



## مدل‌سازی، تحلیل و پیش‌بینی پدیده‌ی خشکسالی در ایران

بهروز سبحانی<sup>۱\*</sup>، لیلا جعفرزاده علی‌آباد<sup>۲</sup>، وحید صفریان زنگیر<sup>۳</sup>

۱- استاد گروه جغرافیای طبیعی، اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی، اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۱۴

وصول مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۱۱

### چکیده

پدیده‌ی خشکسالی مختص ناحیه‌ای خاص نبوده و مناطق مختلف جهان از آن متأثر می‌باشد، یکی از این مناطق، ایران در جنوب غرب آسیا می‌باشد که در چند سال اخیر از این پدیده رنج می‌برد. هدف پژوهش حاضر مدل‌سازی، تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی در ایران می‌باشد. برای این کار ابتدا پارامترهای اقلیمی: بارش، دما، ساعات آفتابی، حداقل رطوبت نسبی و سرعت باد در بازه‌ی زمانی ۲۹ ساله (۲۰۱۸-۱۹۹۰) در ۳۰ ایستگاه ایران مورد استفاده قرار گرفت. برای مدل‌سازی، شاخص فازی T.I.B.I ابتدا چهار شاخص (SET, SPI, SEB, MCZI) با استفاده از منطق فازی در نرم‌افزار Matlab فازی‌سازی شدند و در نهایت برای پیش‌بینی از مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی تطبیقی Anfis بهره گرفته شد. یافته‌های پژوهش نشان داد شاخص فازی نوین T.I.B.I طبقات خشکسالی، چهار شاخص مذکور را با دقت بالا در خود منعکس کرد. از بین ۵ پارامتر اقلیمی مورد استفاده در این پژوهش، پارامتر دما و بارش در نوسان شدت خشکسالی بیش‌ترین تأثیر را داشت. شدت خشکسالی براساس مدل‌سازی صورت گرفته در مقیاس ۶ ماهه بیش‌تر از ۱۲ ماهه بود، بیش‌ترین درصد رخداد خشکسالی در ایستگاه بندرعباس با مقدار (۲۴/۳۰) در مقیاس ۱۲ ماهه و کم‌ترین آن در ایستگاه شهرکرد با مقدار درصد فراوانی خشکسالی (۰/۳۶) درصد در مقیاس ۶ ماهه اتفاق افتاده است. پیش‌بینی خشکسالی شاخص فازی T.I.B.I بر اساس مدل Anfis ایستگاه‌های بندرعباس، بوشهر و زاهدان به ترتیب با مقدار شاخص T.I.B.I (۰/۶۲، ۰/۹۶ و ۰/۹۷) در نیمه جنوبی ایران بیش‌تر در معرض خشکسالی قرار گرفتند. براساس نتایج کلی پژوهش در هر دو مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه مناطق نیمه جنوبی ایران از شدت بیش‌تر خشکسالی برخوردار شد که نیازمند مدیریت دقیق و کارآمد در مدیریت منابع آبی در این مناطق می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** ارزیابی آماری، شاخص T.I.B.I، فازی‌سازی، خشکسالی، Anfis.

#### ۱- مقدمه

کمبود آب در بخش‌های مختلف زندگی موجودات زنده اثر می‌گذارد، کاهش بارش در سال‌های اخیر به شدت مؤثر از نوسانات اقلیمی بوده است. خشکسالی در مناطق خشک و نیمه خشک بیش‌تر نمایان می‌شوند. یکی از این مناطق کشور ایران در جنوب غرب آسیا می‌باشد که در دهه‌های اخیر با مخاطره‌ی طبیعی هم‌چون خشکسالی درگیر بوده است که مسائل و مشکلاتی در بخش‌های مختلف کشاورزی، اقتصاد، حوضه‌ی آبریز و ... در پی داشته است. بر همین اساس پرداختند به این موضوع در منطقه‌ی مورد مطالعه با روش دقیق و کارآمد ضروری و مهم می‌باشد. هم‌چنین خشکسالی یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی تأثیرگذار در بخش کشاورزی و منابع آب می‌باشد (شمس‌نیا و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۶۵). در سال‌های اخیر مناطق مختلف جهان، شاهد خشکسالی‌هایی با شدت بیش‌تری بوده‌اند (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۴: ۹۸). علاوه بر این خشکسالی پدیده‌ای طبیعی است که در همه شرایط اقلیمی و در تمام مناطق کره‌ی زمین به وقوع می‌پیوندد (صمدیان فرد و اسدی، ۱۳۹۶: ۲). هم‌چنین خشکسالی به عنوان یک پدیده اقلیمی به شدت بر همه‌ی جوانب فعالیت‌های بشری تأثیر می‌گذارد (زینالی و صفریان زنگیر، ۱۳۹۶: ۳۷). پژوهشگرانی دیگر داخلی و خارجی با استفاده از مدل‌های مختلف در زمینه‌ی خشکسالی تحقیق کرده‌اند از جمله: حدادی و حیدری (۱۳۹۴)، منتصری و امیرعطایی (۱۳۹۴)، سبحانی و همکاران (۱۳۹۴)، صلاحی و مجتبی‌پور (۱۳۹۵)، ذولفقاری و همکاران (۱۳۹۵)، دماوندی و همکاران (۱۳۹۵)، فنی و همکاران (۱۳۹۵)، علیزاده، (۱۳۹۶)، زینالی و همکاران، (۱۳۹۶)، علیزاده و همکاران (۱۳۹۶)، جعفری و همکاران (۱۳۹۶). فتحی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶)، پارسامهر و خسروانی (۱۳۹۶)؛ غلامعلی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۱)، هوانگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۶)، جان‌درمیان<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۵)، خشتکاری‌ثانی (۲۰۱۵)، تیموما<sup>۴</sup> و

1- Gholamali  
2- Huanga  
3- Jandarmian  
4- Touma

همکاران (۲۰۱۵)، جاین<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۵)، اسپینونی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۵)، سبحانی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۸)، صفریان‌زنگیر و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۹)، سبحانی و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۹a)، سبحانی و صفریان‌زنگیر<sup>۶</sup> (۲۰۱۹)، سبحانی و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۱۹b)، سبحانی و صفریان‌زنگیر<sup>۸</sup> (۲۰۲۰)، صفریان‌زنگیر و سبحانی<sup>۹</sup> (۲۰۲۰). کماسی و همکاران (۱۳۹۶: ۳۸) در مطالعه‌ای به پیش‌بینی خشکسالی با نمایه‌های SPI و EDI به روش مدل‌سازی ANFIS در استان کهگیلویه و بویراحمد پرداختند و به این نتیجه رسیدند که خوشه‌بندی باعث افزایش دقت مدل‌سازی در مرحله‌ی صحت‌سنجی و واسنجی شده است. بایزیدی (۱۳۹۷: ۲۷۸) به ارزیابی خشکسالی ایستگاه‌های سینوپتیک غرب کشور با استفاده از روش هرپست و مدل عصبی‌فازی تطبیقی پرداختند و به این نتیجه رسیدند ضریب تعیین و میزان خطا جز در ایستگاه‌های کرمانشاه، میانه و پیرانشهر مدل، عملکرد بهتری را نداشته است. ترابی‌پوده و همکاران (۱۳۹۷: ۱۸۰) به تخمین خشکسالی با استفاده از شبکه‌های هوشمند پرداختند و نشان دادند که استفاده از مدل شبکه‌ی عصبی موجک می‌تواند در زمینه تخمین خشکسالی مؤثر باشد. اختیاری‌خواجه و دین‌پژوه (۱۳۹۷: ۱۳۴) به کاربرد شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) برای بررسی دوره‌های خشکی اقدام نمودند و به این نتیجه رسیدند که سال‌های آبی ۱۳۸۶-۸۷، ۱۳۸۶-۸۷ و ۱۳۸۰-۸۱ به ترتیب برای ایستگاه‌های تبریز، بندر انزلی و زاهدان خشک‌ترین سال آبی در طول دوره‌ی آماری ۶۰ ساله می‌باشد. زلکی<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص خشکسالی پالمر (PDSI) و داده‌های ماهواره‌ای به بررسی خشکسالی در اتیوپی پرداخته‌اند. یافته‌های پژوهش آن‌ها نشان داد که دوره‌های خشکی و رطوبت مشاهده شده در شمال محدوده‌ی مورد

