

## Agricultural drought monitoring using climatic, vegetation and soil moisture data in Hormozgan province

Nouri Pourdargazi, M.<sup>1</sup>  | Bazrafshan, O.<sup>2</sup>  | Esmailpour, Y.<sup>3</sup> 

1. M.Sc. in Watershed Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Hormozgan, Iran. E-mail: [mohsen.nor2511@gmail.com](mailto:mohsen.nor2511@gmail.com)
2. **Corresponding Author**, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Hormozgan, Iran. E-mail: [O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir](mailto:O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir)
3. Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Hormozgan, Iran. E-mail: [yahya98uni@gmail.com](mailto:yahya98uni@gmail.com)

(Received: 09 Aug 2022, Revised: 18 Sep 2022, Accepted: 19 Sep 2022, Published online: 19 Sep 2022)

### Abstract

Drought monitoring and early warning, especially accurate determination of its onset and duration, is of particular importance in water resources management and drought planning. The current study deals with the monitoring and evaluation of soil moisture and vegetation changes using remote sensing technique and its relationship with the standardized precipitation-evapotranspiration index in Bandar-Dij and Kol-Mehran watersheds in Hormozgan province. For this purpose, soil moisture data at a depth of 0-10 cm was calculated from GLDAS satellite images and standardized soil moisture drought index (SMDI) and standardized normalized difference vegetation index (SNDVI) were used to calculate changes in vegetation cover. The results of the correlation between SPEI and Standardized Moisture Drought Index (SMDI) showed that in all sub-basins, the correlation coefficients increase with the increase of the time scale, and the highest correlation is related to the Minab sub-basin ( $R=0.764$ ) in the 12-month time scale. Examining the characteristics of drought (severity-duration and magnitude) showed that SPEI showed more intensities in shorter periods of time than SMDI, so it shows more magnitudes of drought. The investigation of the standardized vegetation cover index showed that in most of the sub-basins, since 2012, the decreasing trend of vegetation cover is evident. Investigating the relationship between SPEI and SMDI and SNDVI showed that SNDVI has a high correlation with SPEI and SMDI in a long-term time scale. A comparison of historical droughts between the three indices showed that, although all three indices often showed drought conditions, SPEI always showed extreme conditions compared to changes in soil moisture and vegetation, indicating a delayed response to changes in soil moisture. And vegetation to meteorological drought.

**Keywords:** Agricultural drought, soil moisture, vegetation changes, drought characteristics.

**Cite this article:** Nouri Pourdargazi, M., Bazrafshan, O., & Esmailpour, Y. (2022). Agricultural drought monitoring using climatic, vegetation and soil moisture data in Hormozgan province. *Journal of the Nivar*, 46(116-117), 163-178. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2022.352541.1224>



## پایش خشک‌سالی کشاورزی با تاکید بر داده‌های اقلیم، پوشش گیاهی و رطوبت خاک در استان هرمزگان

محسن نوری پوردرگزی<sup>۱</sup> | ام‌البنین بذرافشان<sup>۲</sup> | یحیی اسماعیل‌پور<sup>۳</sup>

۱. کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران. رایانامه:

[mohsen.nor2511@gmail.com](mailto:mohsen.nor2511@gmail.com)

۲. نویسنده مسئول، عضو هیات علمی گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران. رایانامه:

[O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir](mailto:O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir)

۳. عضو هیات علمی گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران. رایانامه:

[yahya98uni@gmail.com](mailto:yahya98uni@gmail.com)

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۸، بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۷، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸، انتشار آنلاین: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸)

### چکیده

پایش و پیش‌هشدار خشک‌سالی، به‌ویژه تعیین دقیق زمان شروع و تداوم آن، اهمیت ویژه‌ای در مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی خشک‌سالی دارد. تحقیق حاضر به پایش و ارزیابی تغییرات رطوبت خاک و پوشش گیاهی با استفاده از تکنیک دورسنجی و ارتباط آن با شاخص بارش- تبخیر تعرق استاندارد شده در حوضه آبخیز بندر- سدیح و کل- مهران در استان هرمزگان می‌پردازد. با این هدف داده‌های رطوبت خاک در عمق ۱۰-۰ سانتیمتری از تصاویر ماهواره‌ای GLDAS و شاخص خشک‌سالی رطوبت خاک استاندارد شده (SMDI) محاسبه و برای محاسبه تغییرات پوشش گیاهی از شاخص استاندارد شده (SNDVI) استفاده گردید. برای بررسی خشک‌سالی کشاورزی از شاخص بارش- تبخیر تعرق استاندارد شده (SPEI) در مقیاس زمانی کوتاه و میان‌مدت (۱۲-۶ ماهه) استفاده شد و نتایج پایش شاخص‌ها با روش‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از همبستگی بین SPEI و SMDI نشان داد، در تمام زیرحوضه‌ها با افزایش مقیاس زمانی ضرایب همبستگی افزایش می‌یابد که بالاترین همبستگی مربوط به زیرحوضه‌ی میناب ( $R=0.764$ ) در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه است. بررسی مشخصه‌های خشک‌سالی (شدت-مدت و بزرگی) نشان داد، SPEI نسبت به SMDI شدت‌های بیشتری را در زمان تداوم‌های کمتری نشان داده، لذا بزرگی خشک‌سالی بیشتری را نشان می‌دهد. بررسی شاخص پوشش گیاهی استاندارد شده نشان داد، در اکثر زیرحوضه‌ها از سال ۲۰۱۲ به بعد، روند کاهش پوشش گیاهی مشهود است. بررسی ارتباط SPEI با SMDI و SNDVI نشان داد، SNDVI همبستگی بالایی با SPEI و SMDI در مقیاس زمانی بلندمدت دارد. بررسی برآورد خشک‌سالی‌های تاریخی بین سه شاخص نشان داد، اگرچه هر سه شاخص، اغلب وضعیت خشک‌سالی را نشان دادند، اما SPEI همیشه وضعیت خیلی شدید را در مقایسه با تغییرات رطوبت خاک و پوشش گیاهی نشان داده است که نشان‌دهنده‌ی پاسخ همراه با تاخیر در تغییرات رطوبت خاک و پوشش گیاهی به خشک‌سالی هواشناسی است.

**واژگان کلیدی:** خشک‌سالی کشاورزی، رطوبت خاک، تغییرات پوشش گیاهی، مشخصه‌های خشک‌سالی.

### ۱. مقدمه

مختلف در پایش خشک‌سالی به شرایط منطقه بستگی دارد. به‌عبارت‌دیگر، اطلاعات موجود در زمینه کیفیت، کمیت و تنوع، دانش کارشناسان، محققان و متخصصان، اهمیت موضوع و دسترسی به سخت‌افزار و نرم‌افزار کافی، مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده گزینه مطلوب است. و از طرفی هر روش یا شاخص بررسی خشک‌سالی دارای مزایا و معایب است. با توجه به تنوع مکانی و زمانی و اثرات متعدد خشک‌سالی

خشک‌سالی عبارت است از کاهش غیرمنتظره بارش نسبت به میانگین بلندمدت منطقه در مدتی معین. خشک‌سالی به‌عنوان کمبود آب موجود تعریف می‌شود که به‌شدت بر تولید بالقوه محصولات کشاورزی اثر گذاشته و موجب کمبود مصرفی انسان و دام شده که بر منابع اقتصاد تجدیدشونده تأثیرگذار است (سارندران و همکاران، ۲۰۱۷). توجه به شاخص‌های

**استناد:** نوری پوردرگزی، محسن؛ بذرافشان، ام‌البنین و اسماعیل‌پور، یحیی. (۱۴۰۱). پایش خشک‌سالی کشاورزی با تاکید بر داده‌های اقلیم، پوشش گیاهی و رطوبت خاک

در استان هرمزگان، مجله نیوار، ۴۶ (۱۱۶-۱۱۷)، ۱۶۳-۱۷۸. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2022.352541.1224>

ناشر: سازمان هواشناسی کشور.

DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2022.352541.1224>



جهانی تلفیق اطلاعات زمینی (GLDAS, Global Land Data Assimilation System) نمونه‌ای از پروژه‌های شاخصی است که مطالعه در خصوص امکان استفاده از نتایج آن‌ها جهت برآورد مؤلفه‌های بیلان آب به‌ویژه رطوبت خاک در مناطق مختلف کره زمین طی چند سال گذشته مورد توجه قرار داشته است. Mbata و Xulu (۲۰۱۸) در بررسی ارتباط NDVI با داده‌های رطوبت خاک برگرفته از GLDAS در جنوب افریقا نشان دادند، همبستگی این دو شاخص در پنجره‌های زمانی ۸ تا ۱۶ ماهه قابل توجه است. لی و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی اثر خشک‌سالی بر روی رشد و تولید گیاهان با استفاده از SPEI و NDVI در شمال شرقی چین بیان کردند که تغییرات پوشش گیاهی ارتباط نزدیکی با نوسانات اقلیمی مانند خشک‌سالی داشته بطوریکه کاهش شدید بارش طی دوره‌ی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۵ سبب کاهش چشمگیر پوشش گیاهی شده است. Das et al., (2020)، در بررسی ارتباط خشک‌سالی هواشناسی و رطوبت خاک با دو شاخص SPEI و شاخص رطوبت خاک استاندارد شده (SSMI, Standardized Soil Moisture Index) به این نکته اشاره کردند که همواره (SSMI Index) تغییرات خفیف‌تری از خشک‌سالی را نسبت به SPEI در هند نمایش داده است و به همان نسبت شدت‌های برآورد شده توسط SPEI بالاتر و زمان تداوم‌های پائین‌تری ارائه شده است. (Chen et al., 2020 به بررسی تغییرات Soil Moisture Drought Index) SMDI و SPEI در خصوص عملکرد گندم زمستانه در چین طی دوره‌های زمانی ۱، ۳، ۶ و ۹ ماهه پرداختند. نتایج نشان داد؛ میزان همبستگی بین دو شاخص مذکور بین ۰/۶۴ تا ۰/۹۷ است و با افزایش مقیاس زمانی، این همبستگی افزایش می‌یابد. همچنین امانی (۱۴۰۰) در بررسی ارتباط بین SPEI و SMDI نشان داد، در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت، همبستگی مناسبی بین دو شاخص مورد نظر وجود ندارد و در زیرحوضه‌های با مساحت بیشتر این همبستگی قابل اعتمادتر است. در سالیان اخیر استان هرمزگان خشک‌سالی‌های متعددی را تجربه کرده است. بنابراین به‌منظور کاهش مخاطرات خشک‌سالی و همچنین

