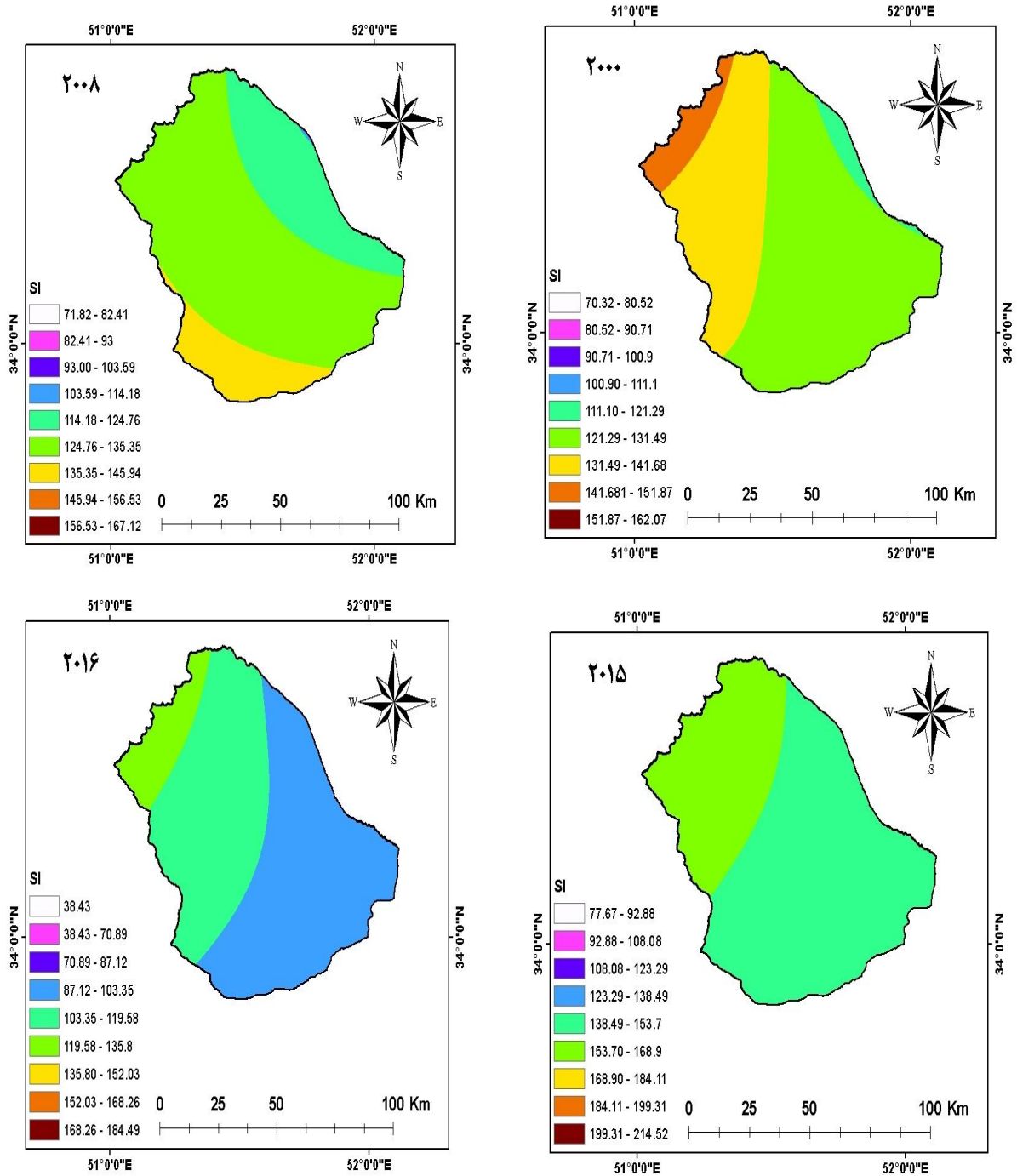
Table 3- RMSE values for different interpolation methods