1- Jaun

2- Spinoni

3- Sobhani et al.,

4- Safarianzengir et al.,

5- Sobhani et al.,

6- Sobhani &amp; Safarianzengir

7- Sobhani et al.,

8- Sobhani &amp; Safarianzengir

9- Safarianzengir &amp; Sobhani

10- Zelki

مطالعه به‌طور عمده به تغییر انسو در فصل‌های بهار و تابستان بستگی دارد در حالی که روند خشک شدن در جنوب و جنوب غربی با گرمایش اطلس و دمای سطح آب در غرب اقیانوس آرام در ارتباط است. کوسادا<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعات خود به بررسی تغییرات هیدرولوژیک در جهت رویکردی سازگار برای ارزیابی تغییرات در سیل و خشکسالی پرداخته و به این نتیجه دست یافته‌اند که اغلب روش‌های مورد استفاده در تشخیص روندهای افراطی هیدرولوژیکی برای تشخیص روند مناسب نیست و نمی‌تواند در تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین آنان یک روش مبتنی بر نظریه‌ی اجرا و سطح آستانه پیشنهاد دادند. جینیوم<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۷) با هدف بررسی چگونگی مدل‌های آب و هوایی منطقه‌ای (RCMS) ویژگی‌های مشاهده شده‌ی خشکسالی را بر اساس شاخص تبخیر و تعرق استاندارد (SPEL) در آسیای میانه بررسی کردند و نتایج نشان داد که RCM ها در مناطق مرطوب دقیق ولی در مناطق خشک نادرست هستند و این مدل نمی‌تواند رویدادهای خشکسالی را برای مقیاس‌های فضایی بزرگ به دست آورند. مدرسی‌راد<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی غرب ایران پرداخته‌اند و نتایج به دست آمده نشان داده است که شاخص SPI قادر به نشان دادن دو ویژگی اصلی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی و نیز ارائه‌ی برآورد دقیق در دوره‌ی عود مجدد خشکسالی شدید است. کیس<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهش خود با استفاده از RCM شرایط خشک و مرطوب را تحلیل نموده و به این نتیجه رسیده‌اند که عدم اطمینان در پیش‌بینی‌های آب و هوایی وجود دارد با این حال طبق نتایج بررسی‌های آن‌ها احتمالاً در آینده، تابستان‌های خشک‌تر در بخش‌های جنوبی و وقوع بارش‌های شدیدتر در زمستان و پاییز را در مناطق شمالی محدوده‌ی مورد مطالعه رخ خواهد داد.

---

1 Quesada

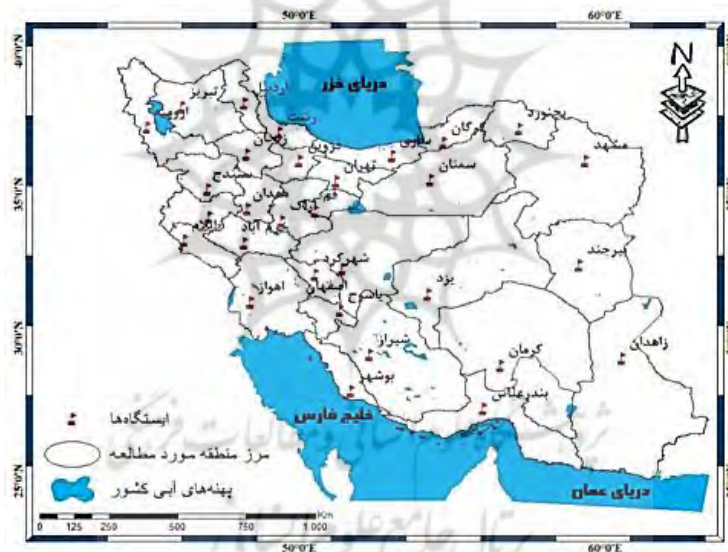
2 Jinum

3 Modaresi rad

4 Kisi

## ۲- مواد و روش

در پژوهش حاضر به مدل‌سازی، پایش و پیش‌بینی خشکسالی در ایران با استفاده از داده‌های اقلیمی بارش، دما، ساعات آفتابی، حداقل رطوبت نسبی و سرعت باد به صورت ماهانه و سالانه در (مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه) برای بازه‌ی زمانی ۲۹ ساله (۲۰۱۸-۱۹۹۰) در ۳۰ ایستگاه با استفاده از مدل‌سازی شاخص جدید به نام شاخص T.I.B.I<sup>۱</sup> معماری، فازی‌سازی شده از چهار شاخص (SEB<sup>۲</sup>, SPI<sup>۳</sup>, SET<sup>۴</sup>, MCZI<sup>۵</sup>) معتبر در سازمان هواشناسی جهانی استفاده شد. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در (شکل ۱) ارائه شد.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

Fig (1) Geographical location of the study area

- ۱- شاخص ترکیب یافته براساس چهار شاخص: شاخص تبخیر و تعرق استاندارد شده تورنت وایت، شاخص بارش استاندارد شده، شاخص تبخیر و تعرق استاندارد شده بلانی کریدل فائو و شاخص اصلاح شده CZI
- 2- Standardized EvapotranspirationTorrent White Index (شاخص تبخیر و تعرق استاندارد شده تورنت وایت)
- 3- Standardized Precipitation Index (شاخص بارش استاندارد شده)
- 4- Standardized Evapotranspiration Blanney Creedale FAO Index (شاخص تبخیر و تعرق استاندارد شده بلانی کریدل فائو)
- 5- Modified CZI Index (شاخص اصلاح شده CZI)

برای مدل سازی شاخص جدید T.I.B.I، ابتدا داده های اقلیمی نرمال سازی شدند، سپس چهار شاخص (SET, SPI, SEB, MCZI) جداگانه محاسبه و مدل سازی فازی چهار شاخص مذکور در محیط نرم افزار Matlab انجام شد. شاخص فازی (T.I.B.I) برای رفع قسمتی از معایب شاخص SPEI ارائه شده است. شاخص T.I.B.I از تلفیق شاخص های (SET, SPI, SEB, MCZI) حاصل شد، این شاخص نتیجه ی معماری مدل سازی فازی پایش خشکسالی است که با استفاده از منطق فازی در یک سیستم استنتاج فازی طراحی شد. نحوه طراحی این مدل و تعیین شاخص T.I.B.I در ادامه شرح داده شد (شکل ۲).



شکل (۲) مدل سازی شاخص فازی T.I.B.I برای پایش خشکسالی  
Fig (2) Modeling the T.I.B.I fuzzy index for drought monitoring

بعد از تعیین ساختار مدل فازی، برنامه رایانه ای مربوط به محیط نرم افزار Matlab طراحی شد و با استفاده از این برنامه فایل های ورودی یعنی مقادیر شاخص های (SET, SPI, SEB, MCZI) خوانده شده و مقادیر T.I.B.I در فایل خروجی ارائه گردید.