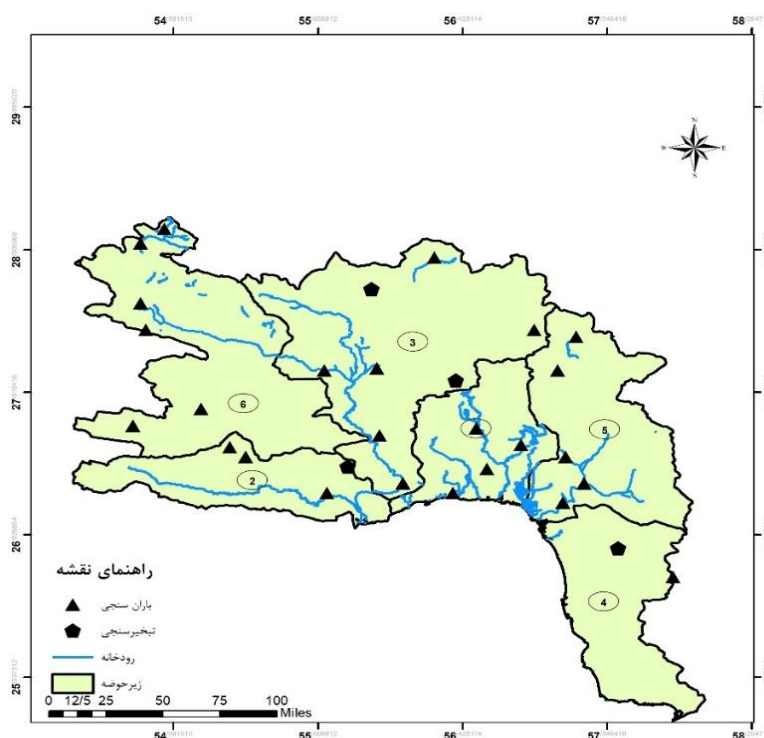
کشاورزی، ضروری است که شاخص یکپارچه برای ارزیابی آسیب‌پذیری این پدیده طبیعی ایجاد شود (صفوی و همکاران، ۲۰۱۴). زولیکر و همکاران، (۲۰۱۷). شاخص‌های خشک‌سالی، مانند شاخص بارش استاندارد شده (SPI, Standardized Precipitation Index) (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳) و شاخص بارش-تبخیر تعرق استاندارد شده (SPEI, Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) (ویسنت‌سرانو، ۲۰۱۰) که فقط از متغیرهای هواشناسی استفاده می‌کنند، در توصیف خشک‌سالی کشاورزی در مقیاس‌های زمانی میان‌مدت و بلندمدت، مفید هستند (چن و همکاران، ۲۰۲۰؛ جاوید و همکاران، ۲۰۲۱). شاخص‌های پوشش گیاهی مبتنی بر سنجش‌ازدور برای پایش خشک‌سالی‌های کشاورزی کاربرد بیشتری دارند (چن و همکاران، ۲۰۲۰). شاخص‌های خشک‌سالی مبتنی بر سنجش‌ازدور یا یک متغیر بیوفیزیکی منفرد مانند LST (Land Surface Temperature) و NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) یا ترکیبی از این متغیرها را در نظر می‌گیرند (کسای و همکاران، ۲۰۲۰). رطوبت خاک یکی از فراسنج‌های اساسی خاک است که در مطالعات آب‌و‌خاک و مدیریت منابع آب، کاربرد زیادی دارد. این متغیر زمانی و مکانی، یکی از اجزای مهم مدل‌های آب و هوایی، بوم‌شناسی و آب‌شناسی است (بایوردی، ۱۳۷۲؛ بداق‌جمالی و همکاران، ۱۳۸۱، Zhao et al., 2010؛ Zhe et al., 2013)، که بخش قابل توجهی از مطالعات مربوط به خشک‌سالی را نیز به خود اختصاص داده است. در سال‌های اخیر با رشد فزاینده پایگاه داده جهانی مبتنی بر برآوردهای ماهواره‌ای و همچنین افزایش توانایی‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در مدل‌سازی فرایندهای پیچیده حاکم بر بیلان آب در سطح زمین، کوشش‌های زیادی به‌منظور استفاده مناسب از این ابزارهای نوین در مقایسه با اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای به دلیل دقت مکانی و زمانی و استفاده عملیاتی آسان باهدف کاهش مشکلات موجود در این زمینه به‌عمل آمده است (Walker, J. P. & Houser, P.R. 2004). سیستم

## ۲-۱. منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق حوضه‌های آبخیز کل-مهران و بندر-سدیج در استان هرمزگان است. شکل ۱ و جدول ۱، موقعیت منطقه و ایستگاه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. داده‌های دما و بارش از ایستگاه‌های سینوپتیک (۵ ایستگاه) سازمان هواشناسی، بارانسنجی (۲۵ ایستگاه) و تبخیرسنجی (۴ ایستگاه) آب منطقه‌ای هرمزگان تهیه گردید. مقادیر رطوبت خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی متر در این پژوهش داده‌های رطوبت خاک از مدل جهانی تلفیق اطلاعات زمینی (GLADS) و داده‌های پوشش گیاهی از ماهواره‌ی مودیس تهیه گردید.

به‌منظور برنامه‌ریزی جهت اجرای پروژه‌های مقابله با خشک‌سالی نیازمند مطالعه دقیق بخصوص مطالعه وضعیت پوشش گیاهی و رطوبت خاک در طی سال‌های آتی خواهیم بود. از آنجایی که بررسی این دو پدیده به‌صورت عملیات میدانی بسیار هزینه‌بر است استفاده از فناوری نوین سنجش‌ازدور سرعت و دقت این پدیده اقلیمی را ارتقاء می‌دهد. بنابراین با استفاده از بانک اطلاعات تصاویر GLADS به بررسی و محاسبه خشک‌سالی و همچنین تغییرات زمانی و مکانی رطوبت خاک در عمق‌های ۱۰-۰ و بررسی پوشش گیاهی با NDVI می‌پردازد.

## ۲. مواد و روش‌ها



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده

نام زیر حوضه	کد زیر حوضه در نقشه	میانگین بارش	میانگین دما
غرب میناب	۱	۹۰	۲۷/۲
جنوب مهران	۲	۹۶	۲۷/۴
کل	۳	۱۳۹	۲۷/۱
غرب جگین	۴	۲۰۹	۲۳/۰۰
میناب	۵	۱۹۱	۲۷/۷
مهران	۶	۳۱۲	۲۸/۲

تابع کلاسیک ابرامویچ واستیگان با استفاده از مقادیر تابع  $F(X)$  تخمینی برای مقدار شاخص SPEI می‌باشد.

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3} \quad (4)$$

در رابطه رابطه ۴ مقدار  $W$  از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$w = \sqrt{-2\ln(P)} \quad \text{for } P \leq 0.5 \quad (5)$$

$p$  احتمال بیشتر شدن مقادیر تعیین شده  $D$  است. مقادیر  $C_0$ ،  $C_1$  و  $C_2$  و همچنین  $d_1$ ،  $d_2$  و  $d_3$  ثابت هستند. شاخص SPEI یک متغیر استاندارد شده است و بنابراین می‌تواند با سایر مقادیر SPEI در مکان و زمان مقایسه شود. مقدار SPEI معادل صفر به معنای مقادیر منطبق با ۰/۰۵۰ احتمال تجمعی  $D$  است (ویسنت سرانو و همکاران، ۲۰۱۰).

۲-۳. مدل جهانی GLDAS و استخراج رطوبت خاک مدل جهانی تلفیق اطلاعات زمینی (GLADS)، به طور مشترک توسط دانشمندان سازمان ملی هوانوردی و فضا (NASA)، مرکز پرواز فضایی گودارد (GSFC)، سازمان ملی اقیانوسی و جوی (NOAA) و مرکز ملی پیش-بینی محیط‌زیست (NCEP) در برخی زمینه‌ها توسعه داده شده است (ردل و همکاران، ۲۰۰۴).