Kriging-Universal	Kriging-Ordinary	IDW-Power2	سال
33.82	36.48	32.51	2000
44.23	44.69	43.14	2008
65.33	63.34	62.73	2015
66.85	64.52	63.89	2016

جدول ۴- اعتبارسنجی مدل مورد استفاده برای برآورد شوری خاک در دشت کاشان

Table 4- Validation of used model for soil salinity estimation in Kashan Plain

سطح معناداری	نوع رابطه	R ²	پارامتر
0.00	خطی	0.96	شوری برآورد شده



شکل ۳- پهنه‌بندی شاخص شوری (SI) در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ در دشت کاشان

Figure 3 - Salinity index (SI) zoning for years 2000, 2008, 2015, and 2016 in Kashan Plain

۳-۳- همبستگی میان EC-SPI

برای ارزیابی ارتباط میان EC و SPI ضرایب همبستگی بین آن‌ها محاسبه شد. بین مقادیر SPI و EC همبستگی در سطح یک درصد معنادار است. اگرچه این همبستگی در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۵ مثبت و در سال ۲۰۱۶ منفی است (جدول ۵).

جدول ۵- همبستگی داده‌های EC و SPI
Table 5- Correlation of SPI and EC data

2016	2015	2008	2000
-0.904**	0.240**	0.689**	0.668**

** وجود همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد

فراوان کرده است. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق نیز جزء مناطق خشک ایران است که در شش ماه از سال و یا حتی بیش‌تر بدون بارش است و تنها در اواخر پاییز تا اوایل بهار، بارش‌های کمی در آن اتفاق می‌افتد.

از آن‌جایی که خشک‌سالی پدیده اقلیمی گسترده‌ای است و از کاهش بارندگی در یک منطقه حاصل می‌شود، پس توزیع منطقه‌ای آن یکی از ویژگی‌های اساسی محسوب می‌شود. SPI می‌تواند تحت ابزاری مفید برای ارزیابی خشک‌سالی‌ها استفاده شود. همچنین با بررسی رابطه بین شوری و SPI که دارای همبستگی معنادار بودند، می‌توان گفت که با افزایش شدت خشک‌سالی شوری نیز افزایش می‌یابد، هر چند که افزایش شوری دلیلی بر افزایش شدت خشک‌سالی نیست و عوامل دیگری هم می‌تواند دخیل باشد. از مزایای SPI سادگی آن است و برای هر مقیاس زمانی محاسبه می‌شود که به آن قابلیت پایش شرایط گوناگون را به‌خصوص برای کاربردهای کشاورزی و هیدرولوژی می‌دهد، بدین ترتیب انعطاف‌پذیری بالایی دارد. SPI چندین محدودیت دارد که هنگام استفاده از آن باید مورد توجه قرار گیرد، از جمله این که، صحت و اعتبار SPI به‌اندازه صحت و اعتبار داده‌های مورد استفاده است. همچنین قبل از استفاده از SPI، اطلاعات کافی درباره اقلیم منطقه مورد مطالعه لازم است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی اثر خشک‌سالی بر شوری خاک با تأخیر یک‌ساله یا بیش‌تر نیز انجام شود و نتایج آن با پژوهش حاضر مقایسه شود.

بین مقادیر SPI و نیز EC همبستگی در سطح یک درصد معنادار است. این همبستگی در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۵ مثبت و در سال ۲۰۱۶ منفی است. نتایج آزمون اسپیرمن نشان داد که SPI بیش‌ترین همبستگی را با EC در سال ۲۰۰۸ به‌صورت مثبت و مستقیم نشان می‌دهد. به‌طور کلی می‌توان اذعان داشت که همبستگی زیاد و معناداری (همبستگی مثبت) میان مقادیر SPI و نیز EC در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۵ وجود دارد. بنابراین طی سال‌هایی که خشک‌سالی رخ می‌دهد و دمای هوا افزایش می‌یابد می‌توان انتظار داشت که EC افزایش پیدا کند که با نتایج (2004) Zahedi Kelaki مطابقت دارد.