#### تعیین قواعد جهت تلفیق شاخص های (SET, SPI, SEB, MCZI)

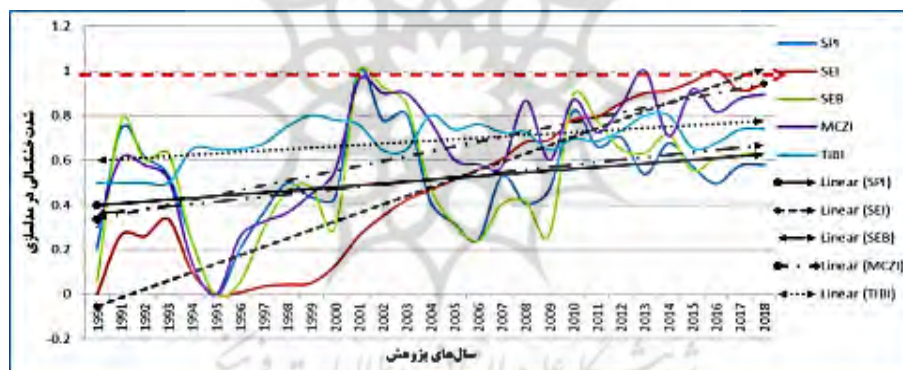
طبقات مختلف شاخص های (SET, SPI, SEB, MCZI) بر پایه قواعد یا همان ترکیبی از گزاره های شرطی در قالب اگر، که به یک طبقه از شاخص T.I.B.I در قالب آنگاه منتهی می شود، تعریف شد. این قاعده فقط یک ترکیب از حالت های مختلف شاخص های (SET, SPI, SEB, MCZI) را که به شاخص T.I.B.I منتهی می شوند، نشان داده شد. در همین راستا، به تناسب صورت مختلف ترکیبی می توان قواعد متوالی را نوشته و در پایگاه دانش ذخیره کرد. با توجه به این که در خروجی حاصل از برآیند ترکیب، شاخص های (SET, SPI, SEB, MCZI) را که به شاخص T.I.B.I منتهی می شوند، نشان داده شد. در همین راستا، به تناسب صورت مختلف ترکیبی می توان قواعد متوالی را نوشته و در پایگاه دانش ذخیره کرد. با توجه به این که در خروجی حاصل از برآیند ترکیب، شاخص های (SET, SPI, SEB, MCZI) را که به شاخص T.I.B.I منتهی می شوند، نشان داده شد. در همین راستا، به تناسب صورت مختلف ترکیبی می توان قواعد متوالی را نوشته و در پایگاه دانش ذخیره کرد.

در تعیین وضعیت T.I.B.I دخالت داده شد. پس از این که مدل‌سازی شاخص فازی T.I.B.I به طریق بیان شده به دست آمد، نحوه‌ی تأثیر پارامترهای اقلیمی در خشکسالی ایستگاه‌های مورد مطالعه، بررسی شد. سپس به پایش خشکسالی پرداخته شد. در پایش خشکسالی بر اساس شاخص T.I.B.I، روند، شدت تداوم و درصد فراوانی وقوع خشکسالی را مورد بررسی قرار گرفت و روند شاخص‌های مورد بررسی با روش روند خطی تعیین شد. برای به دست آوردن درصد فراوانی وقوع خشکسالی در طبقات مختلف، از رابطه‌ی Frequency استفاده شد. در نهایت برای پیش‌بینی شاخص فازی T.I.B.I از مدل شبکه‌ی عصبی<sup>۱</sup> ANFIS استفاده شد. در این مرحله امکان مدل‌سازی و پیش‌بینی شاخص خشکسالی T.I.B.I در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل شبکه‌ی عصبی-فازی تطبیقی Anfis بررسی شد. در این پژوهش شاخص T.I.B.I به صورت سری زمانی به طول ۲۷۶ ماه (۲۳×۱۲=۲۷۶) در مدل شبکه‌ی عصبی Anfis در هر کدام از ایستگاه‌ها در نظر گرفته شده است.

### ۳- بحث و نتایج

- پایش نوسانات خشکسالی براساس چهار شاخص تلفیق شده در مدل T.I.B.I برای بررسی نحوه‌ی تأثیر نوسانات خشکسالی شاخص‌ها در شرایط خشکسالی ایستگاه‌های، می‌توان میزان تغییراتی را که در شاخص‌های (SET, SPI, SEB, MCZI) حاصل شده و در شاخص T.I.B.I نمود پیدا کرده است، مورد تحلیل قرار داد. با توجه به این که تعداد ایستگاه‌های مورد مطالعه زیاد بودند، برای تفهیم بهتر، فقط نمودار سری خشکسالی، ایستگاه بجنورد در دو مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه در (شکل‌های ۳ و ۴) ارائه شدند، (در شکل‌های مذکور خط فلش قرمز رنگ مقطع مرز خشکسالی در مقیاس ۶ ماهه با مقدار ۰/۷۴ و بیش‌تر را نشان می‌دهد و در مقیاس ۱۲ ماهه با مقدار ۰/۷۶ و بیش‌تر را نشان می‌دهد). بررسی این اشکال نشان می‌دهد که در ایستگاه بجنورد در مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه مقدار تبخیر و تعرق مشابه هم در زمان رخداد خشکسالی بوده یعنی مقدار آن از ماه آوریل سال ۱۹۹۴ تا فوریه

سال ۱۹۹۹ سیر نزولی داشته است و بعد از این ماه شکل افزایشی را به خود گرفته است، در صورتی که تأثیر بارندگی در مقیاس ۶ ماهه ضعیف‌تر از مقیاس ۱۲ ماهه می‌باشد. یعنی از ماه مه سال ۱۹۹۳ تا نوامبر سال ۱۹۹۷ روند افزایشی به خود گرفته و بعد از آن شکل یکسانی را می‌پیماید. و شاخص‌های (SET, SPI, SEB, MCZI) بر روی شاخص T.I.B.I تأثیر گذاشته و تا حدودی یک روند را نشان می‌دهند و نشان‌گر این است شاخص فازی جدید T.I.B.I چهار شاخص مذکور را به خوبی در خود منعکس کرده است و مقیاس طبقات خشکسالی آن در (جدول ۱) ارائه شد. شاخص T.I.B.I در مقیاس ۶ ماهه شکل تندتری را نسبت به مقیاس ۱۲ نشان می‌دهد.