مدل جهانی سطح زمین محدوده عرض جغرافیایی ۶۰- درجه تا ۹۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۱۸۰- درجه الی ۱۸۰ درجه شرقی را پوشش می‌دهد. این سیستم با بکارگیری اطلاعات ماهواره‌ای و داده‌های زمینی از مدل‌های سطح زمین بیلان آب را تعیین می‌نماید. این محصولات به دو دسته وضعیت سطح زمین (به عنوان مثال رطوبت خاک و دمای سطح) و (شار سطح زمین) به طور مثال تبخیر-تعرق و شار گرمای محسوس (تقسیم می‌شوند. منابع داده‌های فعلی شامل مجموعه‌های از داده‌ها با تفکیک ۱ درجه که از چهار مدل تشکیل شده است و از سال ۱۹۷۹ تا به امروز را پوشش می‌دهد و یک داده با وضوح ۰/۲۵ درجه که از مدل NOAA

## ۲-۲. شاخص استاندارد شده بارش - تبخیر و تعرق (SPEI)

ویسنته سرانو و همکاران (۲۰۱۰) شاخص تبخیر و تعرق بارندگی استاندارد را به عنوان شاخص خشکسالی پیشنهاد کردند. برای محاسبه شاخص SPEI در گام نخست باید مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل در هر ماه برآورد شود. سپس از طریق یک مدل ساده بیلان آب تفاوت بین مقدار بارندگی مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل برای ماه  $i$  از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد.

$$D_i = P_i - PET_i$$

محاسبه این شاخص همانند روش ارائه شده برای محاسبه شاخص SPI نیازمند برآورد مقادیر احتمال تجمعی مقادیر  $D_i$  از طریق  $i$  از برازش یک تابع چگالی احتمال است. با توجه به آنکه مقادیر  $D$  کران پائین به مقادیر منفی منتهی می‌شوند توابع احتمال دوپارامتری نمی‌توانند برای این امر انتخاب شوند. ویسنت سرانو و همکاران با بررسی توابع مختلف سه پارامتری، تابع چگالی احتمال لوگ-لوجستیک سه پارامتری را دارای بهترین برازش بر مقادیر  $D$  تشخیص دادند. فرم کلی تابع چگالی احتمال این تابع به صورت رابطه ۲ است:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-y}{\alpha}\right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-y}{\alpha}\right)^{\beta}\right]^{-2} \quad (2)$$

که در آن پارامترهای  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  به ترتیب پارامترهای مقیاس و شکل و برای مقادیر  $D_i$  در دامنه  $\gamma < D < \infty$  می‌باشند. فرم تابع احتمال تجمعی لوگ-لوجستیک سه پارامتری نیز مطابق رابطه ۳ است.

$$f(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x-y}\right)^{\beta}\right]^{-1} \quad (3)$$

<sup>۱</sup>- National Aeronautics and Space Administration

<sup>۲</sup>- Goddard Space Flight Center

<sup>۳</sup>- National Oceanic and Atmospheric Administration

<sup>۴</sup>- National Commission on Energy Policy

بصورت ماهانه استاندارد گردید و تحت عنوان شاخص استاندارد شده رطوبت خاک ( Soil Moisture Drought Index: SMDI) معرفی می‌گردد. طبقه‌بندی شدت خشکسالی مبتنی بر مقادیر شاخص SMDI به صورت جدول ۲ است:

### ۲-۳. شاخص NDVI

این شاخص به‌عنوان معروف‌ترین شاخص پوشش گیاهی، از طریق سنجش تغییرات جذب تابش کلروفیل گیاهی، برای ارزیابی سلامت و تراکم پوشش گیاهی استفاده می‌شود (تنکابیل و گاماج، ۲۰۰۲).

در سال‌های اخیر از این شاخص برای تعیین و ارزیابی خشکسالی در مناطق مختلف جهان استفاده فراوانی شده است. رابطه این شاخص که نسبت اختلاف طیف مادون قرمز نزدیک و طیف قرمز به مجموع آن‌ها است به شرح ذیل است:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (7)$$

در رابطه فوق NIR انعکاس باند 1 (620-670 نانومتر) و Red انعکاس باند 2 (841-876 نانومتر) سنجنده مودیس است. به دلیل آنکه NDVI به‌تنهایی قابلیت نمایش خصوصیات خشکسالی را دارا نیست، استفاده از شاخص‌های ترکیبی با رویکرد به‌کارگیری سری‌های زمانی NDVI و LST در دهه ۹۰ میلادی مطرح گردید. جهت همسانی و مقایسه این شاخص با سه شاخص SPEI و SMDI، NDVI نیز استاندارد گردید و به Standardised Normalized Difference Vegetation Index (SNDVI) نامگذاری شد. مشخصه‌های خشکسالی در تحقیق حاضر، شدت، زمان تداوم، بزرگی و فراوانی خشکسالی مورد مطالعه قرار گرفته است. طبق توصیه مک کی و همکاران (۱۹۸۶) رویداد خشکسالی به‌صورت دوره‌ای تعریف شده است که در آن مقادیر ( Standardized Precipitation Index) SPI کمتر از صفر هستند، در حالی که شدت خشکسالی به‌صورت مقادیر تجمعی خشکسالی در تداوم خشکسالی معرفی می‌گردد؛ که برای راحتی، شدت خشکسالی قدر مطلق و مثبت در نظر گرفته می‌شود که به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

تولید شده است و از سال ۲۰۰۰ تا حال حاضر را پوشش می‌دهد. قدرت تفکیک زمانی برای محصولات 3GLDAS ساعت است. فرآورده‌های ماهیانه از طریق میانگین‌گیری زمانی از محصولات ۳ ساعته تولید می‌شوند، این محصولات در فرمت شبکه دودویی (GRIB) می‌باشد که از طریق تعدادی از رابطه‌ها قابل دسترسی است (جین و فنگ، ۲۰۱۳). هدف سیستم جهانی جذب داده‌های زمین (GLDAS)، برداشت محصولات داده‌های مشاهداتی ماهواره‌ای و زمینی، با استفاده از روش‌های پیشرفته مدل سازی سطح زمین و جذب داده‌ها، به منظور تولید زمینه‌های بهینه از حالت‌های سطح زمین و شار می‌باشد (رودل و همکاران، ۲۰۰۴). شاخص خشکسالی مبتنی بر رطوبت خاک حاصل از سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی در این مطالعه بر اساس رابطه زیر محاسبه شده است. (بالینت و همکاران، ۲۰۱۱).

$$GLDAS - SMDI_{i,m} = \frac{\frac{1}{IP} \sum_{j=0}^{IP-1} SM_{i,(m-j)}^*}{\frac{1}{(n * IP)} \sum_{k=1}^n [\sum_{j=0}^{IP-1} SM_{i,(m-j)}^*]} * \sqrt{\frac{RL_{m,i}^{(SM^*)}}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n RL_{m,k}^{(SM^*)}}}$$

که در آن SM مقدار رطوبت خاک اصلاح شده ماهانه است. IP دوره انتخابی مورد نظر، RL(SM) طول دوره اجرا که برابر با حداکثر تعداد ماه‌های زیر متوسط رطوبت خاک طولانی مدت است، Z مجموع پارامترهای اجرایی پوشش دهنده P و K مجموع پارامتر پوشش دهنده سال‌هایی است که داده‌های مرتبط با آن‌ها در دسترس است. در این پژوهش طی دوره آماری ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ در مقیاس زمانی ماهانه (۲۱۶ تصویر) با وضوح ۰/۲۵ درجه از وب سایت زیردانلود گردید.

<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>

در این تحقیق مقادیر رطوبت خاک استخراج شده از رابطه ۶، با استفاده از میانگین و انحراف معیار طی دوره‌ی آماری

جدول ۲. درجه بندی مقادیر SMDI، SPEI و SNDVI

مقدار شاخص	شدت خشکسالی
کمتر از -۲	خشکسالی بسیار شدید
-۲ تا -۱/۵	خشکسالی شدید
-۱ تا -۱/۵	خشکسالی متوسط
-۰/۵ تا -۱	خشکسالی ملایم
-۰/۵ تا ۰/۵	نرمال
۰/۵ تا ۱	ترسالی ملایم
۱ تا ۱/۵	ترسالی متوسط
۱/۵ تا ۲	ترسالی شدید
بیشتر از ۲	ترسالی خیلی شدید

توافق می‌توان مقایسه‌ی دقیق‌تری از طبقات SPI در سری-های مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده داشت. با در نظر گرفتن وزن  $w_{ij}$  برای عدم توافق در درایه‌ی  $ij$  ماتریس، عدم توافق وزنی از مجموع حاصل ضرب نسبت  $P_{ij}$  در  $w_{ij}$  بدست می‌آید. بنابراین، آماره‌ی کاپای وزنی از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$K = 1 - \frac{\sum w_{ij} P_{ij}}{\sum w_{ij} P_{e,ij}} \quad (10)$$

آماره‌ی آزمون معنی‌داری آماره‌ی کاپای وزنی با فرضیه‌ی صفر عدم توافق، به صورت زیر است.

$$t = \frac{K}{\sqrt{\frac{\sum w_{ij}^2 P_{e,ij} - (\sum w_{ij} P_{e,ij})^2}{n(\sum w_{ij} P_{e,ij})^2}}} \quad (11)$$

## ۵-۲. تحلیل روند من-کندال

مراحل محاسبه روش تحلیل من-کندال شامل محاسبه اختلاف بین تک‌تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر  $S$  بصورت رابطه ۱۲، محاسبه واریانس توسط رابطه ۱۳ و محاسبه آماره  $Z$  با استفاده از رابطه

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ +1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \end{cases} \quad (12)$$

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (13)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (14)$$

$$S = \left| \sum_{i=1}^D SPI_i \right| \quad (8)$$

بزرگی خشکسالی از تقسیم شدت خشکسالی در تداوم رخ داده حاصل می‌شود و فراوانی خشکسالی از طریق نسبت بین تعداد وقایع خشکسالی در هر دسته از هر شاخص به کل تعداد وقایع شمارش شده برای هر ایستگاه در هر منطقه در هر مقیاس زمانی به دست می‌آید. هدف از محاسبه فراوانی خشکسالی، تعیین الگوی فضایی خشکسالی در دسته‌های خشکسالی ملایم، متوسط، شدید و خیلی شدید و ترسالی است.