۴- نتیجه‌گیری

مناطق خشک معمولاً دارای اقلیم متغیر هستند؛ به‌طوری‌که این نوسانات اقلیمی و نوسانات بارشی، آن‌ها را مستعد حساسیت

منابع

- سنجش از دور (مطالعه موردی: استان بوشهر). مرتع و آبخیزداری، ۷۱(۲)، ۳۴۱-۳۵۴.
- دشتکیان، ک.، پاک‌پرور، م.، و عبدالهی، ج. (۱۳۸۷). بررسی روش‌های تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست در منطقه مروست. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۵(۲)، ۱۳۹-۱۵۷.
- رسولی، ع.ا. (۱۳۸۷). مبانی سنجش از دور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای (همراه با DVD آموزشی). چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز، ۷۷۷ صفحه.
- زاهدی ملاکی، م. (۲۰۰۴). بررسی تأثیر خشک‌سالی روی کمیت و کیفیت منابع آب بوشهر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.
- سعیدی‌پور، م.، رادمنش، ف.، اسلامیان، س.، و شریفی، م. (۱۳۹۸). تحلیل منطقه‌ای خشک‌سالی در حوضه آبریز کارون با استفاده از

ارسطو، ب.، و اخیانی، ا. (۱۳۹۷). برآورد شوری خاک با استفاده از داده‌های بررسی طیفی در اراضی کشاورزی. کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه‌ریزی، ۹(۱)، ۳۷-۵۱.

افشاری‌نیا، م. (۱۳۹۸). بررسی تأثیر خشک‌سالی بر روی شوری خاک (مطالعه موردی: دشت کاشان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه کاشان.

انصافی‌مقدم، ط. (۱۳۸۶). ارزیابی چند شاخص خشک‌سالی اقلیمی و تعیین مناسب‌ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۴(۲)، ۲۷۱-۲۸۸.

بحرینی، ف.، پناهی، ف.، جعفری، م.، و ملکیان، آ. (۱۳۹۷). شناسایی مناطق آسیب‌پذیر پوشش گیاهی به خشک‌سالی با استفاده از

مصطفی‌زاده، ر.، و ذبیحی، م. (۱۳۹۵). تحلیل و مقایسه شاخص‌های SPI و SPEI در ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار R (بررسی موردی: استان کردستان). *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۴۲(۳)، ۶۳۳-۶۴۳.

یوسف گمرکچی، ا.، حسن‌اقلی، ع.، اکبری، م.، مهرزاد مستشاری، م.، و امینی، د. (۱۳۹۹). پیش‌بینی شوری خاک با روش شبکه عصبی و رگرسیون چندمتغیره بر مبنای شاخص‌های سنجش از دور و مقایسه آن‌ها (مطالعه موردی: شوره‌زار دشت قزوین). *نشریه مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۹(۲۸)، ۷۳-۸۸.

شاخص‌های SPI و SPEI. *علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۲(۲۳)، ۳۹۷-۴۱۵.

قرائتی جهرمی، م. (۱۳۹۸). بررسی روند بیابان‌زایی در منطقه ابوزیدآباد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه کاشان.

کرم، ا.، کیانی، ط.، دادرسی سبزواری، ا.، و داورزنی، ز. (۱۳۹۸). برآورد شوری خاک با استفاده از داده‌های دورسنجی و آمار مکانی در منطقه سبزواری. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۷(۴)، ۳۱-۵۳.

مساعدی، ا.، و قبابی‌سوق، م. (۱۳۹۰). تصحیح شاخص بارش استاندارد شده (SPI) بر اساس انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال. *آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۵(۵)، ۱۲۰۶-۱۲۱۶.