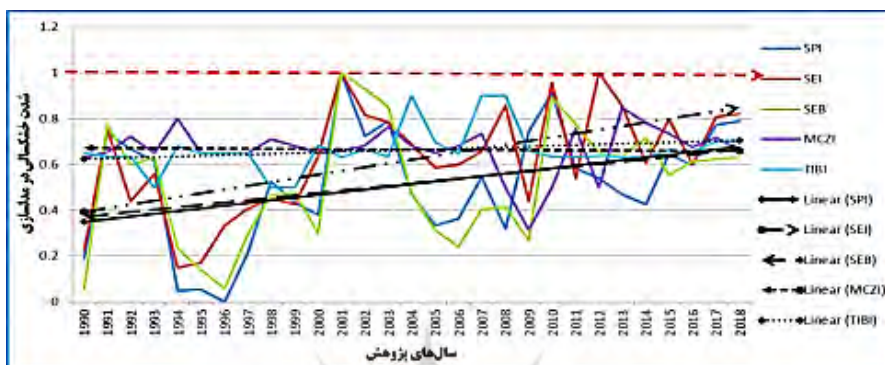


شکل (۳) نمودار نوسان شاخص‌ها در ایستگاه بجنورد در مقیاس ۶ ماهه، در دوره آماری (۱۹۹۰-۲۰۱۸)

Fig (3) Indicator Fluctuation Chart at Bojnourd Station at 6 Month Scale, in Statistical Period (1990-2018)

با توجه به نتایج به دست آمده از درصد فراوانی خشکسالی‌ها در مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه، مجموع درصد فراوانی خشکسالی‌ها در مقیاس ۱۲ ماهه بیش‌تر از ۶ ماهه می‌باشد اما شدت خشکسالی در مقیاس ۶ ماهه بیش‌تر از ۱۲ ماهه است. در منطقه‌ی مورد مطالعه در مقیاس ۶ ماهه، شدت خشکسالی در منطقه‌ی جنوب، غرب و مرکز ایران بیش‌تر نمایان شد.





شکل (۴) نمودار نوسان شاخص‌ها در ایستگاه بجنورد در مقیاس ۱۲ ماهه، در دوره‌ی آماری (۱۹۹۰-۲۰۱۸)  
 Fig (4) Indicator Fluctuation Chart at Bojnourd Station at 12 Month Scale, in Statistical Period (1990-2018)

جدول (۱) طبقه‌بندی شدت خشکسالی و ترسالی بر اساس مدل‌سازی فازی شاخص T.I.B.I

Tab (1) Classification of Drought and Wet Intensity Based on Fuzzy Modeling of T.I.B.I Index

مقادیر شاخص T.I.B.I	طبقات خشکسالی
۰/۹۶ - ۱	خشکسالی خیلی شدید
۰/۸۷ - ۰/۹۶	خشکسالی شدید
۰/۷۴ - ۰/۸۷	خشکسالی متوسط
۰/۵۹ - ۰/۷۴	خشکسالی ملایم
۰/۴۴ - ۰/۵۹	نرمال
۰/۲۹ - ۰/۴۴	ترسالی ملایم
۰/۱۵ - ۰/۲۹	ترسالی متوسط
۰/۰۶ - ۰/۱۵	ترسالی شدید
۰ - ۰/۰۶	ترسالی خیلی شدید

ایستگاه‌های بندرعباس، بوشهر در جنوب و اهواز در جنوب غرب و زاهدان در جنوب شرق منطقه مورد پژوهش به ترتیب با درصد فراوانی خشکسالی (۱۶/۶۲، ۱۱/۲۴، ۱۴/۱۳ و ۶/۶۲) بیش‌ترین درصدها را به خود اختصاص دادند. ایستگاه‌های با درصد فراوانی شدت

خشکسالی کم‌تر، بیش‌تر در بخش‌های شمال‌غرب، شمال و غرب منطقه‌ی مورد مطالعه قرار گرفتند که ایستگاه‌های ارومیه و اردبیل در شمال غرب ایران به ترتیب با مقدار درصد فراوانی (۱/۱۰ و ۱/۸۸)، ایلام و یاسوج با درصد فراوانی شد خشکسالی (۱/۶۱ و ۲/۰۱) در غرب ایران، رشت و گرگان با مقدار شدت درصد فراوانی خشکسالی (۱/۲۶ و ۰/۸۷) در شمال منطقه مورد مطالعه را شامل شدند، (جدول ۲) و (شکل ۵). در مقیاس ۱۲ ماهه مناطق نیمه جنوبی ایران طبق مدل مورد استفاده بیش‌تر در معرض خشکسالی قرار گرفت. ایستگاه‌های بندرعباس و بوشهر در جنوب منطقه‌ی مورد مطالعه به ترتیب با مقدار درصد فراوانی خشکسالی (۲۴/۳۰ و ۱۴/۸۳)، اهواز با مقدار شدت خشکسالی (۱۸/۴۷) در جنوب غرب منطقه مورد مطالعه، کرمان با مقدار ۶/۷۴ درصد فراوانی خشکسالی در جنوب شرق ایران، بیش‌ترین درصد فراوانی خشکسالی در مقیاس ۱۲ ماهه را شامل شدند. اما ایستگاه‌های بیرجند (۱/۷۰)، بجنورد (۳/۶۶) در شمال شرق؛ ارومیه (۱/۱۷)، تبریز (۲/۶۶) در شمال غرب ایران، رشت (۰/۵۸)، ساری (۰/۷۸) در شمال ایران کم‌ترین مقدار درصد فراوانی خشکسالی را در مقیاس ۱۲ ماهه به خود اختصاص دادند (جدول ۳) و (شکل ۶).

جدول (۲) درصد فراوانی وقوع خشکسالی در طبقات مختلف در مقیاس زمانی ۶ ماهه، در دوره‌ی آماری (۱۹۹۰-۲۰۱۸)

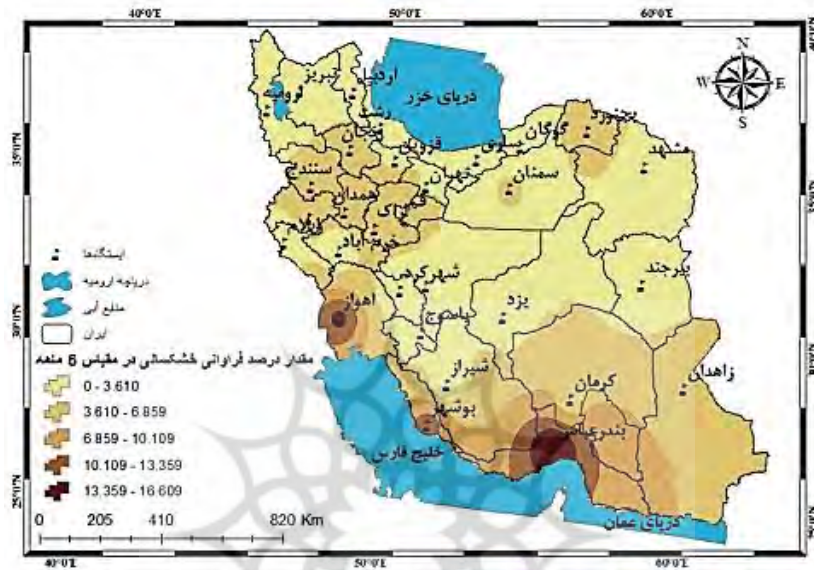
Tab (2) Percentage of Drought Occurrence in Different Classes at 6-Month Time Scale in Statistical Period (1990-2018)

ردیف	نام ایستگاه‌ها	خشکسالی خیلی شدید	خشکسالی شدید	خشکسالی متوسط	خشکسالی ملایم	نرمال	مجموع
۱	ارومیه	۰/۱۳	۰/۸۲	۰/۱۵	۱/۱۹	۰/۰۳	۱/۱۰
۲	تبریز	۰/۰۷	۱/۰۹	۱/۰۴	۰/۴۷	۱/۴۱	۲/۲۰
۳	اردبیل	۰/۰۹	۰/۵۸	۱/۲۱	۰/۳۶	۳/۲۵	۱/۸۸
۴	اصفهان	۰/۴۷	۰/۱۹	۰/۲۶	۱/۲۵	۰/۵۶	۰/۹۲
۵	ایلام	۰	۰/۱۱	۱/۵	۰/۰۸	۱/۶۴	۱/۶۱
۶	بوشهر	۰/۵۹	۶/۱۱	۴/۵۴	۷/۹۸	۳/۹۹	۱۱/۲۴
۷	تهران	۰/۰۲	۲/۲۳	۱/۳	۲/۴۱	۱/۷۴	۳/۵۵
۸	شهرکرد	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۲۳	۱/۵۴	۱/۲۱	۰/۳۶