## ۲-۴. آماره‌ی کاپای وزنی

آماره‌ی کاپا نخستین بار توسط کوهن در سال ۱۹۶۸ به عنوان معیار اندازه‌گیری توافق در علم روان‌شناسی معرفی گردید. فرض کنید  $P_{ij}$  نسبت کل اجزایی از سری زمانی است که به طبقه‌ی  $i$  از یک سری و به طبقه‌ی  $j$  از سری دوم اختصاص دارد. این نسبت‌ها می‌توانند داخل یک ماتریس شکل بگیرند که قطر اصلی آن شامل نسبت‌های منحصر بفردهای  $P_{ii}$  اجزایی است که در هر دو سری مطابقت دارند.  $P_0$  مجموع مقادیر  $P_{ii}$  است. با در نظر گرفتن  $P_{e,ii}$  به عنوان حاصل ضرب مجموع نسبت‌های ردیف و ستون مربوطه  $(P_{e,ii} = \sum_i P_{ii})$ ، مقدار قابل انتظار توافق، برابر است با جمع مقادیر  $P_{e,ii}$ ؛ این جمع را  $P_e$  می‌نامیم. آماره‌ی کاپا به صورت زیر تعریف می‌شود (کوهن، ۱۹۶۸).

$$K = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} \quad (9)$$

لندیس و کوچ پیشنهاد کردند که مقادیر  $K$  کمتر از ۰/۴ نشان دهنده‌ی توافق ضعیف تا خیلی ضعیف بوده، مقادیر ۰/۵۵-۰/۴۰ نشان‌دهنده‌ی توافق متوسط، مقادیر ۰/۷۰-۰/۵۵ نشان‌دهنده‌ی توافق خوب و مقادیر بیش از ۰/۷۰ نشان‌دهنده‌ی توافق خیلی خوب تا عالی می‌باشند. در مقایسه‌ی طبقات شاخص‌های خشکسالی، عدم توافق بین طبقه‌ی خشکسالی خفیف و خشکسالی متوسط به بزرگی عدم توافق بین طبقه‌ی خشکسالی خفیف و خشکسالی شدید نیست. از این رو با در نظر گرفتن وزن‌های معین برای هر یک از حالت‌های عدم

SPEI12 و SMDI10 ماهه ملاحظه گردید لازم به توضیح است که تمام مقیاس‌های زمانی همبستگی بین شاخص‌ها معنی‌دار است. به این معنی که SMDI تطابق مناسبی با SPEI دارد و این تطابق با افزایش دوره زمانی افزایش می‌یابد. شکل ۳، تغییرات زمانی بین دو شاخص SPEI و SMDI را بعنوان نمونه در دو ایستگاه در غرب و شرق هرمزگان، در مقیاسی که بالاترین همبستگی را دارند، در هر زیرحوضه نشان داده است. همبستگی بین دو شاخص مورد بررسی در غرب میناب، مقیاس ۱۲ ماهه است. لذا تغییرات این مقیاس مورد بررسی قرار گرفت. در زیرحوضه غرب میناب (شکل ۳ الف) تغییرات شاخص SPEI-12 با SMDI-12 دارای دوره‌های ترسالی و خشکسالی مشابه هستند و در اکثر وقایع همپوشانی مناسبی دارند با این تفاوت که SPEI شدت‌های به نسبت بالاتری را نمایش می‌دهد.

در زیرحوضه جنوب مهران (۳-ب) نیز در مقیاس ۱۲ ماهه، تطابق مناسبی بین آنها وجود دارد. در این زیرحوضه نیز SPEI شدت‌های بالاتری نسبت به SMDI نشان می‌دهد و همزمان افزایش خشکسالی سبب افزایش SMDI و یا عبارتی کاهش رطوبت خاک می‌شود. در خصوص تغییرات شاخص خشکسالی هواشناسی نسبت به تغییرات رطوبت خاک، می‌توان خاطر نشان کرد که چنانچه خشکسالی تا یکسال ادامه یابد، تغییرات رطوبت خاک بیشترین تغییرات را نشان می‌دهد.

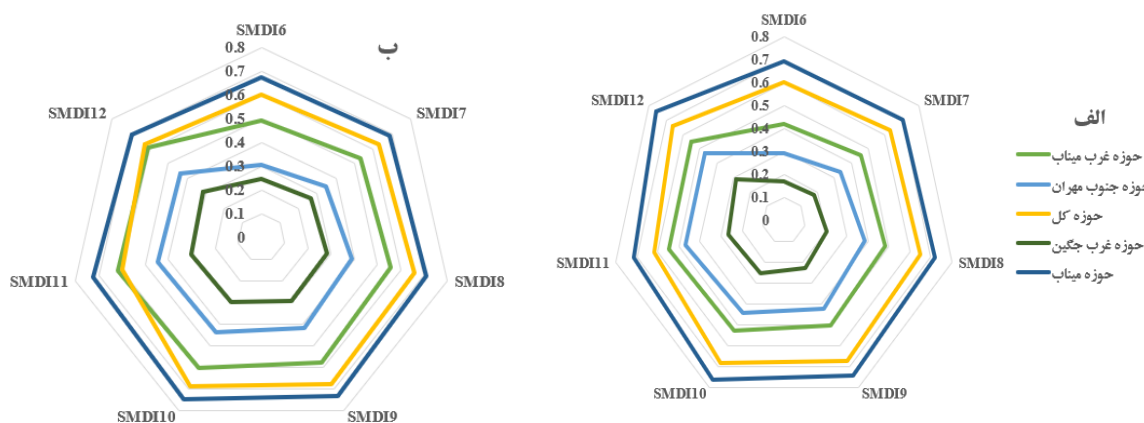
۱۴ است. که در این رابطه، Sign: تابع علامت؛ x متغیر، Var: واریانس و Z: آماره آزمون است. معنی‌داری آزمون با مقدار Z بررسی می‌شود و در فاصله اطمینان ۹۵٪، چنانچه مقدار  $Z > 1/96$  باشد، روند افزایشی و چنانچه کمتر از  $1/96$  باشد، روند کاهشی را نشان می‌دهد (مظفری و همکاران، ۱۳۹۹).

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳-۱. پایش خشکسالی با SPEI و SMDI و بررسی همبستگی

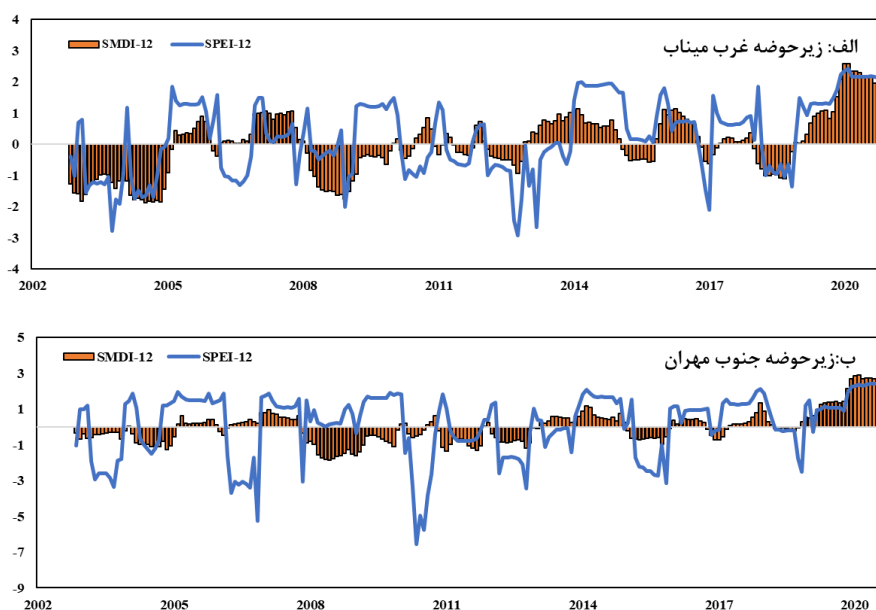
جهت بررسی خشکسالی هواشناسی، در هر زیرحوضه براساس ایستگاه‌های موجود بارانسنجی، بارش متوسط براساس روش پلیگون‌بندی تیسن برآورد گردید. سپس براساس مقدار دمای حوزه و بارش، SPEI در مقیاس ۶ تا ۱۲ ماهه برآورد شد. مقدار SMDI نیز براساس روش‌شناسی و مقیاس ذکر شده برآورد و همبستگی دو شاخص مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۲، همبستگی بین SPEI در مقیاس ۱۱ و ۱۲ ماهه با SMDI در مقیاس‌های زمانی ۶ تا ۱۲ ماهه در زیرحوضه‌های مورد مطالعه در استان هرمزگان را نشان می‌دهد.