References

- Afsharina, M. (2019). Assessment of drought in soil salinity. M.Sc. Thesis, University of Kashan, Iran (in Persian).
- Alahacoon, N., Edirisinghe, M., & Ranagalage, M. (2021). Satellite-based meteorological and agricultural drought monitoring for agricultural sustainability in Sri Lanka. *Sustainability*, 13(6), 3427.
- Arasto, B., & Akhyani, A. (2018). Estimation of Soil salinity using spectral survey data in agricultural lands. *Geographic Information System Application and Remote Sensing in Planning*, 9(1), 37-51 (in Persian).
- Bahreini, F., Panahi, F., Jafari, M., & Malekian, A. (2018). Identification of vegetation-vulnerable areas to drought using remote sensing (Case study: Boushehr Province). *Journal of Range and Watershed Management*, 71(2), 341-354 (in Persian).
- Bazrafshan, O., Mahmudzadeh, F., Bazrafshan, J. (2017). Evaluation of temporal trends of the drought indices SPI and SPEI in the Southern Coast of Iran. *Desert Management*, 4(8), 54-69.
- Dashtekian, K., Pakparvar, M. & Abdollahi, J. (2008). Study of soil salinity preparing methods by using Landsat images in Marvast. *Iranian Rangeland and Desert Research*, 15(2), 139-157 (in Persian).
- Ensafi Moghaddam, T. (2007). An Investigation and assessment of climatological indices and determination of suitable index for climatological droughts in the Salt Lake Basin of Iran. *Journal of Rangeland and Desert Research*, 14(2), 271-288 (in Persian).
- Gharaati Jahromi, M. (2013). Surveying the desertification process in Abuzeydabad region. M.Sc. Thesis, University of Kashan (in Persian).
- Janbozorgi, M., Hanifepour, M., & Khosravi, H. (2021). Temporal changes in meteorological-hydrological drought (Case study: Guilan Province). *Modeling and Managing Water and Soil*, 1(2), 1-14.
- Karam, A., Kiani, T., Dadrasi Sabzevar, A., & Davarzani, Z. (2018). Estimating soil salinity by using of remote sensing data and spatial statistic in Sabzevar Region. *Quantitative Geomorphology Research*, 7(4), 31-53 (in Persian).
- Karavitis, C.A., Alexandris, S., Tsesmelis, D.E., & Athanasopoulos, G. (2011). Application of the standardized precipitation index (SPI) in Greece. *Water*, 3, 787-805.
- Katsanos, D., Retalis, A., Tymvios, F., & Michaelides, S. (2018). Study of extreme wet and dry periods in Cyprus using climatic indices. *Atmospheric Research*, 208, 88-93.
- Lal, R., Wagner, A., Greenland, D., Quine, T., Billing, D., Evans, R., & Giller, K. (1997). Degradation and resilience of soils [and discussion]. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 352(1356), 997-1010.
- Mosaedi, A., & Ghabaei Sough, M. (2011). Modification of standardized precipitation index (SPI) based on relevant probability distribution function. *Journal of Water and Soil*, 25(5), 1206-1216 (in Persian).
- Mostafazadeh, R., & Zabihi, M. (2016). Analysis and comparison of SPI and SPEI index in meteorological drought assessment in Kurdistan Province. *Earth and Space Physics*, 42(3), 633-643 (in Persian).
- Rasouli, A.A. (2008). Principles of applied remote sensing based on monitoring satellite images. First Edition, Tabriz University Press, 777 pages (in Persian).
- Saeidipour, M., Radmanesh, F., Eslamian, S., & Sharifi, M. (2018). Regionalization analysis of SPI and SPEI drought indices for Karoon Basin. *Journal of Soil and Water Sciences*, 2(23), 397-415 (in Persian).

- Uossef Gomrokchi, A., Hassanoghli, A., Akbari, M., Mostashari Mohasses, M., & Amini, D. (2021). Prediction of soil salinity using neural network and multivariate regression based on remote sensing indices and comparison: A case study of Qazvin plain's Salt Marsh. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 9(28), 73-88 (in Persian).
- Yao, N., Li, Y., Lei, T., & Peng, L. (2018). Drought evolution severity and trends in mainland China over 1961-2013. *Science of the Total Environment*, 616, 73 - 89.
- Zahedi Kelaki, M. (2004). Investigating the effect of drought on the quantity and quality of Bushehr water resources. M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University (in Persian).
- Zehtabian, G., Tayeb, M., & Souri, M. (2007). Studying the salinization factors in Kerman province (Case study: kabootarkhan plain). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 13(4), 368-384.