## ادامه جدول (۲)

## Continue Tab (2)

۰/۴۷	۲/۳۴	۳/۸۷	۰/۴۵	۰/۰۲	۰	بیرجند	۹
۲/۶۸	۱/۴	۴/۴۱	۱	۱/۵۷	۰/۱۱	مشهد	۱۰
۵/۲۵	۱/۵	۱/۱۵	۳/۰۹	۲/۱۲	۰/۰۴	بجنورد	۱۱
۱۴/۱۳	۴/۵۴	۹/۱۲	۶/۴۷	۷/۱۵	۰/۵۱	اهواز	۱۲
۶/۰۴	۱/۱۸	۴/۱۲	۲/۷۴	۳/۳	۰	زنجان	۱۳
۴/۰۸	۲/۱۴	۵/۱۸	۳/۱۳	۰/۹۵	۰	سمنان	۱۴
۶/۶۲	۱/۴۴	۳/۱۹	۱/۴۸	۵/۱۰	۰/۰۴	زاهدان	۱۵
۱/۸۷	۱/۱۰	۴/۷۱	۱/۰۹	۰/۶۴	۰/۱۴	شیراز	۱۶
۳/۵۶	۲	۲/۲۳	۲/۱۱	۱/۴۵	۰	قزوین	۱۷
۶/۱۰	۱/۴۵	۱/۱۷	۱/۲۳	۴/۸۷	۰	قم	۱۸
۵/۴۸	۲/۳۶	۲/۰۹	۱/۸۵	۳/۵۸	۰/۰۵	سنندج	۱۹
۵/۷۹	۱/۳۱	۳/۰۷	۳/۸۷	۱/۸۹	۰/۰۳	کرمان	۲۰
۴/۱۰	۰/۶۴	۴/۴۸	۱/۲۵	۲/۸۵	۰	کرمانشاه	۲۱
۲/۰۱	۱/۴۱	۱	۱/۶۵	۰/۲۶	۰/۱۰	یاسوج	۲۲
۰/۸۷	۱/۴۱	۱/۴۳	۰/۱۲	۰/۷۵	۰	گرگان	۲۳
۱/۲۶	۰/۷۴	۳/۷۴	۰/۱۲	۱/۱۴	۰	رشت	۲۴
۱/۵۲	۰/۵۴	۲/۲۸	۱/۳۱	۰/۱۲	۰/۰۹	خرم‌آباد	۲۵
۱/۷۱	۰/۱۴	۲/۷۴	۱/۰۸	۰/۴۵	۰/۱۸	ساری	۲۶
۵/۱۵	۱/۴۷	۱/۶۸	۲/۷۴	۲/۱۸	۰/۲۳	اراک	۲۷
۱۶/۶۲	۵/۱۸	۱۲/۵۸	۸/۰۷	۸/۱۹	۰/۳۶	بندرعباس	۲۸
۳/۹۳	۰/۳۲	۱/۱۰	۳/۸۵	۰/۰۸	۰	همدان	۲۹
۲/۱۶	۰/۸۷	۳/۸۶	۱/۳۵	۰/۷۹	۰/۰۲	یزد	۳۰



شکل (۵) پهنه‌بندی درصد فراوانی وقوع خشکسالی ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقیاس ۶ ماهه، در دوره آماری (۱۹۹۰-۲۰۱۸)

Fig (5) Zoning of Drought Frequency Percentage Frequency at the 6-Month Scale in the Statistical Period (1990-2018)

جدول (۳) درصد فراوانی وقوع خشکسالی در طبقات مختلف در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه، در دوره آماری (۱۹۹۰-۲۰۱۸)

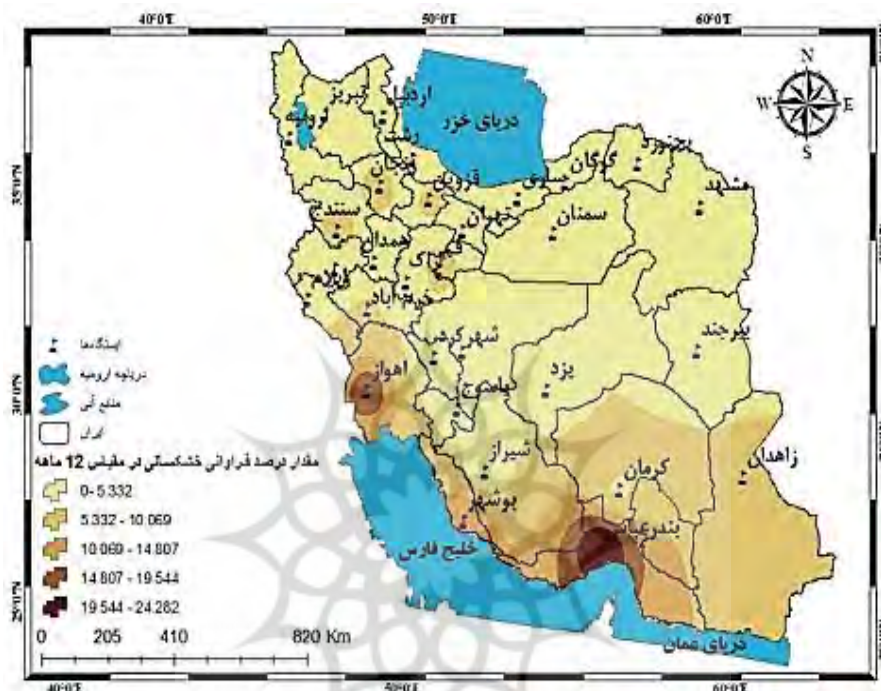
Table (3) Percentage of Drought Occurrence in Different Classes at 12-Month Time Scale in Statistical Period (1990-2018)

ردیف	نام ایستگاه‌ها	خشکسالی			مجموع
		خیلی شدید	شدید	متوسط	
۱	ارومیه	۰/۱۴	۰/۹۱	۰/۱۲	۱/۱۷
۲	تبریز	۰/۰۹	۰/۴۱	۲/۱۶	۲/۶۶
۳	اردبیل	۰/۰۱۱	۰/۴۹	۲/۲۸	۲/۷۸۱
۴	اصفهان	۰/۳۹	۰/۹۹	۰/۴۸	۱/۸۶
۵	ایلام	۰/۱۰	۰/۳۹	۲/۶۹	۳/۱۸
۶	بوشهر	۱/۳۵	۷/۷۹	۵/۶۹	۱۴/۸۳