همانطور که ملاحظه می‌شود، با افزایش مقیاس زمانی میزان همبستگی افزایش پیدا می‌کند. به طوری که در اکثر زیرحوضه‌ها میزان همبستگی در مقیاس ۱۱ یا ۱۲ ماهه به حداکثر مقدار خود می‌رسد. بیشترین مقدار همبستگی مشاهده شده در حوزه آبخیز میناب با مقدار  $0/764$  در



شکل ۲. ضریب همبستگی SPEI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه (الف) و ۱۱ ماهه (ب) با SMDI در مقیاس زمانی ۶ تا ۱۲ ماهه در منطقه‌ی مورد مطالعه





شکل ۳. تغییرات زمانی SPEI و SMDI در دوره زمانی مورد مطالعه (الف: زیرحوضه ی غرب میناب، ب: زیرحوضه ی جنوب مهران)

گردید. جدول ۳ میزان Kw را در هر زیرحوضه نشان می‌دهد. براساس روش شناسی ذکر شده، مقدار این آماره هر قدر به یک نزدیک تر باشد نشان دهنده تشابه زیاد دو شاخص بهم است. طبق نتایج بدست آمده در تمامی زیرحوضه‌ها، تشابه حدواسطی بین برآورد کلاس‌های توصیفی در دو شاخص وجود دارد. نتایج امانی (۱۴۰۰) در بررسی خشکسالی اقلیمی و رطوبت خاک نیز نشان‌دهنده تشابه حدوسط تا تشابه کم در حوضه آبخیز میناب بود. شکل ۵، به مقایسه شدت و تداوم خشکسالی در هر شاخص و ایستگاه مورد بررسی می‌پردازد. براساس نتایج در زیرحوضه غرب میناب (الف)، تعداد ۱۱ واقعه‌ی خشکسالی در SPEI رخ داده درحالی‌که در SMDI ۸ واقعه. همچنین بیشینه شدت رخ داده در SPEI، ۱۸٫۱ با زمان تداوم ۱۸ ماهه (مربوط به سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۳) و در SMDI برابر، ۳۹ با زمان تداوم ۲۸ ماهه (سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵) است. هر قدر نسبت شدت به مدت کمتر باشد، سبب کاهش بزرگای خشکسالی می‌گردد. در سایر زیرحوضه‌ها نیز تعداد وقایع خشکسالی در SPEI بیش از SMDI است اما تداوم خشکسالی SMDI بالاتر از SPEI است. لذا در اغلب وقایع می‌توان پائین بودن شدت خشکسالی با توجه به بالا بودن تداوم خشکسالی را در SMDI و کم بودن بزرگی خشکسالی را مشاهده کرد.

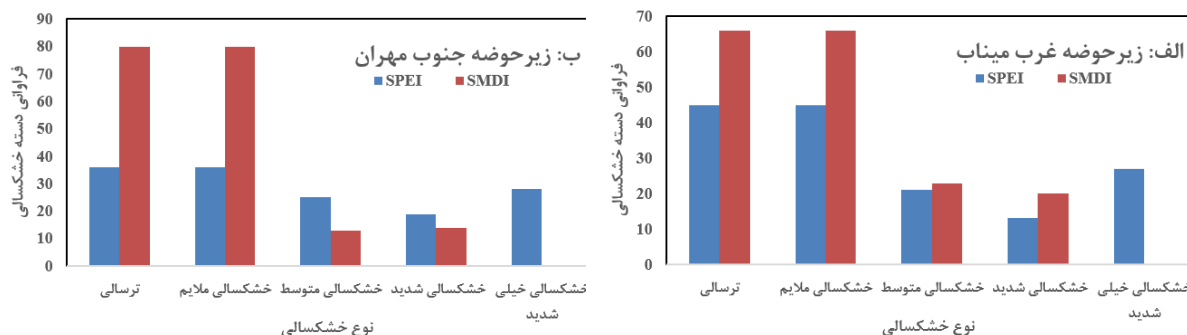
مقایسه SPEI و SMDI از نظر ویژگی‌های خشکسالی (فراوانی، شدت، مدت و بزرگی) برای بررسی شباهت شاخص‌ها از نظر برآورد ویژگی‌های خشکسالی مقادیر فراوانی خشکسالی، شدت، مدت، بزرگی استخراج و مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی کلاس‌های توصیفی خشکسالی در چهار کلاس و یک کلاس ترسالی (مقادیر بیش از صفر بعنوان ترسالی) برآورد گردید (شکل ۴). براساس نتایج بدست آمده دو شاخص برآورد غیرمشابهی در کلاس‌های ترسالی و خشکسالی دارند. در تمام زیرحوضه‌ها، SPEI کلاس توصیفی خیلی شدید ( $SPEI > 2$ ) را نشان داده است در حالیکه SMDI این کلاس را در دوره‌ی مورد بررسی برآورد نکرده است.

نکته قابل توجه بعدی، بالا بودن تعداد فراوانی کلاس‌های توصیفی ترسالی و خشکسالی ملایم توسط SMDI نسبت به SPEI در تمام زیرحوضه‌هاست اما در سایر کلاس‌ها (خشکسالی متوسط و شدید) تمام نیز SPEI کلاس‌های فراوانی بیشتری را نشان می‌دهد. به این مفهوم که SPEI در برآورد کلاس‌های شدید و خیلی شدید، کارایی مناسب‌تری داشته است. جهت بررسی میزان تشابه بین کلاس‌های توصیفی دو شاخص از آماره کاپا- کوهن وزنی استفاده

جدول ۳. آماری کاپا در برآورد شباهت کلاس‌های توصیفی SPEI و SMDI

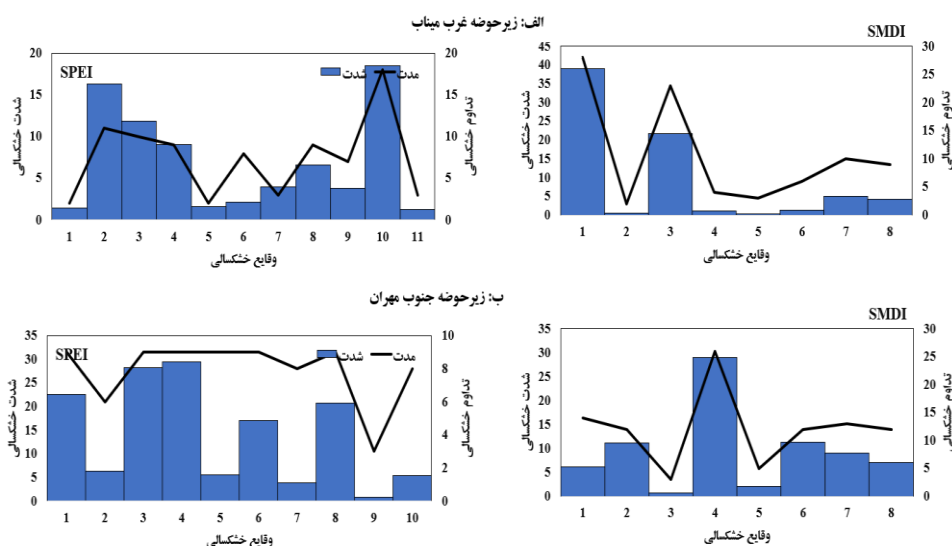
نام زیرحوزه	غرب میناب	کل	غرب جگین	میناب	مهران	جنوب مهران
Kw	۰/۵۲	۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۳۶



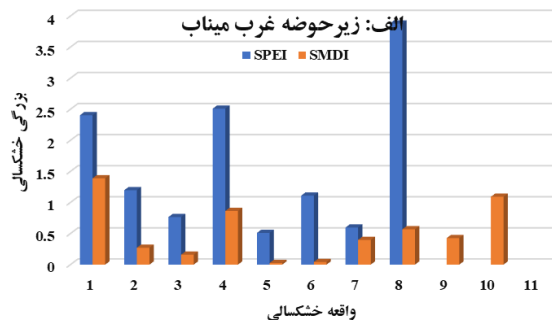
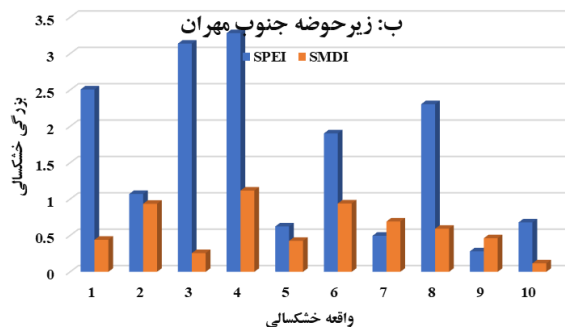
شکل ۴. کلاس‌های توصیفی خشکسالی (الف. زیرحوضه غرب میناب ب. زیرحوضه جنوب مهران)

خشکسالی است. بزرگای خشکسالی به شناخت و تصمیم گیری در زمینه مدیریت محصولات کشاورزی و منابع آبی کمک شایانی می‌کند. شکل ۶، بزرگی خشکسالی در دو زیرحوضه را بعنوان نمونه نشان می‌دهد. در تمام وقایع خشکسالی، بزرگای خشکسالی در SMDI کمتر از SPEI است. به این معنی که در SPEI، شدت‌های خشکسالی بالاتر در تداوم‌های کمتر رخ داده است و در اکثر وقایع مقادیر بزرگی خشکسالی در SPEI بیش از یک است.