## ادامه جدول (۳)

## Continue Tab (3)

۴/۵۷	۳/۸۴	۳/۱۲	۲/۷۸	۱/۶۳	۰/۱۶	تهران	۷
۱/۶۳	۲/۸۴	۱/۷۸	۰/۴۷	۰/۹۸	۰/۱۸	شهرکرد	۸
۱/۷۰	۲/۸۹	۱/۸۱	۰/۸۷	۰/۷۹	۰/۰۴	بیرجند	۹
۴/۷۵	۴/۴۹	۳/۵۱	۲/۰۱	۲/۶۱	۰/۱۳	مشهد	۱۰
۳/۶۶	۲/۶۹	۲/۳۹	۲/۱۴	۱/۴۹	۰/۰۳	بجنورد	۱۱
۱۸/۴۷	۱۰/۹۶	۱۰/۶۶	۷/۱۴	۹/۸۹	۱/۴۴	اهواز	۱۲
۶/۶۵	۵/۹۸	۵/۴۱	۳/۸۹	۲/۷۶	۰	زنجان	۱۳
۳/۷۸	۳/۴۷	۴/۱۳	۲/۹۳	۰/۸۴	۰/۰۱	سمنان	۱۴
۵/۸۸	۳/۸۱	۲/۷۹	۲/۵۶	۳/۰۸	۰/۲۴	زاهدان	۱۵
۲/۴۷	۲/۵۸	۲/۴۹	۱/۷۴	۰/۴۴	۰/۲۹	شیراز	۱۶
۵/۸۷	۱/۷۸	۴/۶۹	۳/۳۶	۲/۳۸	۰/۱۳	قزوین	۱۷
۶/۵۶	۳/۸۴	۲/۹۶	۲/۷۶	۳/۷۹	۰/۰۱	قم	۱۸
۶/۲۳	۴/۸۷	۳/۸۵	۳/۶۹	۲/۴۵	۰/۰۹	سنندج	۱۹
۶/۷۴	۲/۹۸	۲/۵۱	۱/۶۹	۴/۶۳	۰/۶۹	کرمان	۲۰
۴/۸۸	۱/۸۷	۴/۰۴	۳/۱۳	۱/۷۱	۰/۰۴	کرمانشاه	۲۱
۴/۸۰	۲/۹۶	۳/۳۶	۲/۲۸	۲/۳۷	۰/۱۵	یاسوج	۲۲
۱/۱۰	۲/۵۷	۱/۳۶	۰/۲۹	۰/۸۱	۰	گرگان	۲۳
۰/۵۸	۱/۶۸	۱/۷۱	۰/۴۹	۰/۰۹	۰	رشت	۲۴
۵/۴۹	۱/۴۱	۳/۳۶	۲/۵۶	۰/۹۹	۱/۹۴	خرم‌آباد	۲۵
۰/۷۹	۳/۸۹	۱/۱۴	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۸۵	ساری	۲۶
۳/۲۶	۳/۵۲	۲/۱۴	۱/۹۸	۱/۱۱	۰/۱۷	اراک	۲۷
۲۴/۳۰	۱۴/۴۶	۱۳/۱۹	۱۰/۴۲	۱۱/۸۹	۱/۹۹	بندرعباس	۲۸
۲/۸۳	۰/۷۶	۲/۸۱	۲/۷۴	۰/۰۹	۰	همدان	۲۹
۳/۰۶	۰/۹۸	۲/۹۱	۲/۵۱	۰/۴۷	۰/۰۸	یزد	۳۰



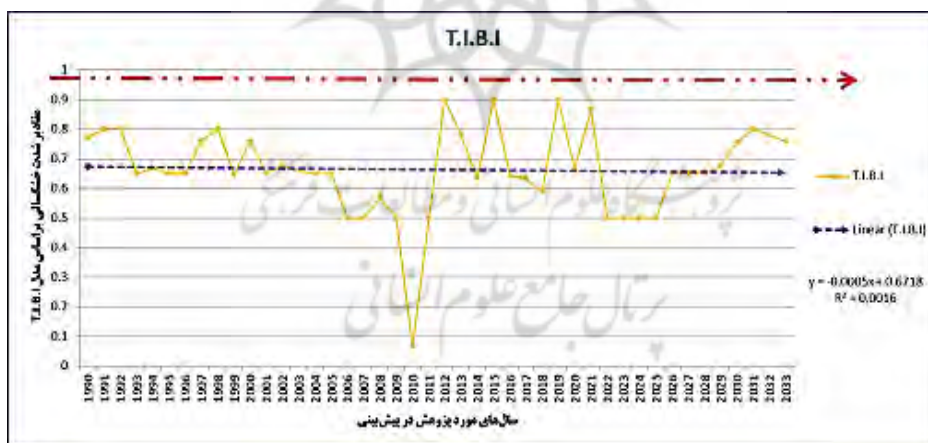
شکل (۶) پهنه‌بندی درصد فراوانی وقوع خشکسالی ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقیاس ۱۲ ماهه، در دوره‌ی آماری (۱۹۹۰-۲۰۱۸)

Fig (6) Zoning of Drought Frequency Percentage Frequency at the 12-Month Scale in the Statistical Period (1990-2018)

با توجه به تعریفی که از خشکسالی بر اساس شاخص T.I.B.I ارائه شد، مقادیر ۰/۷۴ و بالاتر یا از طبقه‌ی خشکسالی ملایم به بالاتر به عنوان شرایط خشک مطرح می‌شود. بر این اساس، در مدل‌سازی شاخص جدید فازی T.I.B.I، شدت خشکسالی در مقیاس ۶ ماهه بیش‌تر از مقیاس ۱۲ ماهه بود. براساس یافته‌های مطالعه حاضر، شدت خشکسالی سالانه در مقیاس ۶ ماهه از سال ۱۹۹۴ شروع شده و در مقیاس ۱۲ ماهه از سال ۱۹۹۶ به صورت خفیف آغاز شده و به صورت صعودی ادامه پیدا کرده است.

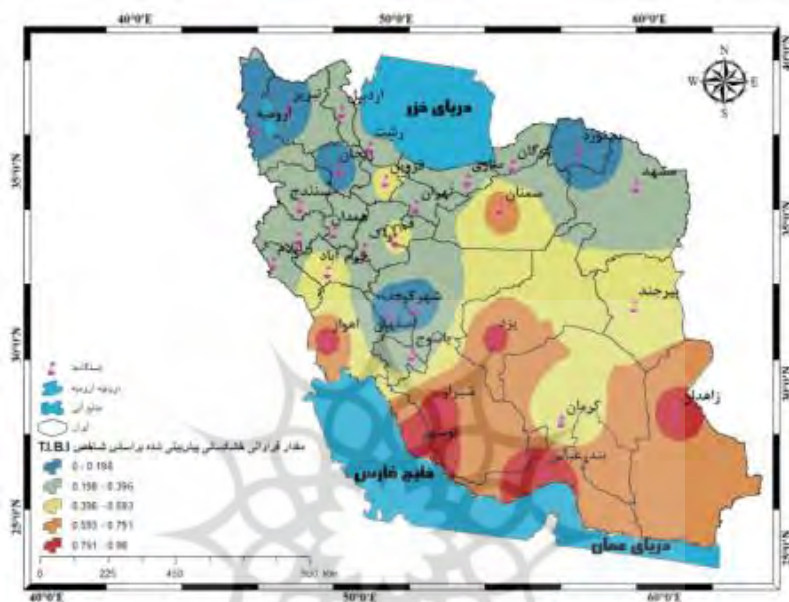
## - پیش‌بینی خشکسالی براساس مدل ANFIS

بعد از مدل‌سازی شاخص‌های خشکسالی و اطمینان‌سنجی، شاخص T.I.B.I برای ۱۶ سال آینده با استفاده از مدل شبکه‌ی عصبی تطبیقی Anfis پیش‌بینی شدند. بعد از صحت‌سنجی اعتبار مدل‌های شبکه‌ی عصبی در مدل‌سازی، مدل شبکه عصبی Anfis دقت بیشتری را برای پیش‌بینی پدیده‌ی خشکسالی نشان داد. داده‌های شاخص خشکسالی T.I.B.I، برای بازه زمانی (۲۰۱۹-۲۰۳۳) پیش‌بینی شد. براساس نتایج به دست آمده از پیش‌بینی‌ها ایستگاه‌های بندرعباس، بوشهر و زاهدان به ترتیب با مقدار شاخص T.I.B.I (۰/۶۲، ۰/۹۶ و ۰/۹۷) در مناطق جنوبی ایران بیشتر در معرض خشکسالی برای سال‌های آتی قرار گرفتند اما ایستگاه‌های ارومیه، تبریز و شهرکرد به ترتیب با مقدار شاخص خشکسالی T.I.B.I (۰/۱۷، ۰/۱۵ و ۰/۱۲) کم‌ترین مقدار خشکسالی براساس شاخص T.I.B.I را به خود اختصاص دادند. (شکل‌های ۷ و ۸).