همانطور که پیش‌تر گفته شد، مشخصه بزرگی خشکسالی عبارتست از نسبت تقسیم شدت خشکسالی بر زمان تداوم خشکسالی. هر چه شدت خشکسالی در زمان تداوم کمتر رخ دهد، بزرگی افزایش خواهد یافت و هر قدر تداوم خشکسالی بیشتر با شدت کمتری رخ دهد، بزرگای خشکسالی کمتر است. چنانچه بزرگی خشکسالی بیش از ۱ باشد، به این معنی است که مقدار شدت بیش از زمان تداوم خشکسالی است و هر قدر از یک بیشتر باشد، نشان‌دهنده بالا بودن شدت

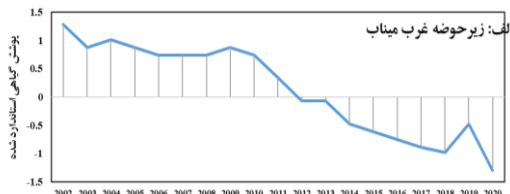
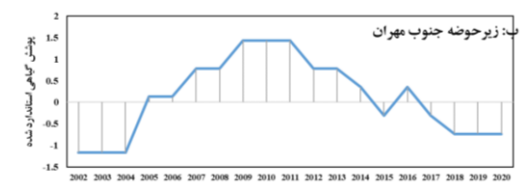


شکل ۵. شدت و مدت خشکسالی برآورد شده توسط SPEI و SMDI (الف. زیرحوضه غرب میناب ب. زیرحوضه جنوب مهران)



شکل ۶. مشخصه بزرگی خشکسالی در SPEI و SMDI ( الف. زیرحوزه غرب میناب ب. زیرحوزه جنوب مهران)

است. شکل ۷، تغییرات شاخص SNDVI را نشان می‌دهد. در اکثر زیرحوزه‌ها جز جنوب مهران؛ شرایط تقریباً مشابهی دیده می‌شود. طی سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۱، وضعیت بالاتر از حالت نرمال و از سال ۲۰۱۲ به بعد وضعیت به سمت وضعیت خشکسالی پیش می‌رود. در زیرحوزه مهران، از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ وضعیت پایین‌تر از نرمال حکمفرماست و از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴، وضعیت پوشش بالاتر از حالت نرمال دوره مورد بررسی بوده و از ۲۰۱۵ به بعد وارد فاز خشکسالی می‌شود.



شکل ۷. شاخص پوشش گیاهی استاندارد شده گیاهی ( الف. زیرحوزه غرب میناب ب. زیرحوزه جنوب مهران)

زمانی ۹ ماهه رخ داده است و همبستگی بین این دو شاخص در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی دار است. به این معنی که ۹ ماه خشکسالی متوالی بیشترین تاثیر را بر کاهش پوشش گیاهی در این مناطق دارد. در حوضه غرب میناب پس از گذشت یکسال، در حوضه آبخیز کل در مقیاس زمانی ۶ ماهه و در حوضه آخیز میناب بالاترین همبستگی در مقیاس زمانی ۱۱ ماهه است. در خصوص بررسی ارتباط رطوبت خاک استاندارد شده (SMDI) با نیز SNDVI نیز بهترین رابطه در مقیاس زمان یکساله رخ می‌دهد. در همه‌ی موارد میزان ضریب همبستگی بین SNDVI با SMDI بهتر از

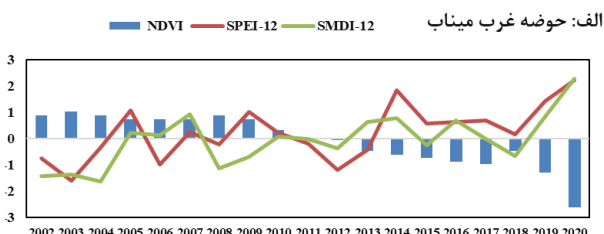
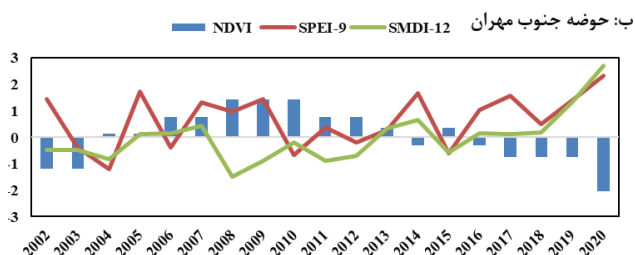
### ۲-۳. تغییرات شاخص استاندارد شده پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه

جهت بررسی خشکسالی کشاورزی از شاخص NDVI استاندارد شده استفاده گردید. بدلیل تغییرات اندک پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از تصاویر متوسط شش ماهه دوم سال (دوره مرطوب در جنوب ایران) استفاده گردید. تغییرات مقادیر استاندارد شده این شاخص شبیه تغییرات شاخص Z است. مقادیر منفی آن نشان‌دهنده وضعیت خشکسالی (پائین‌تر از وضعیت نرمال) و مقادیر بیشتر از صفر نشان‌دهنده وضعیت ترسالی (بالاتر از وضعیت نرمال)

بررسی اثر خشکسالی هواشناسی و کشاورزی بر پوشش گیاهی استاندارد شده جهت بررسی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی، همبستگی آنها مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۴، ضریب همبستگی بین شاخص‌های مورد بررسی را در مقیاس‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج بدست آمده بین SNDVI با SPEI و رطوبت خاک استاندارد شده (SMDI) رابطه همسو و مناسبی وجود دارد، بدین مفهوم که با تشدید خشکسالی کشاورزی و کاهش رطوبت خاک، پوشش گیاهی کاهش می‌یابد. در حوضه‌های آبخیز غرب جگین و جنوب مهران بالاترین همبستگی با SPEI در مقیاس

تغییرات ناشی از خشکسالی بر رطوبت خاک و پوشش گیاهی وجود دارد. اگرچه تغییرات ناش از SNDVI بسیار کمتر از دو شاخص دیگر است، که نشان دهنده عدم تغییرات سریع پوشش گیاهی به کاهش بارش و رطوبت و افزایش دماست.

SPEI است. که نشان دهنده وابستگی بیشتری تغییرات پوشش گیاهی به تغییرات رطوبت است تا تغییرات دما و بارش شکل ۸، تغییرات زمانی بین SPEI و SMDI با NDVI با توجه به بالاترین همبستگی حاصل از جدول ۳، را نشان می‌دهد. براساس نتایج بدست آمده تطابق مناسبی بین



شکل ۸. تغییرات زمانی SPEI و SMDI با NDVI (الف. زیرحوزه غرب میناب ب. زیرحوزه جنوب مهران)

جدول ۴. همبستگی بین SPEI و SMDI با شاخص

شاخص	میناب	کل	غرب میناب	جنوب مهران	غرب جگین
SPEI6	۰/۴۳۷	۰/۵۳۱°	۰/۴۷۶°	۰/۲۴۰	۰/۳۷۹
SPEI7	۰/۳۸۸	۰/۴۹۸°	۰/۵۰۲°	۰/۳۵۳	۰/۲۹۵
SPEI8	۰/۴۲۹	۰/۵۱۴°	۰/۴۷۵°	۰/۳۳۶	۰/۳۷۳
SPEI9	۰/۴۳۱	۰/۵۱۵°	۰/۴۸۹°	۰/۳۸۳°	۰/۴۴۵°
SPEI10	۰/۴۶۹*	۰/۴۹۳°	۰/۵۵۶°	۰/۳۵۱	۰/۴۳۱
SPEI11	۰/۵۰۴°	۰/۴۵۵	۰/۶۳۰°	۰/۳۴۷	۰/۴۲۷
SPEI12	۰/۳۷۷	۰/۴۴۳	۰/۶۴۶°	۰/۸۹	۰/۴۳۵
SMDI6	۰/۵۳۱°	۰/۷۰۴°	۰/۶۸۶°	۰/۵۷۵°	۰/۵۱۰°
SMDI7	۰/۵۴۲°	۰/۷۰۹°	۰/۶۹۷°	۰/۵۹۹°	۰/۵۲۱°
SMDI8	۰/۵۴۹°	۰/۷۱۰°	۰/۷۰۲°	۰/۶۱۳°	۰/۵۳۰°
SMDI9	۰/۵۴۹°	۰/۷۰۹°	۰/۷۰۵°	۰/۶۲۴°	۰/۵۳۰°
SMDI10	۰/۵۴۴°	۰/۷۱۲°	۰/۷۱۳°	۰/۶۲۳°	۰/۵۳۰°
SMDI11	۰/۴۷۹°	۰/۷۲۹°	۰/۷۲۲°	۰/۶۲۴°	۰/۵۲۸°
SMDI12	۰/۵۷۰°	۰/۷۳۳°	۰/۷۳۰°	۰/۶۳۰°	۰/۵۳۳°

\* معنی داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد \*\* در سطح اعتماد ۹۹ درصد

نتایج حاصل از کمبود بارش و افزایش دما با استفاده از SPEI در تمام زیرحوضه‌ها وضعیت خشکسالی خیلی شدید را نشان می‌دهد. بعنوان نمونه در حوضه‌ی میناب، در اکتبر ۲۰۱۸ SPEI وضعیت خیلی شدید (۶/۶۷-) را نشان می‌دهد، در همین تاریخ  $SMDI = -1/39$  (خشکسالی شدید) و  $1/07 -$   $SNDVI =$  (خشکسالی ملایم) را نشان می‌دهد. در حوضه‌ی غرب میناب نیز در اکتبر ۲۰۱۸ SPEI وضعیت خیلی شدید  $2/11 -$ ؛  $SMDI = -0/61$  (خشکسالی ملایم) و  $0/97 =$

### ۳-۳. مقایسه شاخص‌های SMDI و SPEI و SNDVI

#### در رخدادهای تاریخی خشکسالی

جدول ۵، رویدادهای تاریخی خشکسالی حاصل از ۳ شاخص را در زیرحوضه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. دو رویداد تاریخی طی سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ و ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ در مناطق مورد مطالعه تشخیص داده شد. مطالعه بذرافشان و همکاران (۱۳۹۵) و خسروی و همکاران (۱۳۹۱) نیز این رویداد تاریخی در بسیاری از نقاط ایران را تأیید می‌کند.