شکل (۷) نمودار شبیه‌سازی خشکسالی براساس مدل T.I.B.I در ایستگاه بجنورد برای دوره‌ی آماری (۲۰۱۹-۲۰۳۳)

Fig (7) Drought Simulation Graph Based on T.I.B.I Model at Bojnourd Station for Statistical Period (2019-2033)



شکل (۸) به‌نه‌بندی خشکسالی در سال‌های شبیه‌سازی شده براساس مدل T.I.B.I در دوره‌ی آماری (۲۰۱۹-۲۰۳۳)

Fig (8) Drought zoning in simulated years based on T.I.B.I model in the statistical period (2019-2033)

#### ۴- نتیجه‌گیری

خشکسالی از جمله بلاای طبیعی می‌باشد که به صورت تدریجی و تحت تأثیر ناهنجاری‌های عناصر اقلیمی در بازه زمانی بلندمدت به وجود می‌آید. در سال‌های اخیر بخش‌های مختلف جنوب غرب آسیا از جمله ایران با خشکسالی روبه‌رو شده است. در این پژوهش پدیده خشکسالی در دو مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه با استفاده از شاخص نوین فازی T.I.B.I اقدام شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که مجموع درصد فراوانی خشکسالی‌ها در مقیاس ۱۲ ماهه بیش‌تر از ۶ ماهه می‌باشد اما شدت خشکسالی در مقیاس ۶ ماهه بیش‌تر از ۱۲ ماهه است. در مقیاس ۱۲ ماهه تعداد تکرار خشکسالی بیش‌تر از ۶ ماهه می‌باشد. تداوم خشکسالی در مقیاس ۱۲ ماهه بیش‌تر می‌باشد، خشکسالی در مقیاس زمانی کوتاه



مدت تداوم کم‌تری داشته و تحت تأثیر پارامتر دما بودند. در حالی که شدت خشکسالی در دوره‌های زمانی طولانی مدت عکس‌العمل کندتری را نسبت به تغییرات بارندگی داشت. بیش‌ترین درصد فراوانی وقوع خشکسالی در مقیاس ۶ ماهه؛ ایستگاه‌های بندرعباس، بوشهر، اهواز و زاهدان در نیمه جنوبی منطقه مورد پژوهش به ترتیب با درصد فراوانی خشکسالی (۱۶/۶۲، ۱۱/۲۴، ۱۴/۱۳ و ۶/۶۲) و کم‌ترین آن در مقیاس ۶ ماهه؛ ایستگاه‌های ارومیه، اردبیل به ترتیب با مقدار درصد فراوانی (۱/۱۰ و ۱/۸۸)، ایلام و یاسوج با درصد فراوانی خشکسالی (۱/۶۱ و ۲/۰۱)، رشت و گرگان با مقدار شدت درصد فراوانی خشکسالی (۱/۲۶ و ۰/۸۷) در نیمه شمالی و غربی ایران را شامل شد. بیش‌ترین درصد فراوانی وقوع خشکسالی در مقیاس ۱۲ ماهه؛ در ایستگاه‌های بندرعباس و بوشهر به ترتیب با مقدار درصد فراوانی خشکسالی (۲۴/۳۰ و ۱۴/۸۳)، اهواز با مقدار شدت خشکسالی (۱۸/۴۷)، کرمان با مقدار ۶/۷۴ درصد فراوانی خشکسالی در نیمه جنوبی و جنوب غرب ایران و کم‌ترین آن در مقیاس ۶ ماهه؛ در ایستگاه‌های بیرجند (۱/۷۰)، بجنورد (۳/۶۶)، ارومیه (۱/۱۷)، تبریز (۲/۶۶) در شمال غرب ایران، رشت (۰/۵۸)، ساری (۰/۷۸) در نیمه شمالی ایران قرار گرفتند. نتیجه پیش‌بینی خشکسالی نیز براساس مدل شبکه‌ی عصبی تطبیقی Anfis بیان‌گر این است که ایستگاه‌های بندرعباس، بوشهر و زاهدان به ترتیب با مقدار شاخص T.I.B.I (۰/۶۲، ۰/۹۶ و ۰/۹۷) در مناطق جنوبی ایران بیشتر در معرض خشکسالی برای سال‌های آتی قرار گرفتند.

## ۵- منابع

### -Reference

- Aktiarkajhe, SH., Denpoxi, Y. (2018). Application of Effective Drought Index (EDI) for studying dry periods (Tabriz, Bandar Anzali and Zahedan stations), *Irrigation Science and Engineering*, 41(1): 133-145.
- Alizadeh, SH., Mohammadi, H., Kordvani, P. (2017). Modeling the Dispersion of Drought Caused by Climate Change in Iran Using Dynamic System, *Land Expansion*, 9(1): 169-188. [In Persian].
- Bayazidi, M. (2018). Drought Evaluation of Synoptic Stations in the West of Iran Using the Hirbst Method and Adaptive Neuro-Fuzzy Model, *Iranian Water Resources Research*, 14(1): 278-284. [In Persian].
- Damourandi, A., Rahimi, M., Yazdani, M., Noroozi, A. (2016). Field monitoring of agricultural drought through time series of NDVI and LST indicators, MODIS data (case study: Central Kerman province), *Journal of Environmental Spatial Analysis*, 2(3): 115-126. [In Persian].
- Fani, Z., Khalilalahi, H., Sajjadi, J., Falsleman, M. (2016). Analysis of the causes and consequences of drought in South Khorasan Province and Birjand, *Seasonal planning and space planning*, 12(20): 175-200. [In Persian].
- Fathizadeh, H., Gholaminia, A., Mobin, M., Soodyzizadeh, H. (2017). Investigating the Relationship between Meteorological Drought and Solar Variables in Some Iranian Standards, *Environmental hazards*, 17(6): 63-87. [In Persian].
- Gholamali, M., Younes, K., Esmail, H., Fatemeh, T. (2011). Assessment of Geostatistical Methods for Spatial Analysis of SPI and EDI Drought Indices. *World Applied Sciences Journal*, 15: 474-482.
- Haddadi, H., Heidari, H. (2015). Detection of the effect of precipitation fluctuations on surface water flow in the catchment area of Lake Urmia, *Journal of Geography and Environmental Programming*, 58(6): 247-262. [In Persian].
- Hao, Z., Hao, F., Singh, V., Xia, Y., Xinyishen, O. (2016). A theoretical drought classification method for the multivariate drought index based on