بخش شرقی استان هرمزگان به لحاظ خشک‌سالی کشاورزی آسیب پذیرتر از بخش غربی است. نتایج اژدری و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. عمدتاً این بخش از استان بدلیل کم‌بارشی نسبت به غرب استان همواره با کمبود آب در بخش کشاورزی مواجه است.

SNDVI (خشک‌سالی ملایم) را نشان می‌دهد. در سایر حوضه‌ها نیز کلاس‌های خشک‌سالی از SPEI به SMDI و SNDVI می‌یابد. که نشان‌دهنده پاسخ کند تغییرات رطوبت خاک و پوشش گیاهی به کاهش بارش است که با نتایج داس و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. شکل ۹، توزیع مکانی این تغییرات را در کل حوضه نشان می‌دهد. لذا بنظر می‌رسد

جدول ۵. رخداد‌های تاریخی در شاخص‌های مورد بررسی

وضعیت خشک‌سالی	NDVI	وضعیت	SMDI	وضعیت خشک‌سالی	SPEI	تاریخ	زیرحوضه	واقعه
متوسط	-۱/۰۷۰	متوسط	-۱/۳۹	خیلی شدید	-۶/۶۷	اکتبر ۲۰۱۸	میناب	۱
ملایم	-۰/۹۷	ملایم	-۰/۶۱	خیلی شدید	-۲/۱۱	جان ۲۰۱۷	غرب میناب	
ملایم	-۰/۷۳	نرمال	۰/۲۹	خیلی شدید	-۲/۵۰	نوامبر ۲۰۱۸	جنوب مهران	
نرمال	-۰/۴۷	نرمال	-۰/۴۷	خیلی شدید	-۴/۰۷	فوریه ۲۰۱۸	کل	
ملایم	-۰/۶۹	نرمال	-۰/۵	خیلی شدید	-۲/۵۴	نوامبر ۲۰۱۸	مهران	
متوسط	-۱/۱۳	متوسط	-۱/۰۷	خیلی شدید	-۲/۲۰	می ۲۰۱۸	غرب جگین	
نرمال	۰/۰۲	نرمال	-۰/۱۳	خیلی شدید	-۲/۵۱	جان ۲۰۱۱	میناب	۲
نرمال	۰/۳۳	نرمال	-۰/۴۶	متوسط	-۱/۱۱	آوریل ۲۰۱۰	غرب میناب	
ترسالی	۱/۴۳	ملایم	-۰/۵۳	خیلی شدید	-۶/۵۴	می ۲۰۱۰	جنوب مهران	
نرمال	-۰/۲۰	متوسط	-۱/۰۰	خیلی شدید	-۴/۹۳	جان ۲۰۱۱	کل	
نرمال	۰/۵۴	ملایم	-۰/۹۶	خیلی شدید	-۳/۴۵	می ۲۰۱۰	مهران	
نرمال	۰/۴۳	نرمال	-۰/۲۳	خیلی شدید	-۴/۲۴	آوریل ۲۰۱۱	غرب جگین	

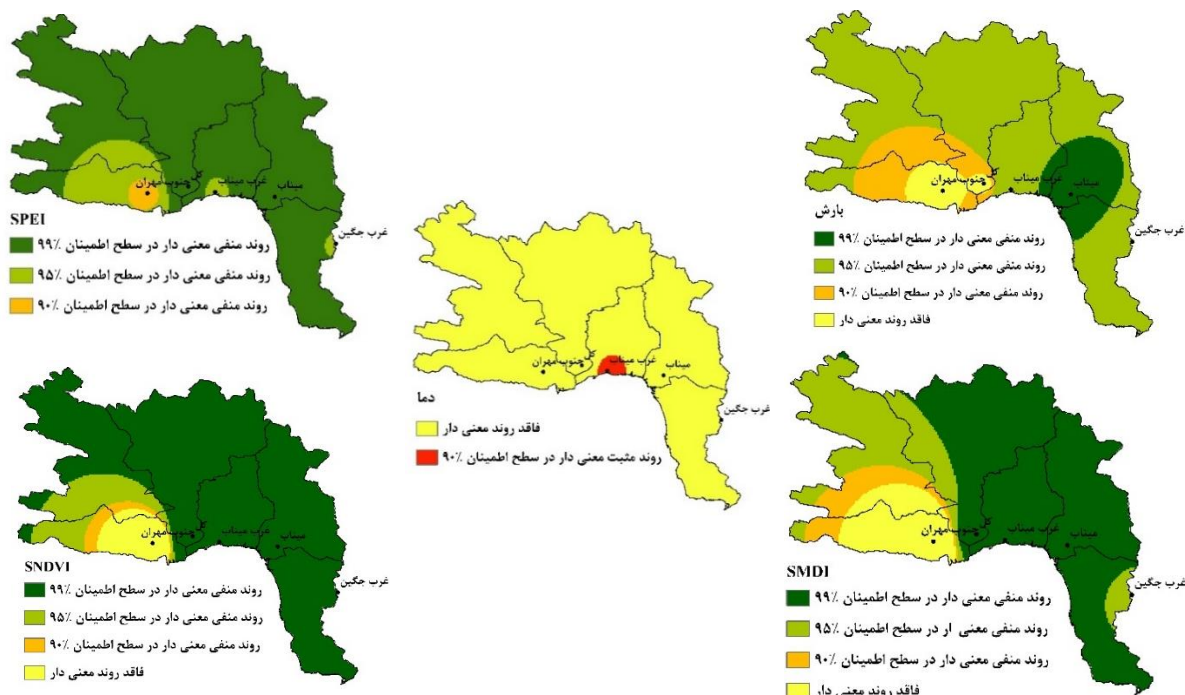


شکل ۹. تغییرات مکانی خشک‌سالی تاریخی سال ۲۰۱۸ در سه شاخص مورد بررسی

معنی که طی دوره‌ی مورد بررسی خشک‌سالی‌ها شدت یافته است و رو به افزایش است. دما نیز فاقد روند معنی‌دار است (بجز میناب که دارای روند افزایشی است)، اما مقادیر آماره‌ی من کندال مثبت برآورد گردید که نشان‌دهنده تمایل دمای سالانه به سمت افزایشی شدن است، در حالیکه در تمام زیرحوضه‌ها باران در حال کاهش است.

### ۳-۳- تحلیل روند متغیرهای مورد بررسی

جهت بررسی روند متغیرهای مورد بررسی، از آزمون من-کندال استفاده گردید. شکل ۱۰ تغییرات مکانی روند متغیرهای مورد بررسی را نشان می‌دهد. در تمام منطقه مورد بررسی، بارش دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹ درصد بوده (بجز جنوب مهران) و به تبع آن SPEI، SMDI و SNDVI نیز دارای روند کاهشی هستند. به این



شکل ۱۰. تغییرات مکانی روند متغیرهای مورد بررسی در حوضه آبخیز مورد مطالعه

#### ۴. نتیجه گیری و پیشنهادات

صورت گرفته نشان داد، با توجه به اینکه SPEI نیز در مقیاس‌های میان و بلندمدت مبین خشکسالی کشاورزی است، بین تغییرات رطوبت خاک و خشکسالی هواشناسی در مقیاس‌های بلندمدت همبستگی قابل اعتمادتری وجود دارد، بطوری که با افزایش مقیاس زمانی این همبستگی افزایش می‌یابد. شاید یکی دیگر از علل وجود همبستگی مناسب بین رطوبت خاک (SMDI) و خشکسالی کشاورزی (SPEI)، بزرگ بودن مقیاس مطالعه حاضر است.

نتایج حاصل از بررسی ارتباط بین SPEI و SMDI در زیرحوضه‌های شرقی در مقیاس‌های ۱۰ و ۹ و در حوضه‌های غربی در مقیاس ۱۱ و ۱۲ اتفاق افتاده است. به این معنی که در بخش‌های شرقی (زیرحوضه غرب جگین) رطوبت خاک زودتر به کاهش بارش واکنش نشان می‌دهد، که می‌تواند ناشی از کمبود رواناب زیرقشری در بخش غیراشباع خاک باشد.