- distribution properties of standardized drought indices. *Advances in water resources*, 14: 240-247.
- Huanga, S., Huanga, Q., Changa, J., Zhua, Y., Lengb G. (2015). Drought structure based on a nonparametric multivariate standardized drought index across the Yellow River basin China. *Journal of Hydrology*, 530: 127-136.
- Jafari, GH., Bakhtiari, F., Doshkamyani, M. (2017). Investigating and analyzing spatial association of droughts with Ghezel Ozan watershed discharge, *Geography and Development*, 4(15): 79-94.
- Janndarmian, I., Shakiba, A., Nasser, H. (2015). Study of Drought Status and Its Relationship with Quantitative and Qualitative Changes in Groundwater in Sarab Plain, International Conference on Development, Focusing on Agriculture, *Environment and Tourism, Iran, Tabriz*, pp. 16-17. [In Persian].
- Jinum, M.K., Jeonbin, K. (2017). Evaluating historical drought characteristics simulated in Cordexast Asia against observations. *International journal of climatology*, 25: 32-43.
- Kamasi, M., Malekmahmoodi, M., Montasser, H. (2017). Forecasting of SPI and EDI Droughts Using ANFIS Modeling in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province, *Journal of Agricultural Meteorology*, 1: 36-47. [In Persian].
- KashtarSani, S. (2015). Drought Analysis in West Azarbaijan Province with Spi and Gis Index, International Conference on Agricultural, *Environment and Tourism, Iran, Tabriz*, pp. 16-17. [In Persian]
- Kis, A., Rita, P., Judit, B. (2017). Multi-model analysis of regional dry and wet condition for the Carpatian Region. *International journal of climatology*, 17: 4543-4560.
- Liu, M., Xianli, X., sun, Y., lexander, A., kelin, W. (2017). Decreasing spatial variability of drought in south west china during 1959-2013. *International journal of climatology*, 21: 4610-4619.
- Mirza'i, F., IraqiNezhad, SH., Big-Haddad, A. (2015). Development of WEAP Integrated Water Model Model for Drought Condition Modeling, *Journal of Engineering and Watershed Management*, 7(1): 85-97. [In Persian].
- Modaresirad, A., Ghahramani, B., Khalili, D., Ghahramani, Z., Ahmadiardakani, S. (2017). Integrated meteorological and hydrological

drought model: A management tool for proactive water resources planning of semi-arid regions. *Advances in water resources*, 54: 336-353.

- Montasseri, M., Amirataee, B. (2015). Stochastic Estimation of Drought Prevalence (Case Study: Northwest of the country), *Civil Engineering and Environmental Engineer*, 8(45): 12-26. [In Persian].
- Montasseri, M., Norjoo, A., Bahmanesh, J., Akbari, M. (2018). Investigation of meteorological drought and meteorological droughts in the southern basins of Lake Urmia, *Akhydrology*, 1: 189-202. [In Persian].
- Moradi, H., Tayyi, M., Ghasemian, D., Chesghi, J., Bahari, R. (2008). Simulation and analysis of the relationship between water and climate droughts using probabilistic models of Babol plain, *Iran Watershed Association*, 2(5): 71-74. [In Persian].
- Parsamehr, A., Khosravani, Z. (2017). Drought evaluation using multi-criteria decision making based on TOPSIS, *Research on the Range and Desert of Iran*, 24(3): 16-29. [In Persian].
- Quesada, B., Giuliano, M., Asarre, D., Rangecoft, S., Vanloon, A. (2018) . Hydrological change: Toward a consistent approach to assess changes on both floods and droughts. *Advances in water resources*. 5: P 31-35.
- Safarianzengir, V., Sobhani, B. (2020). Simulation and Analysis of Natural Hazard Phenomenon, Drought in Southwest of the Caspian Sea, IRAN, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 15: (1), p. 127 - 136; DOI:10.26471/cjees/2020/015/115.
- Safarianzengir, V., Sobhani, B., Asghari, S. (2019). Modeling and Monitoring of Drought for forecasting it, to Reduce Natural hazards Atmosphere in western and north western part of Iran, Iran. *Air Qual Atmos Health* (2019) doi:10.1007/s11869-019-00776-8.
- Salahi, B., Mojtabapour, F. (2016). Spatial Analysis of Drought in Northwest of Iran using spatial correlation statistics. *Magazine of Spatial Analysis of Environmental Perils*, 6(3): 1-20. [In Persian].
- Samedianfard, S., Assadi, A. (2017). Projection of SPI drought profile by multiple regression and multiple vector regression methods, *Water and Soil Conservation*, 8(6): 1-16. [In Persian].

- Shamsenya, A., Pirmoradian, N., Amiri, N. (2008). Drought Modeling in Fars Province Using Time Series Analysis, *Geography and Planning*, 14(28): 165-189. [In Persian].
- Sobhani, B., Ghafarigilandeh, A., Goldost, A. (2015). Drought monitoring in Ardebil province using the developed SEPI index based on fuzzy logic, *Journal of Applied Geosciences Research*, 15(36): 51-72. [In Persian].
- Sobhani, B., Safarianzengir V., Kianian, M.K. (2019b). Modeling, Monitoring and Prediction of Drought in Iran. *Iranian (Iranica) Journal of Energy and Environment* 10: 216 - 224. doi: 10.5829/ijee.2019.10.03.09.
- Sobhani, B., Safarianzengir, V. (2019). Modeling, monitoring and forecasting of drought in south and southwestern Iran, Iran. *Modeling Earth Systems and Environment* 5: <https://doi.org/10.1007/s40808-019-00655-2>.
- Sobhani, B., Safarianzengir, V. (2020). Evaluation and zoning of environmental climatic parameters for tourism feasibility in northwestern Iran, located on the western border of Turkey, *Modeling Earth Systems and Environment*, (2020). <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00712-1>.
- Sobhani, B., Safarianzengir, V., Kianian M.K. (2019a). Drought monitoring in the Lake Urmia basin in Iran. *Arabian Journal of Geosciences* 12:448. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4571-1>.
- Sobhani, B., Safarianzengir, V., Kianian, M.K. (2018). Potentiometric Mapping for Wind Turbine Power Plant Installation guilan province in Iran. *J. Appl. Sci. Environ. Manage* 22: 1363–1368. <https://dx.doi.org/10.4314/jasem.v22i8.36>.
- Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J., Barbosa, P. (2015). The biggest drought events in Europe from 1950-2012. *Journal of hydrology: Regional*, 3: 509-524.
- Torabipodeh, H., Shahinejad, B., Peasant, R. (2018). Drought Estimation Using Smart Grids, *Hydrogeomorphology*, 7(14): 179-197. [In Persian].
- Touma, D., Ashfaq, M., Nayak, M., Kao, S.C., Diffenbaugh, N. (2015). A multi-model and multi-index evaluation of drought characteristics in the 21st century. *Journal of Hydrology*, 526: 196-207.

- Zainali, B., Safarianzingir, V. (2017). Drought Monitoring in Urmia Lake Basin Using Fuzzy Index, *Journal of Environmental Risks*, 7(12): 37-62. [In Persian].
- Zeinali, B., Asghari, S., Safarianzengir, V. (2017). Drought monitoring and assessment of its prediction in Lake Urmia Basin using SEPT and ANFIS model, *Environmental Impact Spatial Analysis Journal*, 3(1): 73-96. [In Persian].
- Zelege, T., Giorgi, T., Diro, F., Zaitchik B. (2017). Trend and periodicity of drought over Ethiopia. *International journal of climatology*, 65: 4733-4748.
- Zolfaghari, H., Nourisamal, Z. (2016). Application of Drought Index (CPEL) in Determining Variables for Analysis of Drought in Iran, *Journal of Environmental Spatial Analysis*, 9(3): 99-114. [In Persian].