نتایج بررسی مشخصه‌های خشکسالی نشان داد، SPEI شدت و بزرگی بیشتری از خشکسالی را در زمان تداوم کوتاه‌تر نسبت به SMDI نشان می‌دهد. این وضعیت می‌تواند

تحقیق حاضر با هدف پایش و ارزیابی تغییرات رطوبت خاک و پوشش گیاهی با استفاده از تکنیک دورسنجی و ارتباط آن با شاخص بارش - تبخیر تعرق استاندارد شده در حوضه آبخیز بندرسدیج و کل-مهران در استان هرمزگان صورت گرفته است. در این تحقیق از SPEI در مقیاس میان‌مدت و کوتاه مدت استفاده شد. این شاخص در مقیاس زمانی کوتاه مدت ۱ تا ۶ ماهه مبین تغییرات خشکسالی هواشناسی و با افزایش مقیاس زمانی بخوبی تغییرات رطوبت خاک را نشان می‌دهد (ویسنت سرانو و همکاران، ۲۰۰۹). لذا رطوبت خاک بر همین اساس طی مقیاس زمانی ذکر شده استاندارد شد تا داده‌های هم مقیاس مورد بررسی قرار گیرد. نتایج بسیاری از محققین مبنی بر اینست که این شاخص در مقیاس‌های زمانی بلندمدت تغییرات خشکسالی کشاورزی را منعکس می‌کند. بررسی تحقیقات نشان داد، در حوضه‌های آبخیز بزرگ، میزان همبستگی شاخص خشکسالی هواشناسی و رطوبت خاک در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک بسیار بهتر از عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر است. لذا بنظر می‌رسد این شاخص‌ها در مناطق با مساحت‌های زیاد، بسیار سازگارترند. همچنین بررسی‌های

از جمله پیشنهادهایی که در ادامه این تحقیق می‌توان ارائه کرد، بررسی اثر تغییرات اقلیم بر بارش، دما، رطوبت خاک و پوشش گیاهی و پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم و رطوبت خاک بر پوشش گیاهی با استفاده از مدل‌های آماری و مفهومی مانند شبکه‌عصبی مصنوعی است.

## ۵. منابع

۱. بایوردی، م؛ ۱۳۸۰، اصول مهندسی آبیاری، روابط آب و خاک، جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۷۰۹.
۲. جمالی، ب.، ج. احمدیان، ج. گل مکانی و س. تکتم، ۱۳۸۱، ضرورت پایش وضعیت رطوبت خاک در افزایش بهره‌وری آب کشاورزی، یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، صفحات ۳۹۰-۳۷۶.
۳. مظفری، الف.، الف. بذرافشان و ن. مرادی، ۱۳۹۹، تغییرات زمانی و مکانی خصوصیات خشکسالی هواشناسی در ایران تحت تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم، نشریه شماره ۱۶، پاییز و زمستان ۱۳۹۹، صفحات ۱۵۳ تا ۱۶۸.
4. Balint, Z., Mutua, F.M. & Muchiri, P. 2011. "Drought Monitoring with the Combined Drought Index". Journal of Methodology and Software. FAO-SWALIM Nairobi, Kenya: 1-28.
5. Balint, Z., Mutua, F., Muchiri, P., & Omuto, C. T. 2013. Monitoring drought with the combined drought index in Kenya. In *Developments in earth surface processes* (Vol. 16, pp. 341-356). Elsevier.
6. Chen, T., Xia, G., Liu, T., Chen, W., and Chi, D., 2020, Assessment of Drought Impact on Main cereal crops using a standardized Precipitation Evapotranspiration Index in Liaoning province, china, 8.1069.
7. Cohen, J. 1968. Weighted kappa: nominal scale agreement provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological bulletin*, 70(4), 213.
8. Javed, T., Li, Y., Rashid, S., Li, F., Hu, Q., Feng, H., ... & Pulatov, B. 2020. Performance and relationship of four different agricultural drought indices for drought monitoring in China's mainland

مربوط به حساسیت پایین تغییرات رطوبت خاک نسبت به تغییرات دما و بارش باشد. همانطور که می‌دانیم، خاک بدلیل بالابودن ضریب حرارتی نسبت به هوا، آهنگ تغییرات دمایی در آن کمتر رخ می‌دهد و این حالت با افزایش عمق خاک افزایش می‌یابد.

تغییرات روند SNDVI در اکثر زیرحوضه‌ها رو به کاهش و عبارتی کم شدن بود که این کاهش از سال ۲۰۱۲ شدت می‌یابد. که مهمترین دلیل آن در استان، ناشی از کمبود بارش و جریان‌های سطحی و زیرسطحی است.

بررسی ارتباط SNDVI با SPEI و SMDI نشان از ضریب همبستگی مناسب و معنی‌دار بین آنها دارد. این ضریب همبستگی با SMDI قابل توجه‌تر و در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه است. بالابودن ضریب همبستگی بین SNDVI یا SMDI نشان‌دهنده وابستگی بیشتر تغییرات پوشش گیاهی به تغییرات رطوبت خاک است تا تغییرات بارش. چرا که رطوبت خاک علاوه بر باران از منابع دیگری نیز در چرخه‌ی هیدرولوژی (شبنم، رواناب سطحی و زیرقشری) تامین می‌گردد.

تحلیل روند متغیرهای مورد بررسی، حاکی از افزایش روند انواع خشکسالی‌های مورد بررسی شامل کشاورزی، رطوبت و پوشش گیاهی است. این درحالیست که در منطقه بارش کاهش یافته و دما نیز روندی افزایشی (بی معنی از نظر آماری) را نشان می‌دهد.

در مجموع این تحقیق نشان داد، در حوضه آبخیز بندر-سدیج و کل مهران خشکسالی‌ها رو به افزایش است و این پدیده در آینده‌ای نه چندان دور، تحت تأثیر تغییر اقلیم، تغییرات تشدید کاربری اراضی، انتقال آب، فرونشست و کاهش سطح آب زیرزمینی، تشدید خواهد شد و سبب تخریب فراگیر منابع و خشکسالی اقتصادی اجتماعی و مهاجرت همه‌گیر رقم خواهد خورد. لذا مدیریتی بیش از پیش می‌تواند از ادامه این روند جلوگیری کند.

تحقیق حاضر کاربرد مناسبی در ارزیابی انواع خشکسالی و طراحی سیستم‌های هشدار خشکسالی سریع در حوضه‌های آبخیز بزرگ که به داده‌های زمینی دسترسی ندارد، خواهد داشت.



16. Zhe, Y., Tingwu, L., Qinghong, Y., Zhanpneg, C. & Yuequn, D. 2013. A near-infrared reflectance sensor for soil surface moisture measurement, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol, 99: 101-107.
17. Zuliqar, A., Ijaz, H., Muhammad, F., Hafiza, M. N., Mitwali, A. M., Tajammal, H. & Sadaf, S. 2017. A Novel Multi-Scalar Drought Index for Monitoring Drought: the Standardized Precipitation Temperature Index. *Water Resources Management* 31 (15), 4957- 4969.
18. Thenkabail, P.S, Gamage M.S.D.N. & Samakhtin, VU., 2002, Evaluation of narrow band and broadband vegetation indices for determining optimal hyperspectral wavebands for agricultural crop characterization, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 68: 607–621.
19. Azhdari, Z., Bazrafshan, O., Zamani, H., Shekari, M., & Singh, V. P. 2021. Hydro-meteorological drought risk assessment using linear and nonlinear multivariate methods. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 123, 103046.
20. Li, X., Li, Y., Chen, A., Gao, M., Slette, I. J., & Piao, S. 2019. The impact of the 2009/2010 drought on vegetation growth and terrestrial carbon balance in Southwest China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 269, 239-248.
21. Das, P. K., Chandra, S., Das, D. K., Midya, S. K., Paul, A., Bandyopadhyay, S., & Dadhwal, V. K. 2020. Understanding the interactions between meteorological and soil moisture drought over Indian region. *Journal of Earth System Science*, 129(1), 1-17.
22. Jin, S., & Feng, G. 2013. Large-scale variations of global groundwater from satellite gravimetry and hydrological models, 2002–2012. *Global and Planetary Change*, 106, 20-30.
23. Rodell, M., Houser, P. R., Jambor, U. E. A., Gottschalck, J., Mitchell, K., Meng, C. J., ... & Toll, D. 2004. The global land data assimilation system. *Bulletin of the American Meteorological society*, 85(3), 381-394.
9. Kassaye, A. Y., Shao, G., Wang, X., & Wu, S. 2020. Quantification of drought severity change in Ethiopia during 1952–2017. *Environment, Development and Sustainability*, 1-26.
10. Mbatha, N., & Xulu, S. 2018. Time series analysis of MODIS-Derived NDVI for the Hluhluwe-Imfolozi Park, South Africa: Impact of recent intense drought. *Climate*, 6(4), 95.
11. Safavi, H.R., Esfahani, M.K. & Zamani, A.R. 2014. Integrated Index for Assessment of Vulnerability to Drought, Case Study: Zayandehrood River Basin, Iran. *Water resources management* 28 (6), 1671-1688.
- Sheffield, J., Lobell, D.B. & Wood E. F. 2010. Global Drought Monitoring and Forecasting, based on Satellite Data and Land Surface Modeling, American Geophysical Union, Fall Meeting, abstract #H23B-1189.
12. Surendran, U., Kumar, V., Ramasubramoniam, S. & Raja, P. 2017. Development of Drought Indices for Semi-Arid Region Using Drought Indices Calculator (DrinC) – A Case Study from Madurai District, a Semi- Arid Region in India. *Water Resources Management* 31 (11), 3593-3605.
13. Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. 2010, A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7): 1696-1718.
14. Walker, J. P. & Houser, P.R. 2004. Requirements of a global near-surface soil moisture mission: accuracy, repeat time, and spatial resolution. *Advances in Water Resources*, 27, 785- 801.
15. Zhao, S., Yang, Y., Qiu, G., Qin, Q., Yao, Y., Xiong, Y. & Li. C. 2010. Remote detection of bare soil moisture using a surface-temperature-based soil evaporation transfer coefficient, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 12, Issue 5: 351–358.